La movilidad es de todos

Mintransporte

Ministerio de Transporte

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Resolución Número 4561 de 29 de noviembre de 2022

Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras 2022

UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

INVIAS INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

La movilidad es de todos

Mintransporte

Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras 2022

UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

INVIAS
INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

Presidencia de la República

Gustavo Francisco Petro Urrego
Presidente de Colombia

Ministerio de Transporte

Guillermo Francisco Reyes González
Ministro de Transporte

María Constanza García Alicastro
Viceministra de Infraestructura

Alejandra Quintero Lopera
Directora de Infraestructura

Rodolfo Castiblanco Bedoya
Asesor Dirección de Infraestructura

Instituto Nacional de Vías – INVÍAS

Guillermo Toro Acuña
Director General (E)

Luis Carlos Mantilla Pérez
Subdirector General (E)

Guillermo Toro Acuña
Director Técnico y de Infraestructura

Carolina Jackeline Barbanti Mansilla
Directora de Ejecución y Operación (E)

Juliana Sánchez Acuña
Directora Jurídica

Catalina Téllez Posada
Secretaria General

Gladys Gutiérrez Buitrago
Subdirectora de Reglamentación Técnica e Innovación

Hermes Mauricio Alvarado Sáchica
Coordinador de Normativa Técnica

Neyla Teresa Moreno Vega
Supervisora de los contratos interadministrativos No. 1595 de 2019 y No. 1165 de 2020

Equipo de Trabajo

Carolina Alarcón Vargas

Hermes Mauricio Alvarado Sáchica

Francisco Eugenio Andrade Vargas

Diego Alberto Giraldo Posada

María de los Ángeles Ospina Parra

Universidad Nacional de Colombia

Dolly Montoya Castaño
Rectora

Jaime Franky Rodríguez
Vicerrector de Sede Bogotá

José Ismael Peña Reyes
Director Nacional de Extensión, Innovación y Propiedad Intelectual

María Alejandra Guzmán Pardo
Decana, Facultad de Ingeniería, Sede Bogotá

Camilo Andrés Cortés Guerrero
Vicedecano de Investigación y Extensión

Jorge Iván Sofrony Esmeral
Director Instituto de Extensión e Investigación (IEI)

Carlos Alberto Moncada Aristizabal
Director Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola

Caori Patricia Takeuchi Tam
Directora Área Curricular de Ingeniería Civil y Agrícola

Equipo de trabajo

Dirección y Coordinación
Camilo Ríos Fresneda
Carlos Alfonso Gómez Guacaneme
José Andrés Cruz Wilches
Manuel Leonardo Perilla Ardila
Maximiliano Vargas Cortés

Docentes / Investigadores
Carol Andrea Murillo
Ferney Betancourt Cardozo
Juan Manuel Lizarazo Marriaga
Julio Esteban Colmenares Montañez
Mauricio Alberto Tapias Camacho
Octavio Coronado García

Investigadores e Ingenieros de Apoyo
Álvaro Fabián Pedraza Peña
Ana María Latorre Balaguera
Ángela Patricia Álvarez Rodríguez
Angélica Marcela Orjuela Garzón
Carlos Román Reina Leal
Cesar Santiago Ramírez Rodríguez
Diego Andrés Peña Suarez
Eliana Marcela Gómez
Joan Nicolás Hernández Morales
Luis José Parra Gómez
Luz Dary Pulido
Nicolás Ortiz Álvarez
Oscar Fabián Espinel Manrique
Ronald Steve Garzón Espejo

Corrección de estilo
Dora Inés Pinzón Chamorro

Diagramación
Carolina Norato Anzola

Universidad del Quindío

José Fernando Echeverri Murillo
Rector

Luis Fernando Polanía Obando
Vicerrector de Extensión y Desarrollo Social

Gustavo Botero Echeverri
Decano Facultad de Ingeniería

Carolina Valenzuela Botero
Directora Programa de Ingeniería Civil

Equipo de Trabajo

Director del proyecto
Luis Fernando Polanía Obando
Asesor de dirección
Uriel Orjuela Ospina
Coordinadora
María Rosa Guzmán Meléndez

Docentes / Investigadores
Elkin Aníbal Monsalve Durango
Luisa Fernanda Cuartas Varón
Alba Lucía Castro Benavides
Carlos Arturo García Ocampo
Liberth David Guzmán Mosquera
Leonardo Cano Saldaña
Jorge Hernán Flórez Gálvez
Gabriel Lozano Sandoval
Uriel Orjuela Ospina

Ingenieros de apoyo
Cristian Camilo Orjuela Yusti
Chintya Yustin García Valencia
Alejandra Orjuela Yusti
Marlyn A. Muñoz Moscoso
Carolina Cardona Abad
Daniel Ramírez Sepúlveda
Francy Mariana González Zuluaga

Apoyo jurídico y administrativo
Andrés Mauricio Quiceno Arenas
Carolina Álvarez Echeverry

Corrección de estilo
Jennifer Montes Osorio
Gustavo Giraldo García

Diagramación
Jorge Eliécer Ramírez Bedoya
José Édgar Martínez Ariza

Agradecimientos

Para el Instituto Nacional de Vías, la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad del Quindío, es motivo de complacencia y reconocimiento haber recibido el apoyo de la comunidad en general y diversos actores organizados para la construcción del presente documento, pues su participación en las mesas técnicas y jornadas de trabajo fue de vital importancia. Igualmente, agradecen a todos quienes, con oportunas observaciones y comentarios, retroalimentaron la publicación final de las presentes *Especificaciones generales de construcción de carreteras*.

Asimismo, el Instituto Nacional de Vías destaca y agradece el trabajo y aporte ad-honorem realizado por los profesionales que dedicaron su tiempo y experticia técnica participando en mesas internas de trabajo efectuadas en la vigencia 2019 para la actualización de los artículos 236-13, 235-13, 350-13, 351-13, 500-13 y 630-13, cuyo producto contribuyó en el desarrollo del proyecto de revisión y actualización de la Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras de la Entidad, realizado por la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad del Quindío. Estos profesionales fueron:

Alejandra Hidalgo
Alexander Torres
Alfonso López
Carlos Farid Ávila
Carlos Mario Gómez
Carlos Sanmartin
Carolina Bueno
Claudia Uribe
Delia Curiel
Diana Carolina Soler
Didier Bellon
Diego Jaramillo
Diego Meléndez
Diego Sánchez de Guzmán
Eliana Marcela Montoya
Everlein Orozco
Fabio Blanco
Fredy Rodríguez
Germán Hermida
Germán Pardo
Harol Zambrano
Hernán Pimentel
Iván Ricardo Sánchez
Jhon Jairo Giraldo
Jonathan Angel
Juan Fernando Arango
Juan Ramírez
Luis Fernando Cano
Mariana Castro
Miguel Santamaría
Oscar Javier Reyes
Rafael González
Sandra Liliana Rodríguez
Sergio Cifuentes

Prólogo

El Ministerio de Transporte, a través del Plan Estratégico Sectorial 2019 – 2022, dispuso al Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) poner en marcha un Plan de Acción Institucional que tiene como propósito entre otros: la terminación de proyectos estratégicos, la gestión vial integral con el mantenimiento y rehabilitación de la red nacional de carreteras, la terminación de corredores viales principales 2022, el planeamiento de corredores prioritarios de largo plazo visión 2030 y la construcción de corredores regionales y pactos territoriales; mediante la transformación técnica y modernización del Instituto, que incluye entre otras acciones: la actualización y/o elaboración de nueva regulación técnica, expedir la reglamentación técnica, identificar y evaluar nuevas tecnologías que puedan ser adoptadas y normalizadas, establecer lineamientos de sostenibilidad, la virtualización, banco de lecciones aprendidas; a través de la articulación con Escuelas y Universidades, Gremios, Entidades Territoriales, Veedurías Ciudadanas, entre otros.

El INVÍAS encargado de promover procesos de desarrollo sostenible e innovación tecnológica y normativa para la ejecución de políticas, estrategias, planes, programas y proyectos de infraestructura de transporte carretero, férreo, fluvial y marítimo, que contribuyan con la competitividad y modernización de la infraestructura del país, conocedor del ritmo del cambio y renovación permanente de la ingeniería, luego de siete años, y teniendo en cuenta los retos planteados en el país en materia de infraestructura, los lineamientos dados por el Plan Nacional de Desarrollo y la modernización técnica que viene adelantando la Entidad, encomendó a la Universidad Nacional de Colombia y a la Universidad del Quindío realizar la revisión y actualización de la versión 2013 de las *Especificaciones generales de construcción de carreteras*, cuyo alcance abarcó los ciento seis (106) artículos existentes en los que se establecen los propósitos, requisitos y estándares de calidad, tolerancias, condiciones de ejecución, controles, aceptación, medida y pago de las actividades constructivas de ejecución habituales en la red nacional de carreteras.

Esta normativa técnica ha marcado la pauta y ha sido la guía para la construcción, mejoramiento, rehabilitación y mantenimiento de las carreteras del país. No obstante, el desarrollo científico y tecnológico en la materia a nivel mundial, hacen necesaria la actualización periódica y la complementación de estos documentos, en procura de que el desarrollo y modernización vial colombiano continúe contribuyendo y fortaleciendo la competitividad.

Este proceso de actualización incluyó una innovadora metodología participativa liderada por el Instituto Nacional de Vías, compuesta en dos etapas. La primera consistió en la realiza-

ción de mesas técnicas como un espacio de trabajo colaborativo en las que se contó con la participación de reconocidos profesionales de las áreas del conocimiento tratadas, previa remisión de la propuesta inicial de actualización de los documentos, en las que se debatieron los ajustes propuestos y se llegó a consensos y acuerdos para tal fin. La segunda etapa consistió en la divulgación al público en general y, en la que, mediante publicación en la página web, uso de formularios web y redes sociales del Instituto, fueron recibidos comentarios y observaciones frente a los documentos actualizados, a los que se les dio el tratamiento individual respectivo, así como los ajustes que resultaran pertinentes.

En desarrollo de la actualización de las especificaciones, con las limitaciones que pudieron resultar, se procuraron incorporar los avances científicos, tecnológicos y las experiencias profesionales en materia de construcción vial, con soporte de reconocidas instituciones extranjeras y de la industria nacional.

Igualmente, algunos artículos objeto de actualización fueron unificados sin perder sus posibilidades y ámbito de aplicación, considerando su similitud en aspectos técnicos, de requisitos, de alcance y filosofía de desarrollo; así entonces, los artículos que fueron objeto de la actualización aquí contenida, en conjunto con las consideraciones expuestas previamente, se detallan a continuación:

Capítulo 1, Aspectos Generales:
Artículos 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107 y 108.

Capítulo 2, Explanaciones:
Artículos 200, 201, 203, 210, 211, 220, 221, 223, 230, 231, 232, 233, 234, 235 y 236.

Capítulo 3, Afirmados, Subbases y Bases:
Artículos 300, 310, 311, 312, 320, 321, 330, 340, 341, 350 y 351*.

*Nota: El artículo 351 (el cual se rescinde a partir de la adopción oficial) fue integrado al artículo 350.

Capítulo 4, Pavimentos Asfálticos:
Artículos 400, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 420, 421, 422, 430, 431*, 432, 433, 440, 441*, 442, 450, 451, 452, 453, 460, 461, 462, 464, 465, 466 y 467.

*Nota: Los artículos 431 y 441 (los cuales se rescinden a partir de la adopción oficial) fueron integrados a los artículos 430 y 440 respectivamente.

Capítulo 5, Pavimentos de Concreto:
Artículos 500, 501, 505 y 510.

Capítulo 6, Estructuras y Drenajes:
Artículos 600, 610, 620, 621, 622, 623, 630, 631, 632, 640, 641, 642, 650, 662, 663, 660, 661, 670, 671, 672, 673, 674, 680, 681, 682*, 683 y 690.

*Nota: El artículo 682 (el cual se rescinde a partir de la adopción oficial) fue integrado al artículo 681.

Capítulo 7, Señalización y Seguridad:
Artículos 700, 701, 710, 720*, 730, 731, 740 y 741.

*Nota: El artículo 720 (el cual se rescinde a partir de la adopción oficial) fue eliminado porque el Manual de Señalización no utiliza este tipo de señal.

Capítulo 8, Obras Varias:
Artículos 800, 802, 810, 811, 812 y 820.

Capítulo 9, Transporte:
Artículo 900.

Por su parte, el grupo de normativa técnica de la Subdirección de Reglamentación Técnica e Innovación del INVÍAS, a través de mesas técnicas de trabajo colaborativo, realizó una labor de revisión y armonización de cuatro (4) especificaciones particulares para gestionar su adopción como *Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras*, elaborando una versión actualizada de estos artículos con los mismos criterios y estructura empleada para los ciento un (101) artículos vigentes que fueron adoptados el 6 de mayo de 2022. Los nuevos artículos incorporados al presente documento técnico son los siguientes:

Artículo 321, Subbase estabilizada con mezcla asfáltica natural
Artículo 341, Base estabilizada con mezcla asfáltica natural
Artículo 442, Mezcla densa en frío con asfalto natural
Artículo 467, Mezclas asfálticas en caliente con cemento asfáltico modificado con Grano de Caucho Reciclado (GCR).

Algunos de los criterios generales adoptados para la actualización de las especificaciones señaladas fueron:

- Mantener la línea filosófica y tecnológica del documento existente, conservando y mejorando aquellas técnicas que se mantienen vigentes y han demostrado su utilidad durante el período en que se han venido aplicando.
- Integrar conocimiento científico reciente aplicable a los requisitos de calidad de los materiales y las técnicas constructivas.
- Resaltar la responsabilidad y completitud en los aspectos que deben contener los estudios y diseños, definidos como los documentos del proyecto, así como el rol de la interventoría en las distintas situaciones constructivas en relación con los mismos.
- Incorporar técnicas actualizadas y requisitos de materiales de construcción que cuenten con el soporte de normas y especificaciones de reconocidos organismos extranjeros.
- Incorporar técnicas actualizadas y requisitos de materiales de construcción que cuenten con el soporte de normas y especificaciones de reconocidos organismos extranjeros.
- Introducir y actualizar, en los diferentes artículos, las versiones más recientes de las normas nacionales e internacionales sobre ensayos de materiales para carreteras.
- Incorporar ítems de pago, de acuerdo con las especificaciones y partidas de trabajo incluidas en ellas.

Adicionalmente, para la actualización de las *Especificaciones Generales*, se incluyen 16 artículos de nuevas tecnologías adoptados mediante la Resolución No. 2451 de 15 de julio de 2022 "Por la cual se adoptan las especificaciones generales de construcción para la regulación de nuevas tecnologías, como norma técnica para los proyectos de infraestructura de la Red Vial Nacional", los cuales que se mencionan a continuación:

Artículo 237, Estabilización de suelos con productos químicos no tradicionales
Artículo 323, Subbase granular con agregado siderúrgico
Artículo 418, Fibras sintéticas de aramida y poliolefina de refuerzo para mezclas asfálticas
Artículo 457, Mezclas asfálticas prefabricadas almacenadas para parcheo de pavimento asfáltico
Artículo 611, Concreto celular para rellenos
Artículo 633, Prefabricados de concreto reforzado de gran formato
Artículo 684, Estabilización de taludes con sistema combinado de muro plástico y anclajes
Artículo 685, Bolsas de geotextil gigantes (BGG)
Artículo 686, Muro en suelo claveteado con paneles de concreto
Artículo 687, Muros en suelo reforzado
Artículo 702, Tachas reflectivas con espigo
Artículo 703, Tachas electrónicas solares LED
Artículo 732, Barreras metálicas con rodillos
Artículo 801, Cercas y cerramientos con postes ecológicos

Artículo 840, Obras de ingeniería verde
Artículo 850, Geobioingeniería

Dada la definición de *"Especificaciones Generales"* que se detalla el numeral 100.5.3 del capítulo 1 del presente documento, los principios de equidad, cobertura y conectividad que menciona el Plan Nacional de Desarrollo 2022 - 2026, la misionalidad del INVÍAS y la inclusión de las especificaciones de nuevas tecnologías; es perentorio que las presentes Especificaciones abarquen un amplio campo de aplicación y sean implementadas en la construcción de la infraestructura del transporte, siendo así, que tengan un mayor alcance hacia las vías férreas, fluviales y marítimas, de donde emergen nuevas tecnologías a normatizar, necesarias para este compendio reglamentario, en aras de la consolidación de una red de infraestructura de transporte intermodal, que garantice el acceso de los colombianos a toda la oferta social del estado.

El alcance de los ciento veintiún (121) artículos de las *"Especificaciones Generales de Construcción de Infraestructura de Transporte"* del presente documento, mantiene, como su nombre lo indica, el carácter general. Esto implica que, aún cuando se trata de especificaciones de amplios espectros de aplicación, ajustadas y redactadas por profesionales de diversas áreas de la ingeniería, estas no deben ser susceptibles de aplicación de manera indiscriminada en todas las obras, dada la diversidad de características y circunstancias en que estas puedan desarrollarse. Por lo tanto, resulta necesario, en la mayoría de los casos, complementar las especificaciones generales con aquellas de carácter particular de cada proyecto, siempre y cuando cuenten con un estudio que lo respalde, las cuales, como ha ocurrido siempre, han de prevalecer sobre disposiciones de tipo general.

Con la misma justificación que precedió el proyecto inicial de actualización de los ciento un (101) artículos de las *Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras*, la incorporación de los cuatro (4) artículos de Especificaciones Particulares que son consideradas generales y la adopción de dieciséis (16) artículos de nuevas tecnologías, el Instituto liderará la revisión y complementación a estas especificaciones, con el fin de mantener una actualización periódica sobre las mismas, en cumplimiento de su misión y visión, aplicable a sus políticas, estrategias, planes, programas y proyectos en la transición hacia una infraestructura vial más segura, sostenible y resiliente.

Finalmente, el Instituto Nacional de Vías, la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad del Quindío agradecen a quienes hicieron parte de este trabajo de actualización de las *Especificaciones Generales de Construcción de Infraestructura de Transporte 2022*.

Contenido

Capítulo 1	Aspectos generales
Artículo 100 – 22	Ámbito de aplicación, términos y definiciones
Artículo 101 – 22	Documentos de referencia y consulta
Artículo 102 – 22	Aspectos generales de seguridad y salud
Artículo 103 – 22	Responsabilidades especiales del constructor
Artículo 104 – 22	Supervisión de los trabajos
Artículo 105 – 22	Desarrollo de los trabajos
Artículo 106 – 22	Aspectos ambientales
Artículo 107 – 22	Control y aceptación de los trabajos
Artículo 108 – 22	Medida y pago de la obra ejecutada

Capítulo 2	Explanaciones
Artículo 200 – 22	Desmonte y limpieza
Artículo 201 – 22	Demolición y remoción
Artículo 203 – 22	Trasplante de árboles
Artículo 210 – 22	Excavación de la explanación, canales y préstamos
Artículo 211 – 22	Remoción de derrumbes
Artículo 220 – 22	Terraplenes
Artículo 221 – 22	Pedraplenes
Artículo 223 – 22	Terraplenes reforzados con geosintéticos
Artículo 230 – 22	Mejoramiento de la subrasante con adición de materiales
Artículo 231 – 22	Separación de suelos de subrasante y capas granulares con geotextil
Artículo 232 – 22	Estabilización de suelos de subrasante con geotextil
Artículo 233 – 22	Estabilización de suelos de subrasante y refuerzo de capas granulares con geomallas
Artículo 234 – 22	Conformación de taludes existentes
Artículo 235 – 22	Estabilización de suelos de subrasante y terraplén con cemento
Artículo 236 – 22	Estabilización de la subrasante y terraplén con cal
Artículo 237 – 22	Estabilización de suelos con productos químicos no tradicionales

Capítulo 3	Afirmados, subbases y bases
Artículo 300 – 22	Disposiciones generales para la ejecución de afirmados, subbases, bases granulares y capas granulares estabilizadas.
Artículo 310 – 22	Conformación de la calzada existente
Artículo 311 – 22	Afirmado
Artículo 312 – 22	Tratamiento paliativo del polvo en afirmados
Artículo 320 – 22	Subbase granular
Artículo 321 – 22	Subbase estabilizada con una mezcla asfáltica natural
Artículo 323 – 22	Subbase granular con agregado siderúrgico
Artículo 330 – 22	Base granular
Artículo 340 – 22	Base estabilizada con emulsión asfáltica
Artículo 341 – 22	Base estabilizada con una mezcla asfáltica natural
Artículo 350 – 22	Materiales granulares tratados con cemento como capa estructural

Capítulo 4	Pavimentos asfálticos
Artículo 400 – 22	Disposiciones generales para la ejecución de riegos de imprimación, liga y curado, tratamientos superficiales, sellos de arena-asfalto, lechadas asfálticas, mezclas asfálticas en frío y en caliente y reciclado de pavimentos asfálticos
Artículo 410 – 22	Suministro de cemento asfáltico
Artículo 411 – 22	Suministro de emulsión asfáltica catiónica
Artículo 412 – 22	Suministro de aditivo mejorador de adherencia
Artículo 413 – 22	Suministro de cemento asfáltico modificado con grano de caucho reciclado
Artículo 414 – 22	Suministro de cemento asfáltico modificado con polímeros
Artículo 415 – 22	Suministro de emulsión asfálticas catiónica modificada con polímeros
Artículo 416 – 22	Suministro de asfalto líquido para riegos de imprimación
Artículo 418 – 22	Fibras sintéticas de aramida y poliolefina de refuerzo para mezclas asfálticas
Artículo 420 – 22	Riego de imprimación
Artículo 421 – 22	Riego de liga
Artículo 422 – 22	Riego de curado
Artículo 430 – 22	Tratamientos superficiales
Artículo 432 – 22	Sello de arena-asfalto
Artículo 433 – 22	Lechada asfáltica
Artículo 440 – 22	Mezclas asfálticas en frío (densa y abierta)
Artículo 442 – 22	Mezcla densa en frío con asfalto natural
Artículo 450 – 22	Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (Concreto asfáltico)
Artículo 451 – 22	Mezcla abierta en caliente
Artículo 452 – 22	Mezcla discontinua en caliente para capa de rodadura (microaglomerado en caliente)
Artículo 453 – 22	Mezcla drenante
Artículo 457 – 22	Mezclas asfálticas prefabricadas almacenadas para parcheo de pavimento asfáltico
Artículo 460 – 22	Fresado de pavimento asfáltico
Artículo 461 – 22	Reciclado de pavimento asfáltico in situ empleando ligantes bituminosos
Artículo 462 – 22	Reciclado de pavimento asfáltico en planta y en caliente

Artículo 464 - 22	Geotextiles para repavimentación
Artículo 465 - 22	Excavación para reparación de pavimento asfáltico existente
Artículo 466 - 22	Sello de grietas en pavimentos asfálticos
Artículo 467 - 22	Mezclas asfálticas en caliente con cemento asfáltico modificado con Grano de Caucho Reciclado (GCR)

Capítulo 5	**Pavimentos de concreto**
Artículo 500 – 22	Pavimento de concreto hidráulico
Artículo 501 – 22	Suministro de cemento hidráulico
Artículo 505 – 22	Base de concreto hidráulico
Artículo 510 – 22	Pavimento de adoquines de concreto

Capítulo 6	**Estructuras y drenajes**
Artículo 600 – 22	Excavaciones varias
Artículo 610 – 22	Rellenos para estructuras
Artículo 611 – 22	Concreto celular para rellenos
Artículo 620 – 22	Pilotes prefabricados de concreto
Artículo 621 – 22	Pilotes preexcavados
Artículo 622 – 22	Tablestacados
Artículo 623 – 22	Anclajes
Artículo 630 – 22	Concreto estructural
Artículo 631 – 22	Lechada para ductos de concreto preesforzado
Artículo 632 – 22	Barandas de concreto
Artículo 633 – 22	Prefabricados de concreto reforzado de gran formato
Artículo 640 – 22	Acero de refuerzo
Artículo 641 – 22	Acero de preesfuerzo
Artículo 642 – 22	Apoyos y sellos para juntas de puentes
Artículo 650 – 22	Estructuras de acero
Artículo 660 – 22	Tubería de concreto simple
Artículo 661 – 22	Tubería de concreto reforzado
Artículo 662 – 22	Tubería metálica corrugada
Artículo 663 – 22	Tubería de plástico
Artículo 670 – 22	Disipadores de energía y sedimentadores, en gaviones de alambre de acero entrelazado o en concreto ciclópeo
Artículo 671 – 22	Cunetas revestidas en concreto
Artículo 672 – 22	Bordillos en concreto
Artículo 673 – 22	Subdrenes con geotextil y material granular
Artículo 674 – 22	Drenes horizontales en taludes
Artículo 680 – 22	Muros de tierra estabilizada mecánicamente con paneles de concreto
Artículo 681 – 22	Gaviones y colchogaviones de malla de alambre de acero entrelazado

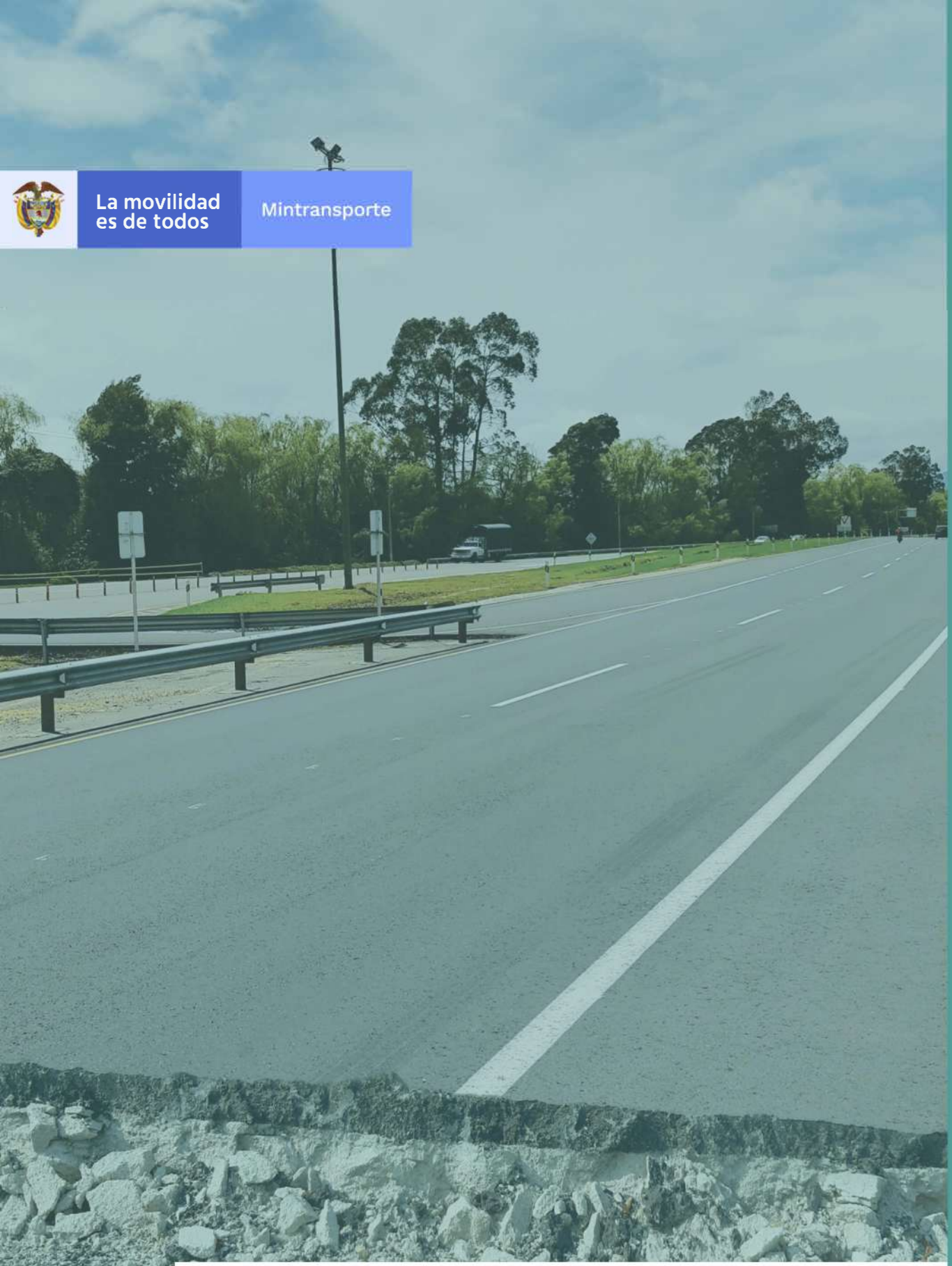
Artículo 683 – 22	Muros de tierra estabilizada mecánicamente con geosintéticos
Artículo 684 – 22	Estabilización de taludes con sistema combinado de muro plástico y anclajes
Artículo 685 – 22	Bolsas de geotextil gigantes (BGG)
Artículo 686 – 22	Muro en suelo claveteado con paneles de concreto
Artículo 687 – 22	Muros en suelo reforzado
Artículo 690 – 22	Impermeabilización de estructuras

Capítulo 7	**Señalización y seguridad**
Artículo 700 – 22	Líneas de demarcación y marcas viales
Artículo 701 – 22	Tachas reflectivas
Artículo 702 – 22	Tachas reflectivas con espigo
Artículo 703 – 22	Tachas electrónicas solares LED
Artículo 710 – 22	Señales verticales de tránsito
Artículo 730 – 22	Defensas metálicas
Artículo 731 – 22	Defensas de concreto
Artículo 732 – 22	Barreras metálicas con rodillos
Artículo 740 – 22	Captafaros
Artículo 741 – 22	Delineadores de corona

Capítulo 8	**Obras varias**
Artículo 800 – 22	Cercas de alambre
Artículo 801 – 22	Cercas y cerramientos con postes ecológicos
Artículo 802 – 22	Poda de árboles
Artículo 810 – 22	Protección vegetal de taludes
Artículo 811 – 22	Protección de taludes con productos enrollados para control de erosión
Artículo 812 – 22	Recubrimiento de taludes con malla y mortero
Artículo 820 – 22	Plantación de árboles
Artículo 840 – 22	Obras de ingeniería verde
Artículo 850 – 22	Geobioingeniería

Capítulo 9	**Transporte**
Artículo 900 – 22	Transporte de materiales provenientes de excavaciones y derrumbes

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022



La movilidad es de todos

Mintransporte

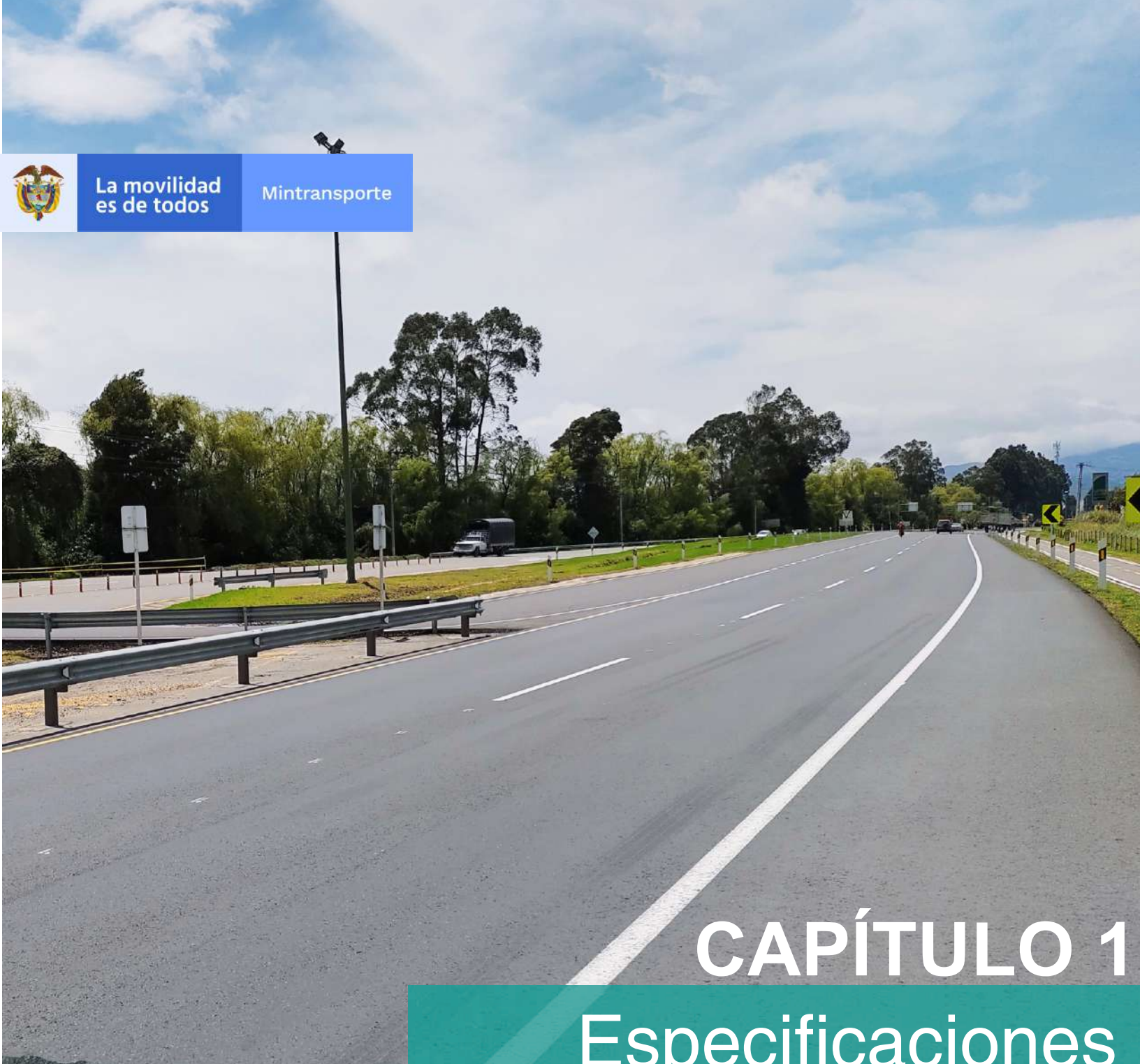
UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

INVIAS
INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

La movilidad es de todos

Mintransporte



CAPÍTULO 1

Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras 2022

UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

INVIAS
INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

1

Aspectos generales

Ámbito de aplicación, términos y definiciones

Artículo 100 – 22

100.1 Ámbito de aplicación

Las presentes especificaciones generales de construcción de carreteras, forman parte de los contratos celebrados por el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) para la construcción, rehabilitación, mantenimiento, mejoramiento y conservación de las carreteras y puentes u otras obras de infraestructura a cargo de INVÍAS, cuando así lo indiquen los documentos respectivos.

Las unidades de obra que no se encuentren incluidas en este documento se deben ejecutar de acuerdo con lo establecido en las especificaciones particulares aplicables al contrato, las cuales deben prevalecer sobre las especificaciones generales y pueden modificarlas o complementarlas.

En todos los artículos de las presentes especificaciones generales de construcción de Carreteras, se debe entender que su contenido rige para las materias que expresan sus respectivos títulos, en tanto no se opongan a lo establecido en la ley de contratación vigente ni al pliego de condiciones que dio origen al contrato.

Los temas contemplados en el Capítulo 1, Aspectos generales, del presente documento, forman parte de todas y cada una de las especificaciones generales y particulares de construcción, salvo que el Pliego de Condiciones aplicable al contrato manifieste expresamente lo contrario.

Adicionalmente, si alguna norma citada en las presentes especificaciones es modificada o actualizada con posterioridad a la promulgación de las presentes especificaciones, debe quedar automáticamente incluida en las mismas, de tal forma que no sea necesario esperar una nueva actualización de las especificaciones generales de construcción de carreteras para generar su sustitución.

100.2 Gradualidad en las exigencias de calidad

Las exigencias en relación con la calidad de los materiales y de las mezclas para la construcción y la rehabilitación de pavimentos que se establecen en las presentes especificaciones son, en algunos casos, proporcionales al grado de solicitación que debe tener la capa fabricada con ellos, una vez esta forme parte de la estructura del pavimento.

En concordancia con ello, se consideran en el documento tres (3) niveles de tránsito en función del tránsito de diseño expresado en número de ejes equivalentes de ochenta kilonewtons (N_{80kN}) en el carril de diseño, como se indica en la Tabla 100 – 1.

Tabla 100 – 1. Niveles de Tránsito

Nivel de tránsito	Número de ejes equivalentes de 80 kN en el carril de diseño (N_{80kN}) (millones)
NT1	$N_{80kN} \leq 0,5$
NT2	$0,5 < N_{80kN} \leq 5,0$
NT3	$N_{80kN} > 5,0$

100.3 Siglas y acrónimos

Las presentes especificaciones hacen referencia ocasional a instituciones o métodos de ensayo nacionales y extranjeros, que son más conocidos por su sigla o por su acrónimo. Algunos de ellos se presentan en la Tabla 100 – 2.

Tabla 100 – 2. Instituciones o métodos de ensayos de referencia

Sigla	Institución o método de ensayo
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ACI	American Concrete Institute
AFNOR	Association Française de Normalization
API	American Petroleum Institute
ASTM	ASTM International (antes American Society for Testing and Materials)
AWS	American Welding Society
BS	British Standard
BSI	British Standards Institution
CEDEX	Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (antes Centro de Estudios de Carreteras)
CEN	Comité Europeo de Normalización
FHWA	Federal Highway Administration
GSI	Geosynthetic Institute
GRI	Geosynthetic Research Institute
ICONTEC	Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación
INVÍAS	Instituto Nacional de Vías de Colombia
IRAM	Instituto Argentino de Normalización y Certificación
ISO	International Organization for Standardization
MELC	Método de Ensayo de Laboratorio Central - Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente de España
MT	Ministerio de Transporte de Colombia
EN	Norma Europea
NLT	Normas de Ensayo del Centro de Estudios de Carreteras de España
NTC	Norma Técnica Colombiana
PCA	Portland Cement Association
TRL	Transport Research Laboratory del Reino Unido
UNE	Una Norma Española

100.4 Unidades de medida

Algunos de los símbolos para las unidades de medida utilizadas en estas especificaciones se definen como se indica en la Tabla 100 – 3. Aquellos que no se encuentren incluidos, se deben definir como lo establece la NTC-ISO 80000-1 vigente, aquella que la modifique o sustituya o las que se encuentren establecidas en cada uno de los artículos que conforman las presentes especificaciones.

Tabla 100 – 3. Unidades de medida

Símbolo	Definición
°C	Grado Celsius
cd	Candela
cm	Centímetro
cm^2	Centímetro cuadrado
cm^3	Centímetro cúbico
cP	Centipoise
cSt	Centistoke
dm	Decímetro
g	Gramo
ha	Hectárea
hm	Hectómetro
kg	Kilogramo masa
km	Kilómetro
kN	Kilonewton
kPa	Kilopascal
l	Litro
lb	Libra
lm	Lumen
lx	Lux
m	Metro
mcd	Milicandela
mg	Miligramo
mm	Milímetro
m^2	Metro cuadrado
m^3	Metro cúbico
MPa	Megapascal
µm	Micrómetro
N	Newton
P	Poise
Pa-s	Pascal-segundo
psi	Libras por pulgada cuadrada
s	Segundo
St	Stoke
sSF	Segundo Saybolt Furol
t	Tonelada (1 000 kg)
u	Unidad

100.5 Definiciones aplicables al documento

Aunque los diferentes oficios y funciones que se definen a continuación y que se describen a lo largo del documento, se encuentran en género masculino en aras de la brevedad, siempre se debe interpretar que la referencia es extensiva al género femenino.

100.5.1 Constructor

Es el oferente, persona natural o jurídica, adjudicatario del contrato para ejecutar los trabajos de construcción, que ha de cumplir lo establecido en el Pliego de Condiciones Definitivo, sus adendas y en las especificaciones generales y particulares correspondientes.

100.5.2 Contrato

Acuerdo bilateral de voluntades suscrito por INVÍAS y el constructor, que describe el alcance, el valor y la forma de pago de los trabajos de obra por realizar y que cubre el suministro de materiales, mano de obra, ensayos, herramientas y equipos necesarios para la ejecución de cada obra, en acuerdo con las especificaciones generales y las particulares y los demás documentos del proyecto según lo establezca el Pliego de Condiciones Definitivo y sus adendas, así como la responsabilidad del constructor sobre la estabilidad de los trabajos y todas las demás obligaciones que impone la ley a los contratos de obra pública.

100.5.3 Especificaciones Generales

Conjunto de disposiciones que describen las exigencias sobre la calidad de materiales a utilizar, los procedimientos constructivos, las pruebas de control de producción y de instalación, los criterios de aceptación y las modalidades para la medida y el pago de la obra ejecutada. Dicho grupo de disposiciones también deben incluir aspectos ambientales, sociales, de sostenibilidad, de seguridad y salud en el trabajo, y de gestión del riesgo, a aplicar durante la planeación y el desarrollo de los trabajos.

Las especificaciones generales constituyen el objeto del presente documento.

100.5.4 Especificaciones Particulares

Disposiciones no cubiertas en las especificaciones generales, que priman sobre estas, las cuales abarcan y definen aspectos específicos de una obra particular. Deben estar basadas en referentes internacionales de organismos de amplia aceptación y/o en estudios locales que garanticen la calidad y durabilidad de la respectiva obra.

100.5.5 Interventor

Es el oferente, persona natural o jurídica, adjudicatario del contrato de consultoría para efectuar, en representación de INVÍAS, el control y la vigilancia técnica, administrativa, financiera y jurídica de los trabajos realizados por el constructor, que ha de cumplir lo establecido en el Pliego de Condiciones Definitivo, sus adendas y en todas las disposiciones legales vigentes en relación con el ejercicio de su función, en especial el Manual de Inter-ventoría de la Dirección General de INVÍAS vigente a la fecha.

100.5.6 Norma de ensayo

Norma que suministra métodos de ensayo y requisitos a los que se debe ajustar un determinado producto o trabajo. Viene acompañado de la definición o de notas explicativas, o de ambas, ilustraciones, ejemplos.

100.5.7 Obra

Trabajos y suministros especificados, diseñados, mostrados o contemplados en el contrato para la construcción de un proyecto para la construcción de infraestructura vial y obras complementarias, incluyendo todas las variaciones, correcciones o extensiones por adición o modificación del contrato o por instrucciones escritas del interventor, con la aprobación previa de INVÍAS.

100.5.8 Supervisión

La supervisión de un contrato estatal consiste en "el seguimiento técnico, administrativo, financiero, contable y jurídico que, sobre el cumplimiento del objeto del contrato, es ejercido por la misma entidad estatal cuando no se requieren conocimientos especializados". El artículo 83 de la Ley 1474 de 2011 permite que las Entidades Estatales celebren contratos de prestación de servicios para apoyar las actividades de supervisión de los contratos que suscriben.

Dicha supervisión recae en los contratos tanto de interventoría como de construcción y/o consultoría.

100.5.9 Infraestructura de transporte sostenible

Se refiere al desarrollo de los modos de transporte en carretera, férreo, fluvial y marítimo que son planificados, diseñados, construidos, operados y desmantelados, en equilibrio con las dimensiones técnica, social, ambiental, económica y financiera, a fin de elevar el bienestar social y el crecimiento económico, sin agotar la base de los recursos naturales renovables.

100.5.10 Infraestructura verde

Red de zonas naturales y seminaturales y de otros elementos ambientales, que presta una extensa gama de servicios ecosistémicos. La infraestructura verde consiste en la utilización de vegetación, suelos y procesos naturales para funciones tales como la gestión del agua de lluvia y la creación de ambientes más saludables.

100.5.11 Aclaración sobre las definiciones

INVÍAS no considera necesario definir, en este artículo, aquellos términos técnicos cuyo significado o interpretación resulten suficientemente conocidos o claros para los ingenieros que ejercen su actividad en la ingeniería vial en la República de Colombia, ni para aquellos otros que se puedan encontrar definidos de manera explícita en el pliego de condiciones y sus adendas, estudios previos y otros documentos precontractuales o en los diferentes artículos de las presentes especificaciones. Sin embargo, si en el pliego de condiciones definitivo o en sus adendas se encuentra alguna definición que no concilia

con las presentadas en este artículo, se debe entender que, para efectos de la aplicación de las especificaciones generales de construcción de carreteras, prevalecen las definiciones indicadas en estas.

100.6 Cambios de denominación o de responsabilidades

Si durante el período de vigencia de las presentes especificaciones generales de construcción de carreteras, INVÍAS o cualquiera de las demás entidades y de los organismos a los cuales se hace referencia en este documento, sufren modificación en su nombre, en su sigla o su acrónimo, o son suprimidos o reestructurados, se debe entender, para los efectos de la aplicación de todos los artículos, que la denominación con la cual aparecen tales entidades y organismos en el presente documento, es reemplazada inmediatamente por la de aquellas que hayan asumido sus funciones, en relación directa y exclusiva con el tópico sobre el cual son citadas de manera específica.

Documentos de referencia y consulta

Artículo 101 – 22

101.1 Normas de ensayo

En todo lo relacionado con ensayo de materiales o de la calidad de la unidad de obra terminada, deben regir en primer lugar las normas respectivas del Instituto Nacional de Vías (INVÍAS); para los ensayos no cubiertos por estas, se deben aplicar las normas más recientes de las agencias que se han indicado en la Tabla 100 – 1 o aquellas normas que sean indicadas en las especificaciones particulares.

En todo caso, en los diferentes artículos de las presentes especificaciones se indican las normas de referencia aplicables a los diferentes ensayos por realizar.

101.2 Documentos informativos

Los datos sobre geología y geotecnia, sondeos, apiques y trincheras (calicatas), procedencia de materiales, ensayos, condiciones locales, diagramas de movimientos de tierras, diseño geométrico, programación, condiciones climáticas e hidrológicas, análisis de precios, presupuestos, tránsito, gestión del riesgo, aspectos ambientales, sociales y de sostenibilidad y, en general, todos los que habitualmente contienen los estudios relacionados con el proyecto objeto del contrato, son documentos meramente informativos; en consecuencia, no suponen responsabilidad de INVÍAS sobre la información que suministran y, por lo tanto, deben aceptarse tan sólo como complementos de toda la información que el constructor debe adquirir directamente y con sus propios medios para el cabal cumplimiento del contrato.

Por ello, el constructor debe ser el único responsable de los errores que se puedan derivar de su defecto o de la negligencia en la consecución de todos los datos que afecten al contrato y que sea de su incumbencia obtener, así como al planeamiento y a la correcta ejecución de las obras contratadas.

101.3 Contradicciones, omisiones o errores en documentos

En caso de contradicciones entre los planos del proyecto y las especificaciones particulares de construcción, prevalece lo prescrito en estas últimas. En todo caso, ambos documentos deben prevalecer sobre las especificaciones generales de construcción de carreteras.

Lo mencionado en las especificaciones particulares y omitido en los planos, o viceversa, se debe ejecutar como si estuviese expuesto en ambos documentos siempre que, a juicio del interventor, quede suficientemente definida la unidad de obra correspondiente y esta tenga establecida una especificación particular y acordado un precio en el contrato.

En todo caso, las contradicciones, omisiones o errores que adviertan en estos documentos el interventor o el constructor, se deben informar por escrito al supervisor, tan pronto como sean detectados.

Aspectos generales de seguridad y salud

Artículo 102 – 22

102.1 Introducción

Las responsabilidades generales del constructor relacionadas con aspectos de seguridad y salud en el trabajo, se deben regir por lo previsto en el contrato y por el marco legal nacional vigente.

102.2 Seguridad y salud en el trabajo

El constructor debe diseñar e implementar un sistema de seguridad y salud en el trabajo y aplicarlo en el desarrollo del contrato, de acuerdo con el Decreto 1072 de 2015, la Resolución 0312 de 2019 y las normas que los modifiquen o sustituyan.

El constructor tiene la obligación de adoptar las medidas de seguridad y salud en el trabajo necesarias en todas sus instalaciones, en los frentes de trabajo y en las proximidades afectadas por ellos, y de mantener programas permanentes que logren y conserven una adecuada salud física y mental de todo su personal, contratistas, subcontratistas y proveedores, garantizando las condiciones de contratación y seguridad y salud en el trabajo, de acuerdo con la normativa vigente.

Igualmente, el constructor debe contar con un Plan de Manejo de Tránsito (PMT) e instalar todos los elementos de señalización preventiva en la zona de los trabajos, de acuerdo con lo establecido en el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte, los cuales deben garantizar la seguridad permanente tanto del personal y de los equipos de construcción, como de los usuarios y transeúntes, durante las veinticuatro horas (24 h) del día.

Para actividades que no impliquen el cierre total de la vía, el interventor debe dar su visto bueno previo a la presentación de un PMT. Para casos que impliquen el cerramiento total de la vía, se deben tramitar los permisos correspondientes ante la autoridad competente y se debe presentar el PMT aprobado por el interventor.

En las zonas de las obras, el constructor debe disponer instalaciones sanitarias adecuadas y en la cantidad apropiada, debidamente distribuidas por género, para uso por parte del personal adscrito a las obras y debe garantizar que las condiciones de salubridad estén de acuerdo con las exigencias de la reglamentación vigente.

El constructor es el único responsable de los perjuicios ocasionados por la falta de medidas de seguridad, salubridad y control de estas en sus ambientes de trabajo y debe tener en cuenta en la ejecución de los proyectos, las disposiciones ambientales en materia de construcción de carreteras establecidas en el artículo 106, Aspectos ambientales. Todos los riesgos evidenciados en la gestión del riesgo

de desastres, que puedan afectar la salud de las personas, deben considerarse dentro del diseño e implementación del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SGSST).

102.3 Prevención y control de incendios

El constructor debe atenerse a las disposiciones vigentes para la prevención y control de incendios, para lo cual debe capacitar a su personal en obra sobre los diferentes tipos de fuego que se pueden producir, características, causas y la forma adecuada de contenerlos.

Debe, también, tomar las medidas necesarias para evitar que se produzcan fuegos innecesarios, conformar las brigadas de emergencia y capacitarlas, al igual que a su personal en obra. Así mismo, es responsable de evitar la propagación, de aquellos que se puedan requerir para la ejecución de las obras, así como de todos los daños y perjuicios que se puedan producir a causa de ellos.

102.4 Sanidad y limpieza en zonas de campamentos

El constructor debe proporcionar espacios apropiados para cambio de ropa y toma de alimentos y mantener todas las áreas de sus campamentos en satisfactorias condiciones sanitarias y de limpieza, cumpliendo con los requisitos y reglamentos vigentes en relación con los protocolos de bioseguridad, conservando la sanidad pública y protección del ambiente.

Responsabilidades especiales del constructor

Artículo 103 – 22

103.1 Cumplimiento de la normatividad legal

El constructor debe conocer todas las leyes y decretos de la República de Colombia, además de las ordenanzas, acuerdos y decretos expedidos por las corporaciones públicas y ejecutivos regionales y locales que puedan afectar de alguna manera el desarrollo del contrato y es su obligación el cumplimiento de todos ellos.

Así mismo, debe cumplir con los requisitos establecidos en el numeral 101.1 del artículo 101, Documentos de referencia y consulta.

El constructor debe proteger y salvar al Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) y a sus representantes, de cualquier reclamo o juicio que surja como consecuencia de la contravención o falta de cumplimiento de dichas disposiciones por parte de su personal.

103.2 Calidad

El constructor debe incluir, dentro de su organización administrativa, el diseño e implantación de un sistema de gestión de la calidad, el cual contiene el Plan de Inspección, Medición y Ensayo (PIME) que, previo al inicio de las obras, debe ser revisado y aprobado por la interventoría. Para cumplir con este requisito, se debe utilizar la NTC vigente.

Además, debe garantizar un área destinada al laboratorio de calidad y disposición de muestras para el laboratorio. El lugar debe estar libre de obstáculos, señalizado, protegido de acuerdo con la especificación particular e independiente de otra área específica de trabajo, para conservar, identificar y salvaguardar los especímenes tomados para cada prueba.

La responsabilidad por la calidad de la obra es única y exclusivamente del constructor y cualquier supervisión, revisión, comprobación o inspección que realicen el interventor, INVÍAS o sus representantes, se debe hacer para verificar su cumplimiento, y no exime al constructor de su obligación sobre la calidad de las obras objeto del contrato.

103.3 Autocontrol

El constructor es el responsable del control de calidad del proyecto. Por lo tanto, y como quedó establecido en el numeral 103.2, es deber del mismo en compañía de la interventoría según sea el caso, realizar de forma correcta, a tiempo y con resultados efectivos, el control de las variables de calidad en cada una de las especificaciones que apliquen y tomar las acciones correctivas y de mejora en el momento de una desviación de los estándares o métricas de calidad establecidas por la norma.

Dentro de sus responsabilidades de control se encuentran:

- El constructor debe tener en obra, y, previamente aprobado por el interventor, la programación de los trabajos a realizar, con sus respectivos tiempos y ruta crítica. Así mismo, es su obligación, proteger las obras que puedan verse afectadas por factores climáticos predecibles.

- El constructor debe seguir, en la ejecución de los proyectos, las disposiciones ambientales en materia de construcción de carreteras establecidas en el artículo 106, Aspectos ambientales.

- Realizar todas las inspecciones y los controles de materiales, equipos, procedimientos constructivos, verificaciones de calidad y mediciones que se mencionan en las especificaciones. Esto debe incluir la realización de todas las pruebas de diseño y control de calidad exigidas por las presentes especificaciones, en la cantidad y frecuencia señaladas, las cuales tienen carácter preceptivo. El constructor debe permitir el libre acceso de los funcionarios de INVÍAS y de la interventoría para la vigilancia y control de estas actividades, cuando así lo requieran.

- Documentar todos los resultados de las inspecciones, pruebas y verificaciones de control realizadas. Esta documentación debe estar archivada siguiendo los lineamientos de control documental fijados en el plan de calidad aprobado.

- Implementar un sistema de detección de riesgos de incumplimiento de calidad, en todos sus procesos, para poder tomar acciones correctivas de manera oportuna. Para ello, el plan de calidad debe identificar no solamente los límites de aceptación y rechazo de las especificaciones, sino límites de acción con valores más estrictos que los límites de aceptación y rechazo (PIME).

- Para atender estas obligaciones, y como parte del sistema de gestión de la calidad requerido según el numeral 103.2, el constructor debe contar con un laboratorio de campo, controlado por personal calificado e idóneo para tal labor, previamente aprobado por el interventor, que le permita realizar todas las pruebas de diseño y control de calidad exigidas por las presentes especificaciones, las cuales tienen carácter preceptivo.

Todos los elementos del laboratorio deben encontrarse en perfectas condiciones de funcionamiento y aquellos que lo requieran, deben tener al día su certificado de calibración.

Igualmente, debe contar con las comisiones de topografía necesarias para atender las necesidades de medición del proyecto, de acuerdo con los rendimientos requeridos según el programa de trabajo aprobado. Estas comisiones deben contar personal calificado e idóneo para tal labor, previamente aprobado por el interventor, y con equipos en perfectas condiciones de funcionamiento y certificado de calibración vigente.

Siempre que INVÍAS ordene al constructor realizar algunas pruebas que no estén contempladas en las especificaciones, con el fin de verificar si algún trabajo ejecutado tiene

defectos, y la prueba revele que los tiene, el costo de ellas debe estar a cargo del constructor.

103.4 Permisos y licencias

El constructor debe obtener todos los permisos y licencias que le correspondan para la ejecución correcta y legal de las obras, y pagar los impuestos y derechos de los cuales no esté exonerado.

En lo relacionado con la extracción de materiales, el constructor debe contar con el permiso de las autoridades competentes para tal fin.

Así mismo, el constructor debe contar con todas las licencias requeridas para el uso de datos, software, equipos informáticos y de telecomunicaciones que puedan llegar a requerirse para la ejecución del proyecto. Además, debe presentar a la interventoría copia de los respectivos permisos y licenciamientos para verificar su validez y fechas de vigencia.

103.5 Patentes y regalías

El constructor es el único responsable del uso y pago de regalías, y cualquier costo relacionado con el uso de patentes, marcas registradas y derechos reservados ya sea de equipo, dispositivos, materiales, procedimientos u otros con destino a las obras, debe estar incluido en los precios de los ítems contractuales, ya que por estos conceptos INVÍAS no le debe efectuar ningún abono directo.

103.6 Servidumbres

El constructor está obligado a mantener provisionalmente durante la ejecución de la obra y a reponer a su finalización, todas aquellas servidumbres que INVÍAS le entregue debidamente relacionadas, siendo de cuenta del constructor los trabajos necesarios para el mantenimiento y la reposición de tales servidumbres.

También, debe mantener y reponer aquellas servidumbres existentes antes de la suscripción de la orden de iniciación del contrato que se hayan omitido en la referida relación, caso en el cual debe tener derecho a que se le abonen los costos correspondientes, previo el trámite que para el efecto tenga establecido INVÍAS.

Cuando se produzca algún deterioro de una instalación como consecuencia de las acciones del constructor, este debe avisar de inmediato a la compañía o al individuo responsable de la instalación y debe colaborar en la reparación del daño y en la restauración del servicio, si este queda interrumpido. Los costos que se produzcan por dicha causa, deben ser sufragados en su totalidad por el constructor.

103.7 Contratación de personal

Todas las personas requeridas por el constructor para la ejecución de los trabajos en las condiciones previstas por el contrato deben ser nombradas por él, quien debe cumplir con todas las disposiciones legales sobre la contratación del personal colombiano y extranjero. Así mismo, se obliga a realizar el pago de todos los salarios, prestaciones sociales y aportes parafiscales que se establezcan en relación con los trabajadores y empleados, ya que el personal que vincula el constructor no tiene carácter oficial y, en consecuencia, sus relaciones trabajador - empleador se rigen por

lo dispuesto en el Código Sustantivo del Trabajo y demás disposiciones concordantes y complementarias. Ninguna obligación de tal naturaleza corresponde a INVÍAS y este no asume responsabilidad ni solidaridad alguna.

Igualmente, de acuerdo con la Ley 1618 de 2013, el contratista debe contar con personal calificado (siempre que cumpla con los requisitos exigidos en los pliegos) y no calificado, así como con personas con capacidades reducidas y reinsertados, tanto femenino como masculino, pertenecientes a la zona donde se desarrolla el proyecto.

El constructor debe disponer, a pie de obra, del equipo técnico necesario para la correcta interpretación de los documentos técnicos del proyecto, para la ejecución de los replanteos que le correspondan y para la ejecución de las obras de acuerdo con las especificaciones generales y particulares de construcción.

El constructor es el responsable por los fraudes o malversaciones de su personal en relación con el suministro o el empleo de los materiales requeridos para la ejecución de las obras.

El constructor debe asumir toda la responsabilidad de la ejecución de la obra ante INVÍAS y, por lo tanto, en los casos en los cuales se autorice la subcontratación, debe responder ante INVÍAS por los subcontratistas, para quienes deben regir, además, todas las disposiciones del pliego de condiciones, de las especificaciones y del contrato en relación con asuntos laborales, de salud y seguridad, ambientales, de control de calidad y demás materias.

103.8 Responsabilidad por daños y reclamos

Los daños que se ocasionen a personas y a elementos de propiedad pública o privada por causas imputables al constructor debido a la operación de sus equipos en las obras o en la vía pública, deben ser reparados por su cuenta y a costa suya y, por lo tanto, debe liberar de responsabilidad a INVÍAS y a sus representantes en la obra, de todo reclamo, demanda o juicio de cualquier naturaleza que surja como resultado de daños o perjuicios que puedan atribuirse a la construcción de las obras o estar relacionados con ellas.

103.9 Uso de explosivos

El constructor debe tener en cuenta todas las disposiciones legales vigentes para la adquisición, transporte, almacenamiento, manipulación y empleo de los explosivos e implementos relacionados. En ningún caso se debe permitir el almacenamiento de explosivos a menos de trescientos metros (300 m) de una vía pública o de cualquier edificio o zona de campamento.

El uso de explosivos se debe permitir únicamente con la aprobación por escrito del interventor. Estas actividades deben estar relacionadas con lo establecido en el artículo 102, Aspectos generales de seguridad y salud, de las presentes especificaciones. Antes de realizar cualquier voladura se deben tomar todas las precauciones necesarias para la protección de las personas, vehículos, la banca de la vía y toda otra estructura adyacente al sitio de las voladuras.

En ningún caso se debe permitir que los fulminantes, espoletas y detonadores de cualquier clase se almacenen, transporten o

conserven en los mismos sitios que la dinamita u otros explosivos. La localización y el diseño de los polvorines, los métodos para transportar los explosivos y, en general, las precauciones que se tomen para prevenir accidentes, deben estar sujetos a la aprobación del interventor, pero esta aprobación no exime al constructor de su responsabilidad única por tales accidentes. Todo daño resultante de las operaciones de voladura debe ser reparado por el constructor a su costa y a satisfacción de INVÍAS y demás autoridades competentes.

El personal que intervenga en la manipulación y empleo de explosivos debe ser de reconocida práctica y pericia en estos menesteres y reunir las condiciones adecuadas en relación con la responsabilidad y normativa que corresponda a estas operaciones.

El constructor debe suministrar y colocar las señales necesarias para advertir al público de su trabajo con explosivos. Su ubicación, tamaño, luminosidad y estado de conservación deben garantizar, en todo momento, su perfecta visibilidad.

Durante los periodos en que se usen explosivos, el constructor debe ubicar, en lugares apropiados, miembros de su personal que alerten a los transeúntes sobre el trabajo en ejecución y eviten que estos ingresen a dicha zona de trabajo.

No debe haber ningún pago directo por el suministro, transporte, almacenamiento, manejo, empleo y medidas de señalización y control referentes al uso de explosivos, por cuanto se considera que los gastos respectivos deben quedar incluidos en los precios unitarios de las unidades de obra en las cuales se van a utilizar los materiales explotados.

En todo caso, el constructor debe cuidar especialmente de no poner en peligro vidas o propiedades, y es responsable de todos los daños que se deriven del empleo de los explosivos destinados a la ejecución de las obras objeto del contrato.

103.10 Comodidad del público

En todo momento, el constructor debe realizar sus operaciones de manera que se produzcan los menores inconvenientes y demoras al tránsito público y debe ofrecer condiciones adecuadas y razonables de seguridad a los demás usuarios y moradores aledaños a las obras en ejecución. Como primera medida debe realizar actas de vecindad para determinar el estado de las estructuras circundantes previo al inicio de los trabajos; además, debe mantener a su costa, un acceso adecuado a las propiedades adyacentes a la obra, así como a los caminos públicos interceptados por el proyecto y no puede cortar el acceso a ninguna propiedad, hasta que se encuentre en servicio la instalación que lo reemplace.

Si sus operaciones representan algún peligro evidente o potencial al tránsito o al público en general, el constructor debe contar con un PMT e instalar todos los elementos de señalización preventiva en la zona de los trabajos, de acuerdo con lo establecido en el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte, con los cuales se garantice la seguridad permanente tanto del personal y de los equipos de construcción, como de los usuarios y transeúntes, durante las veinticuatro horas (24 h) del día.

Para actividades que no impliquen el cierre total de la vía, el interventor debe dar su visto bueno previo a la presentación de un PMT.

Para casos que impliquen el cerramiento total de la vía, se deben tramitar los permisos correspondientes ante la autoridad competente y se debe presentar el PMT aprobado por el interventor.

Por el suministro de todas estas medidas no debe haber abono directo por parte de INVÍAS, por lo que su costo debe estar incluido dentro de los costos indirectos.

Supervisión de los trabajos

Artículo 104 – 22

104.1 Vigilancia de los trabajos

La coordinación y la vigilancia de la ejecución para el cumplimiento del contrato deben ser ejercidas por un interventor, quien representa al Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) ante el constructor. El interventor está autorizado para solicitar y exigir al constructor la información necesaria sobre temas que versen sobre la relación contractual con INVÍAS, en lo referente a aspectos financieros, calidad de obra, gestiones ambientales, sociales, prediales de sostenibilidad, salud y seguridad en el trabajo, y gestión del riesgo, y cualquier otra información requerida para la ejecución de obra y el cumplimiento del contrato dentro de los plazos previstos. Así mismo, el interventor está autorizado para impartir instrucciones al constructor sobre asuntos de responsabilidad de este. Esta autorización debe incluir también, a los funcionarios acreditados de INVÍAS.

Las unidades administradoras y ejecutoras de INVÍAS deben suministrar de manera adecuada, suficiente y oportuna, la información relacionada con la ejecución del proyecto a los diferentes tipos de actores.

El interventor no tiene autorización para exonerar al constructor de ninguna de sus obligaciones o deberes contractuales. Tampoco puede, sin autorización escrita previa de INVÍAS, ordenar trabajo alguno que derive en variaciones en el plazo o en el valor del contrato, ni efectuar ninguna modificación de la concepción del diseño o de los precios o unidades de medida de los ítems de obra. Todas las comunicaciones u órdenes del interventor, deben ser expedidas o ratificadas por escrito.

El interventor debe verificar que el constructor minimice los impactos ambientales, de seguridad y salud en el trabajo, sociales y de sostenibilidad que se presenten, en caso de modificaciones a los estudios o diseños del proyecto de construcción de infraestructura vial y obras complementarias.

El interventor debe verificar que durante la ejecución del proyecto de infraestructura vial y sus obras complementarias, se adopten la totalidad de las especificaciones establecidas en los estudios y diseños definitivos.

Además, debe hacer una verificación permanente del estado de la licencia ambiental otorgada por la autoridad competente, en caso de que el proyecto la requiera. De lo contrario, se debe verificar el cumplimiento del Programa de adaptación de las guías de manejo ambiental (PAGA).

Las funciones del interventor son las relacionadas en el respectivo contrato y en el Manual de Interventoría de Obra Pública de la entidad.

104.2 Bitácora de obra

El interventor debe abrir una Bitácora de Obra, en la cual se debe individualizar la obra por ejecutar y se debe señalar los hechos más importantes durante el transcurso de su ejecución, desde el instante de la expedición de la orden de iniciación de los trabajos hasta el recibo definitivo de los mismos.

En especial, en dicha bitácora se debe dejar constancia del cumplimiento o incumplimiento de las especificaciones y demás obligaciones contraídas por el constructor en acuerdo con el contrato.

En la citada bitácora solamente se pueden realizar anotaciones sobre los asuntos inherentes a la ejecución de la obra.

104.3 Reuniones de evaluación y coordinación

Al menos con la frecuencia que se establece el Manual de Interventoría de Obra Pública de INVÍAS se deben celebrar reuniones entre las partes con el fin de evaluar y armonizar los aspectos de ejecución de obra y cumplimiento contractual. Como mínimo, a ellas deben asistir los representantes de la entidad, los interventores y su grupo asesor y el constructor con su equipo de trabajo. Complementariamente y cuando así se estime necesario para el desarrollo de dichas reuniones, puede convocarse a otros funcionarios de INVÍAS, delegados de grupos de interés y representantes de la comunidad, de tal modo que se analicen y resuelvan coordinadamente los diferentes aspectos inherentes a las obras y al contrato.

De cada una de estas reuniones se debe levantar un acta, cuyo original debe ser mantenido en custodia por el interventor, según sea el caso.

104.4 Acceso a la zona de las obras

Los funcionarios y contratistas autorizados por INVÍAS, deben tener acceso permanente al lugar de los trabajos, a las fábricas en donde estén en elaboración o fabricación de los materiales que se utilizan en la obra, y a los laboratorios en los que se realicen ensayos a las muestras tomadas y a los materiales utilizados en la construcción. Para tal fin, el constructor debe proporcionar los medios necesarios para facilitar la inspección de los procedimientos de elaboración de los materiales y de los productos finales que son incorporados en la obra.

104.5 Supervisión de ensayos y pruebas

Los funcionarios y contratistas autorizados por INVÍAS, pueden supervisar, en cualquier momento, los ensayos y pruebas que realicen el constructor o el interventor en relación con la obra contratada. Para que esta supervisión pueda ser efectiva, la parte supervisada debe informar a sus contrapartes el sitio y fecha programados para su realización.

De la misma manera, los representantes del constructor pueden supervisar en cualquier momento los ensayos y pruebas que realice el interventor relacionados con la obra. El interventor debe mantener informado al constructor sobre el sitio y fecha programados para su realización.

Desarrollo de los trabajos

Artículo 105 – 22

105.1 Movilización

El constructor debe realizar todos los arreglos necesarios con miras al oportuno y cuidadoso embarque y transporte de las plantas de producción, maquinarias, vehículos y demás bienes muebles que constituyen su equipo de construcción, así como el traslado o contratación en el lugar del personal requerido, con el fin de asegurar el avance normal de los trabajos, de acuerdo con el programa aprobado. En la provisión de equipos deben incluirse los elementos mínimos requeridos para el control de suelos, pavimentos, concretos y demás materiales que deban ser sometidos a inspección, según las unidades de obra incluidas en el contrato.

Así mismo, debe proveer oportunamente las instalaciones destinadas a campamentos, siguiendo los lineamientos establecidos en la normativa nacional vigente, oficinas, laboratorios y demás espacios que sean requeridos para la correcta administración y ejecución de los trabajos contratados. El constructor no puede implantar dichas instalaciones en áreas naturales protegidas, de patrimonio o áreas que incluyan algún tipo de ecosistemas estratégicos.

Por estas actividades el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) no debe realizar ningún abono directo, motivo por el cual los gastos que ellos ocasionen deben ser incluidos dentro de los costos de administración que forman parte de los costos indirectos de las diferentes partidas de trabajo.

105.2 Entrega del terreno y replanteo del trazado

INVÍAS debe poner a disposición del constructor el terreno requerido para el emplazamiento y la ejecución de las obras conforme con lo indicado en los documentos del contrato. El constructor debe adoptar sus propias medidas en relación con cualquier otro terreno que requiera para la ejecución del contrato y que se encuentre por fuera de los límites de la obra contratada, ya que INVÍAS no debe asumir ninguna responsabilidad en relación con dicho terreno.

Una vez recibido el terreno, es responsabilidad del constructor replantear el trazado de la obra y conservar todos sus elementos, reponiendo periódicamente aquellos que sufran deterioro y emplazando los auxiliares que sean necesarios para la correcta ubicación y ejecución de los trabajos contratados. Este replanteo debe ser verificado por el interventor y aprobado por este cuando lo considere correcto.

Ningún trabajo de movimiento de tierras puede comenzar sin que el terreno se encuentre chaflanado de conformidad con lo indicado en los documentos del proyecto.

Con el objeto de llevar un adecuado control y referencia de los trabajos, junto con el replanteo del trazado, el constructor debe ejecutar o reponer las estacas del proyecto (balizado) cada veinte metros (20 m), demarcando el abscisado completo cada cien metros (100 m), así como cada vez que se encuentre un elemento singular como una obra de arte, puente, poste u otros. Se recomienda que en caso de que la vía presente condiciones particulares el constructor, en conjunto con la interventoría, modifiquen el balizado del proyecto para ajustarlo a dichas condiciones con el fin de que se cumpla a cabalidad con el objeto contractual.

El constructor debe instalar, además, puntos de referencia altimétricos distanciados a no más de quinientos metros (500 m) entre sí, ubicados fuera de la zona de los trabajos y en lugares donde no puedan sufrir ningún daño previsible durante el período de construcción; también, debe instalar referencias planimétricas que garanticen el establecimiento y control de los puntos del proyecto en las coordenadas establecidas X y Y. La ubicación y las cotas de estos elementos deben ser entregadas al interventor antes de iniciar el trabajo que las requiera.

Los trabajos referentes al replanteo, al balizado de la vía y a la localización y mantenimiento de puntos de referencia, no deben ser objeto de abono directo por parte de INVÍAS, motivo por el cual deben ser considerados dentro de los costos indirectos del proyecto.

105.3 Señalización y defensa de la zona de las obras

Desde la orden de iniciación y entrega de la zona de las obras al constructor y hasta la entrega definitiva de las obras a INVÍAS, y si está prevista la utilización temporal o permanente de la vía por el tránsito público, el constructor dabe estar en la obligación de señalizar y mantener el tránsito en el sector contratado, como prevención de riesgos a los usuarios y personal que trabaja en la vía en construcción, de acuerdo con las estipulaciones y especificaciones vigentes sobre la materia. En dicho lapso, el constructor es el único responsable de la señalización y el mantenimiento del tránsito en el sector objeto del contrato.

La señalización debe realizarse en estricto cumplimiento de las disposiciones vigentes sobre la materia, de acuerdo con lo establecido en el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte, la cual debe garantizar la seguridad del tránsito público y de los equipos de construcción durante las veinticuatro horas (24 h) del día.

Para las actividades que impliquen el cierre total o parcial de la vía se debe presentar un Plan de Manejo de Tránsito (PMT), que debe tener la aprobación del interventor y/o de la entidad contratante.

No se pueden iniciar actividades que afecten la libre circulación por una vía, sin que se hayan colocado los elementos reglamentarios de señalización. Estos elementos deben ser modificados o retirados siempre que corresponda, tan pronto como se modifique o desaparezca la afectación a la libre circulación que originó su colocación.

En todos los casos en los cuales la señalización se aplique sobre instalaciones dependientes de otros organismos públicos, el constructor debe estar obligado a cumplir los requisitos

que aquellos establezcan sobre el particular, siendo de cargo del constructor los gastos en que incurra dicho organismo en ejercicio de las facultades de inspección que le correspondan.

El constructor debe, así mismo, señalizar adecuadamente los sitios de almacenamiento de los materiales por utilizar en los diferentes procesos constructivos y debe tomar las medidas necesarias, a su costa, para que los materiales, instalaciones y obras que constituyan el objeto del contrato, no sufran daños o perjuicios como consecuencia de cualquier fenómeno natural previsible de acuerdo con la situación de la obra y que no supongan ningún riesgo adicional al personal y a las instalaciones, en consonancia con las condiciones propias de los trabajos y de los materiales por utilizar.

105.4 Equipos

El constructor debe mantener en los sitios de las obras los equipos adecuados a las características y magnitud de las obras y en la cantidad requerida, de manera que se garantice su ejecución de acuerdo con los planos, especificaciones de construcción, programas de trabajo y dentro de los plazos previstos, con los índices de calidad exigidos en la especificación respectiva.

Todos los equipos deben ser compatibles con los procedimientos de construcción adoptados y requieren la aprobación previa del interventor. Los equipos que no estén en obra deben permanecer en áreas acondicionadas para su estacionamiento, sin obstaculizar la vía pública ni la movilidad de los transeúntes

105.4.1 Condiciones generales de los equipos

El constructor debe mantener los equipos y herramientas de construcción en óptimas condiciones, con el objeto de evitar demoras o interrupciones debidas a daños en los mismos. La mala calidad de los equipos o los daños que ellos puedan sufrir, no deben ser causal que exima al constructor del cumplimiento de sus obligaciones. INVÍAS o la interventoría se reservan el derecho de exigir el reemplazo o reparación, por cuenta del constructor, de aquellos equipos que a su juicio sean inadecuados o ineficientes o que por sus características no se ajusten a los requerimientos de seguridad, a los ambientales o sean un obstáculo para el cumplimiento de lo estipulado en los documentos del contrato.

105.4.2 Emisiones

Las condiciones de operación de los equipos deben ser tales, que no se presenten emisiones de sustancias nocivas que sobrepasen los límites permisibles de contaminación de los recursos naturales, de acuerdo con las disposiciones ambientales vigentes. El constructor es el único responsable, en caso de presentarse incumplimiento en las emisiones permisibles de todo equipo.

105.4.3 Aspectos de seguridad

Todos los equipos deben tener los dispositivos acústicos y de señalización necesarios para prevenir accidentes de trabajo.

En todo caso debe estar incluido en el Sistema General de Seguridad y Salud en el Trabajo (SGSST) y cumplir con la normativa vigente.

105.5 Transporte de equipos y materiales peligrosos

El transporte de equipos, de materiales de excavaciones, materiales pétreos y demás materiales y mezclas provenientes de la zona de los trabajos o con destino a las obras objeto del contrato, deben hacerse en las rutas aprobadas por el interventor, sin interrupción del tránsito normal. Sobre el particular, el constructor debe tener en cuenta y cumplir todas las disposiciones sobre tránsito automotor y medio ambiente, emanadas de las autoridades competentes, en especial el Ministerio de Transporte (carga y dimensiones) y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (emisiones).

Durante el acarreo de los materiales de construcción o generados durante el proceso constructivo, estos deben ser protegidos con un recubrimiento debidamente asegurado a la carrocería del vehículo, para impedir su caída sobre las vías por donde se transportan, así como en las zonas aledañas a las obras. Antes de abordar cualquier vía pavimentada, se deben limpiar perfectamente las llantas de todos los vehículos empleados en el transporte de materiales.

Por ningún motivo se debe permitir la circulación autopropulsada de los equipos de construcción por las vías públicas en desarrollo de actividades diferentes a la ejecución de las partidas de obra. En consecuencia, todo traslado de equipos y maquinaria, dentro o fuera de los frentes de trabajo, se debe realizar en absoluta conformidad con las disposiciones que al respecto tenga el Ministerio de Transporte. El constructor es el único responsable por cualquier daño y perjuicio que pueda resultar del incumplimiento de esta disposición.

105.6 Transporte y manejo de materiales peligrosos

El transporte y manejo de elementos tales como combustibles, lubricantes, explosivos, asfaltos, desechos, basuras y materiales radiactivos debe efectuarse en pleno acuerdo con la reglamentación nacional existente sobre la materia para cada uno de ellos. En todos los casos, el constructor debe garantizar las condiciones de seguridad necesarias y razonables para prevenir derrames, fugas y daños por lluvia o inundación, robos, incendios u otras eventualidades.

Teniendo en cuenta que algunas pruebas de laboratorio requieren el uso de solventes químicos y en el refrentado de los cilindros de concreto se suele emplear el azufre, el constructor debe tomar las disposiciones para que en el área de trabajo donde se realicen tales pruebas no se haga uso indebido de esos elementos, garantizando todas las condiciones de seguridad, según la normativa vigente. Se debe verificar que la ventilación sea apropiada, que el personal se encuentra adecuadamente protegido contra la aspiración de vapores tóxicos, contra el contacto con cualquier producto que pueda afectar la piel o los ojos y que el almacenamiento del material cumpla con las condiciones establecidas para tal fin.

Para el transporte de dispositivos que hagan uso de tecnología de emisiones radioactivas se deben adelantar las medidas pertinentes de prevención, tales como la verificación de que el

personal a cargo y de que el vehículo de transporte cuente con las respectivas autorizaciones, el uso de aislamientos de plomo, medidores de radiación y pictogramas de advertencia sobre la presencia de materiales radiactivos. En todo caso, estas consideraciones deben estar incluidas en el Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SGSST).

105.7 Organización de los trabajos

En la organización de los trabajos se deben considerar las recomendaciones establecidas en los estudios técnicos, de seguridad y salud en el trabajo y ambientales del proyecto, además debe disponer de los espacios o áreas necesarios y adecuados para desarrollar correctamente las labores.

El constructor debe organizar los trabajos en tal forma que los procedimientos aplicados sean compatibles con los requerimientos técnicos necesarios, las medidas de manejo ambiental establecidas en el plan de manejo ambiental del proyecto, los requerimientos definidos en la licencia ambiental y los permisos, autorizaciones y concesiones de carácter ambiental y administrativo y demás normas nacionales y regionales aplicables al desarrollo del proyecto.

Los trabajos se deben ejecutar de manera que no causen molestias a personas, ni daños a estructuras, servicios públicos, cultivos y otras propiedades cuya destrucción o menoscabo no estén previstos en los planos, ni sean necesarios para la construcción de las obras. Igualmente, se deben minimizar, de acuerdo con las medidas de manejo ambiental y los requerimientos establecidos por las autoridades ambientales, las afectaciones sobre recursos naturales y la calidad ambiental del área de influencia de los trabajos.

El avance físico de las obras en el tiempo debe ajustarse al programa de trabajo aprobado, de tal manera que permita el desarrollo armónico de las etapas constructivas siguientes a la que se esté ejecutando.

Cualquier contravención a los preceptos anteriores es responsabilidad del constructor. Por esta causa, el interventor puede ordenar la modificación de procedimientos o la suspensión de los trabajos.

Para la organización y planeación de los frentes de trabajo, el constructor debe tener en consideración lo establecido en el artículo 17 de la Ley 1682 de 2013 (Disposiciones Especiales en material de Contratación de Infraestructura de Transporte) o la que la modifique o sustituya, especialmente en lo referente a frentes de trabajos en jornadas de siete días (7 d) por veinticuatro horas (24 h).

El constructor debe seguir en la ejecución de los proyectos, las disposiciones ambientales en materia de construcción de carreteras, establecidas en el artículo 106, Aspectos ambientales, cuyos costos deben ser incluidos en los análisis de costos indirectos.

105.8 Conservación del patrimonio cultural, científico, histórico y arqueológico

Si durante las excavaciones de las obras se encuentran restos de estructuras de grupos

humanos del pasado, fósiles, restos arqueológicos u objetos de interés histórico, científico o cultural, el constructor debe suspender inmediatamente todos los trabajos que puedan afectar el hallazgo, notificar a INVÍAS, al Instituto Colombiano de Antropología e Historia (en caso de hallazgo arqueológico), al Servicio Geológico Colombiano (en caso de hallazgo geológico y paleontológico) o la autoridad civil o policiva más cercana. El constructor tiene como obligación informar del hecho a dicha(s) entidad(es), dentro de las veinticuatro horas (24 h) siguientes al encuentro y seguir las instrucciones que le impartan al respecto. Así mismo, debe colocar un equipo permanente de vigilancia, mientras se reciben indicaciones precisas sobre su manejo, sin que haya lugar a pago separado por esta actividad.

La remoción de los hallazgos por parte del constructor está expresamente prohibida sin el consentimiento de la autoridad local o nacional responsable, de conformidad con lo que establece la ley. En caso de que se ordene al constructor la extracción de tales objetos, este debe tener derecho a compensación económica por el gasto que le causen tales trabajos.

El constructor debe advertir a su personal de los derechos de la administración local, regional o nacional sobre tales objetos, siendo responsable subsidiario de las sustracciones o desperfectos que pueda ocasionar el personal empleado en la obra.

105.9 Trabajos nocturnos

Los trabajos se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar la ejecución de trabajos nocturnos, total y parcialmente, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y operación de un equipo de iluminación artificial que resulte satisfactorio para aquel. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra, el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

El constructor debe, además, tomar las medidas del caso, de acuerdo con lo establecido en el Manual de Señalización Vial del Ministerio de Transporte, las cuales deben garantizar la seguridad del tránsito público y de los equipos de construcción durante las veinticuatro horas (24 h) del día, para evitar cualquier tipo de accidente, tanto al personal vinculado al proyecto como a los usuarios de la vía o daños a bienes de propiedad pública o privada.

105.10 Trabajos no autorizados

Cualquier trabajo, obra o instalación auxiliar, obra definitiva o modificación de la misma, que haya sido realizado por el constructor sin la debida autorización del interventor, debe ser removido, desmontado o demolido, según corresponda, si el interventor lo exige, siendo de cuenta del constructor todos los costos de remoción, desmontaje o demolición y los de retiro y disposición de desperdicios y escombros, así como los daños y perjuicios que se puedan derivar de la ejecución de trabajos no autorizados.

105.11 Trabajos defectuosos

Todo trabajo rechazado por no cumplir con las especificaciones exigidas, debe ser demolido y posteriormente reconstruido o, puede ser reparado, cuando la interventoría lo considere, dentro del plazo que determine el interventor mediante comunicación escrita. Los sobrecostos los debe asumir el constructor y queda obligado a retirar del sitio respectivo los materiales o elementos defectuosos, a su costa, sin perjuicio alguno para INVÍAS.

105.12 Construcción de desvíos

La construcción de los desvíos debe estar sujeta a lo reglamentado en el Manual de Señalización Vial del Ministerio de Transporte.

105.12.1 Desvíos para el transporte de los materiales del proyecto

En aquellos casos en que, a juicio del interventor, el transporte de materiales pueda perjudicar la obra en ejecución, el constructor debe efectuar los desvíos necesarios de acuerdo con lo especificado en el Manual de Señalización Vial del Ministerio de Transporte, en lo referente a los dispositivos uniformes para la regulación de tránsito en las vías de Colombia vigente, los cuales deben garantizar la seguridad del tránsito público y de los equipos de construcción durante las veinticuatro horas (24 h) del día. Para actividades que no impliquen el cierre total de la vía, el interventor o la entidad contratante debe dar su visto bueno previo a la presentación de un PMT.

La construcción de estos desvíos no tiene pago por separado y su costo debe estar incluido como parte del suministro de materiales en los precios unitarios de los ítems correspondientes.

105.12.2 Desvíos para la circulación del tránsito público

Si por necesidades surgidas durante el desarrollo de las obras se hace indispensable, para la circulación del tránsito público, la construcción de desvíos provisionales o de accesos a tramos parcial o totalmente pavimentados, su construcción debe ser objeto de reconocimiento pecuniario a los precios unitarios previstos en el contrato o a los no previstos que se pacten con INVÍAS.

105.13 Materiales

105.13.1 Aspectos generales

Todos los materiales necesarios para la ejecución de las obras deben ser suministrados por el constructor; por lo tanto, es el responsable de la selección de las fuentes por utilizar, teniendo en cuenta que los materiales y las mezclas elaboradas con ellos deben cumplir con todos los requisitos de calidad exigidos en las presentes especificaciones generales de construcción de carreteras y en las especificaciones particulares, así como las recomendaciones y requerimientos establecidos en los estudios técnicos y ambientales del proyecto, en la licencia ambiental del mismo y en los permisos otorgados por las autoridades ambientales competentes.

El constructor debe conseguir oportunamente todos los materiales y suministros que se requieran para la construcción de las obras y mantener permanentemente una cantidad

suficiente de ellos para no retrasar el progreso de los trabajos. En todos los casos, el constructor debe estar obligado a notificar al interventor, con suficiente antelación, la procedencia de los materiales que se propone utilizar, con el fin de que este pueda realizar todos los ensayos que considere necesarios para acreditar su idoneidad.

La aceptación de las fuentes de materiales propuestas por el constructor debe someterse a las pruebas y ensayos que garanticen su calidad para ser utilizadas en procesos de explotación y transformación en diferentes subproductos utilizados en la construcción de carreteras.

Todos los materiales deben estar sujetos a inspección, muestreo, pruebas, repetición de pruebas y rechazo, en cualquier momento antes de la aceptación de los trabajos. Siempre que se produzcan rechazos, los materiales deben ser retirados de la obra por el constructor, a su costa y deben ser reemplazados por otros de calidad satisfactoria.

Los materiales suministrados y demás elementos que el constructor emplee en la ejecución de las obras deben ser de primera calidad y adecuados al objeto al cual se destinan. Los materiales y elementos que el constructor emplee en la ejecución de las obras sin la aprobación del interventor pueden ser rechazados por este, cuando no los encuentre adecuados. La aprobación del interventor a los materiales, no exonera al constructor de la plena y total responsabilidad por la calidad de la obra ejecutada.

Los productos industriales de empleo en las obras se deben definir por sus calidades y características, sin poder hacer referencia a marcas, modelos o denominaciones específicas. Si en algún documento contractual aparece alguna marca de un producto industrial para designarlo, se debe entender que tal mención se constriñe a las calidades y características del producto, pudiendo emplearse productos de otras marcas que tengan las mismas o mejores propiedades, sin que ello genere reajustes en los precios unitarios.

Los materiales que posean sello de calidad oficialmente reconocido en el territorio colombiano deben venir acompañados de un certificado de garantía del producto sobre las características especificadas.

Todos los parámetros de especificados como mediciones de la calidad de materiales se deben verificar según se indican en los respectivos artículos. Los valores de los ensayos realizados pueden llegar a ser usados como referentes durante el periodo de garantía y de estabilidad de obra, y no deben eximir la realización de nuevas pruebas comprobatorias para dicho periodo.

Los materiales generados en el proceso constructivo, especialmente de desmonte, descapote o excavaciones, que no se utilicen en la obra, se deben disponer adecuadamente en sitios acondicionados para tal fin. El material de cobertura vegetal que se destine para uso posterior en actividades de revegetalización de taludes u otros fines, se debe almacenar adecuadamente, de manera temporal, en sitios adecuados para este propósito, hasta su utilización, cuidando de no mezclarlo con otros materiales considerados como desperdicios.

105.13.2 Fuentes de materiales

El constructor es el responsable de la calidad de los materiales empleados en la ejecución de las obras del proyecto. Esta responsabilidad comprende, entre otros, los siguientes aspectos:

- Selección de las fuentes de materiales.
- Equipos y procedimientos de explotación, producción y transporte de agregados.
- Implementación de un sistema de control de calidad.
- Ejecución de los estudios y ensayos de control de calidad.
- Cumplimiento de todas las normas y requisitos generales y particulares asociados a este tipo de actividades.

105.13.2.1 Selección de fuentes de materiales

Es responsabilidad del constructor la selección de las fuentes por utilizar, teniendo en cuenta que los materiales deben cumplir con todos los requisitos de calidad exigidos en las presentes especificaciones generales de construcción de carreteras y en las especificaciones particulares, así como con los requerimientos y recomendaciones establecidas en los documentos del proyecto, en la licencia ambiental del mismo y en los permisos otorgados por las autoridades ambientales competentes. Con el fin de reducir las emisiones, el consumo de combustible y contribuir con la economía de la región, se pueden comprar los materiales en la zona de desarrollo del proyecto, siempre y cuando cumplan con las condiciones de calidad exigidas en el proyecto y los precios establecidos en los análisis de precios unitarios contractuales.

La información sobre fuentes de materiales que figure en los estudios realizados por firmas consultoras o directamente por INVÍAS, debe tener únicamente el carácter de informativo, así mismo el constructor debe realizar sus propias verificaciones.

105.13.2.2 Calidad de los agregados

Los agregados pétreos deben ser duros y durables; deben estar libres de sustancias deletéreas o perjudiciales; deben ser compatibles con el ligante cuando se incorporan en mezclas o están en contacto con materiales que lo usen, y deben cumplir con los requisitos que se especifiquen para cada uso.

Además, los agregados pétreos no son susceptibles de ningún tipo de meteorización o alteración físico-química apreciable bajo las condiciones más desfavorables que presumiblemente se puedan dar en la zona de empleo. Tampoco pueden dar origen, con el agua, a disoluciones que puedan causar daños a estructuras o a otras capas del pavimento o contaminar corrientes de agua.

El uso de agregados reciclados debe ser permitido siempre y cuando se demuestre que, con la proporción incorporada de materiales vírgenes, se satisfacen o superan los requisitos de las presentes especificaciones.

105.13.2.2.1 Propiedades de los agregados

Las propiedades de los agregados se clasifican en dos (2) grandes categorías que, a su vez, definen requisitos diferentes para la evaluación de su cumplimiento, como se indica en la Tabla 105 – 1.

Tabla 105 – 1. Categorías de propiedades de agregados

Categoría	Descripción general	Verificación del cumplimiento
Propiedades de origen. (O): Nomenclatura en tablas de requisitos	Dependen del tipo de roca y no del proceso de fabricación. Entre las principales propiedades de origen de encuentran: • Composición mineralógica • Dureza • Durabilidad • Adherencia • Reactividad • Contenidos de sales	**Individual** En el caso de mezclas de materiales de diferentes fuentes o vetas de una misma fuente, los requisitos deben ser cumplidos por cada uno de los componentes de la mezcla.
Propiedades de fabricación. (F): Nomenclatura en tablas de requisitos	Dependen principalmente del proceso de fabricación. Entre las principales propiedades de fabricación se encuentran: • Limpieza • Granulometría • Grado de trituración • Forma	**Mezcla** En el caso de mezclas de materiales de diferentes fuentes o vetas de una misma fuente, los requisitos deben ser cumplidos por la mezcla final.

105.13.2.2.2 Control de calidad de los agregados

Es responsabilidad del constructor la ejecución de todos los estudios y ensayos que se requieran para garantizar la calidad de los materiales. Como mínimo, el constructor debe ejecutar todos los estudios y ensayos de control de calidad exigidos en las presentes especificaciones generales de construcción y/o en las especificaciones particulares, tanto para la aprobación inicial de fuentes y agregados como para la verificación periódica de los mismos, con la frecuencia mínima establecida.

Adicionalmente, se debe considerar el reciclaje de materiales que contribuya con la economía circular, promuevan el uso eficiente de recursos y disminuyan la presión sobre los puntos de disposición de materiales. Los materiales pétreos reciclados que aporten a la economía circular del proyecto, deben cumplir con las especificaciones particulares según sea el fin o la destinación; en caso de ajustarse, debe establecerse la mejora del mismo material pétreo para alcanzar la especificación particular respectiva.

105.13.2.2.3 Aprobación de las fuentes de materiales

Las fuentes de materiales, así como los procedimientos y los equipos utilizados para la explotación de aquellas y para la elaboración de los agregados requeridos, deben tener aprobación previa del interventor, la cual no implica necesariamente la aceptación posterior de los agregados que el constructor

suministre o elabore de tales fuentes, ni lo exime de la responsabilidad de cumplir con todos los requisitos de cada especificación.

El constructor debe acompañar la solicitud de aprobación de las fuentes de materiales con un informe que demuestre que los materiales cumplen con los requisitos de calidad exigidos según su uso. El informe debe tener el concepto del ingeniero de materiales del proyecto, los resultados completos de los ensayos de laboratorio y la lista de verificación de cumplimiento.

El constructor debe estar obligado a notificar al interventor, con suficiente antelación, la procedencia de los materiales que se propone utilizar, con el fin de que este pueda realizar todos los ensayos de verificación que considere necesarios.

La aceptación de las procedencias propuestas es un requisito indispensable para la explotación y el acopio de materiales, sin perjuicio de la ulterior comprobación de la permanencia de dicha idoneidad.

105.13.3 Explotación y procesamiento de materiales

105.13.3.1 Aspectos generales

Los procedimientos y equipos de explotación, clasificación, trituración, lavado y el sistema de almacenamiento de los agregados pétreos, deben garantizar el suministro de un producto de características uniformes; el constructor debe verificar permanentemente el cumplimiento de este requisito y, de manera oportuna, debe hacer las correcciones, en caso de desviaciones respecto a las tolerancias permisibles. Así mismo, debe permitir en todo momento la verificación por parte del interventor, quien puede exigir los cambios que considere necesarios para la buena ejecución de los trabajos contratados, cuando se detecte algún incumplimiento al requisito antes mencionado.

Todos los trabajos de clasificación de agregados, separación de partículas de tamaño mayor que el máximo especificado y en especial la eventual mezcla de dos (2) o más agregados para obtener una determinada gradación, se deben efectuar en el sitio de explotación o elaboración y bajo ninguna circunstancia se debe permitir ejecutarlos en la vía.

De igual forma, se deben implementar buenas prácticas en los procedimientos de explotación, clasificación y trituración que mitiguen la dispersión de material particulado que pueda generar afectaciones ambientales y a la salud.

Siempre que las condiciones lo permitan, los suelos orgánicos existentes en la capa superior de las canteras deben ser conservados para la posterior recuperación de las excavaciones y de la vegetación nativa. Al abandonar las canteras temporales, el constructor debe remodelar el terreno, con el fin de recuperar las características hidrológicas superficiales de ellas.

A su vez, los vehículos para transporte de agregados y mezclas deben contar con dispositivos para depositar los materiales de tal modo que no se produzca segregación, ni se cause daño o contaminación en la superficie existente. Cualquier contaminación que se presente, debe ser subsanada por el constructor, a su costa, antes de proseguir el trabajo.

No debe haber pagos por separado para los transportes de materiales pétreos; por lo tanto, los precios unitarios de afirmados, subbase granular, base granular, revestimientos bituminosos y concretos de cemento hidráulico, deben cubrir, entre otros, los costos de adquisición, trituración, lavado, clasificación, transportes, cargue y descargue de los materiales pétreos. Tampoco debe haber pago por separado por el transporte de los suelos y agregados destinados a la construcción de subbases y bases estabilizadas.

105.13.3.2 Equipo para la elaboración de los agregados triturados

La planta de trituración debe estar provista de una trituradora primaria, una secundaria y una terciaria siempre que esta última se requiera; debe incluir, también, una clasificadora y, de ser necesario, un equipo de lavado. Además, debe estar provista de los filtros necesarios para prevenir la contaminación ambiental, de acuerdo con la reglamentación vigente.

105.13.4 Acopio de los agregados

Los agregados se deben acopiar en cobertizos o cubriéndolos con plásticos, de manera que no sufran daños o transformaciones perjudiciales. Cada agregado diferente se debe acopiar por separado, para evitar cambios en su granulometría original. Los últimos quince centímetros (15 cm) de cada acopio que se encuentren en contacto con la superficie natural del terreno no deben ser utilizados, a menos que se hayan colocado sobre esta, lonas que prevengan la contaminación del material de acopio o que la superficie tenga pavimento asfáltico o rígido.

105.14 Fase de experimentación

Algunos de los artículos de las presentes especificaciones generales de construcción de carreteras exigen que, antes de iniciar los respectivos trabajos a escala industrial, el constructor emprenda una fase de experimentación, cuya finalidad es verificar el estado de los equipos y determinar, en secciones de ensayo de ancho y longitud definidos en acuerdo con el interventor, el método definitivo de preparación, transporte, colocación, y compactación, de manera que se cumplan los requisitos indicados en el respectivo artículo.

En tales casos, el interventor debe tomar muestras del producto, para determinar su conformidad con las condiciones especificadas que correspondan en cuanto a granulometría, dosificación, densidad y demás requisitos.

En caso de que el trabajo elaborado no se ajuste a dichas condiciones, el constructor debe efectuar inmediatamente todas las correcciones requeridas en los equipos y sistemas de trabajo o fórmulas de trabajo, repitiendo las secciones de ensayo una vez efectuadas dichas correcciones.

El interventor debe determinar si los tramos de prueba resultan aceptables como parte integrante de la obra en construcción. En caso contrario, deben ser demolidos por el constructor, a su costa.

105.15 Disposición de desechos y sobrantes

El constructor debe disponer, de acuerdo con la normativa ambiental vigente y con el visto

bueno de la interventoría, todos los desechos, escombros, sobrantes y demás residuos provenientes de los trabajos necesarios para la ejecución de las obras, en los sitios indicados en los documentos del proyecto o autorizados por INVÍAS. La disposición debe incluir el transporte (cuando sea el caso), la colocación, conformación y compactación de los materiales de acuerdo con los procedimientos y secciones descritos en los documentos del proyecto.

105.16 Conservación de las obras

El constructor debe estar obligado a conservar, hasta el recibo definitivo, todas las obras objeto del contrato, incluyendo las correspondientes a las modificaciones del proyecto autorizadas. Estos trabajos no son susceptibles de abono por parte de INVÍAS, salvo que expresamente y para determinados trabajos se prescriba lo contrario en los documentos contractuales, o que se presenten casos de fuerza mayor legalmente establecidos.

En el caso de los desvíos a los cuales hace referencia el numeral 105.12.2 del presente artículo, se entiende que dentro de los precios de construcción se deben encontrar incluidos los correspondientes a su conservación.

Los trabajos de conservación no pueden obstaculizar el uso público o servicio de la obra y, en caso de que la afectación sea inevitable, ella debe ser previamente autorizada por el interventor debiendo disponerse, además, la señalización adecuada y oportuna.

105.17 Limpieza final del sitio de los trabajos

A la terminación de cada obra, el constructor debe retirar del sitio de los trabajos todo el equipo de construcción, los materiales sobrantes, escombros y obras temporales de toda clase, dejando la totalidad de la obra y el sitio de los trabajos en un estado de limpieza satisfactorio para el interventor. Las áreas pavimentadas deben quedar completamente libres de cualquier material extraño, suciedad y polvo.

Así mismo, el constructor debe retirar toda la señalización provisional y cancelar los desvíos de tránsito que haya implementado para el desarrollo de la obra, de manera que no se advierta la existencia previa de estos.

Si se requiere borrar demarcaciones efectuadas sobre la superficie de pavimentos para la regulación del tránsito durante el período de las obras, se deben emplear métodos que no afecten adversamente ni el ambiente ni la integridad de los pavimentos.

No debe haber pago separado por concepto de las actividades descritas en este numeral.

Aspectos ambientales

Artículo 106 - 22

106.1 Descripción

Desde el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) se establece la Política de Sostenibilidad para la Infraestructura de Transporte en Colombia, fundamentada en la planeación, ejecución y operación. Mediante esta política, adoptada por la Resolución 405 del 13 de febrero de 2020, se busca desde cuatro (4) ejes estratégicos la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), la eficiencia en el uso de los recursos naturales en las fases de construcción y operación, el empleo de materiales alternativos y reciclados, el aseguramiento de las estrategias de sostenibilidad a nivel institucional e interinstitucional, prácticas constructivas y operativas amigables con los recursos naturales y el entorno, adaptación a la variabilidad climática, actualización tecnológica, transporte inclusivo para diferentes grupos poblacionales, el desarrollo de una cultura de sostenibilidad y la promoción de la investigación académica y de espacios de intercambio de conocimiento.

Así entonces, en el artículo 106, Aspectos ambientales, de las presentes especificaciones, se encuentran las pautas y lineamientos a seguir en este sector respecto a los aspectos de sostenibilidad, componente ambiental y social. En dicho documento, se deben relacionar medidas a tener presente para la gestión sostenible en la construcción de carreteras; se definen las pautas de promoción de capacidades para la sostenibilidad en el personal de obra, subcontratistas y comunidad en general. De igual manera, los deberes relacionados con aspectos y criterios de sostenibilidad, componente ambiental y social en las actividades de construcción. Finalmente se establecen lineamientos en el manejo de información, seguimiento y reconocimiento de las actividades relacionadas con este artículo.

106.2 Generalidades de la gestión sostenible en la construcción de carreteras

La gestión en los aspectos de sostenibilidad, componente ambiental y social en el contexto de proyectos de construcción de carreteras, está fundamentada en la relación ser humano – naturaleza. Bajo este parámetro, los vínculos, la correspondencia, las interrelaciones y la retroalimentación de los distintos componentes sociales, culturales, políticos, institucionales, económicos, ecológicos y tecnológicos, entre otros, permiten desarrollar buenas prácticas de protección ambiental y social que contribuyen a un desarrollo sostenible del país.

En este sentido, son afines a la política de sostenibilidad para la infraestructura de transporte de INVÍAS, la política de crecimiento verde, los lineamientos de infraestructura verde vial, las soluciones basadas en la naturaleza, la NTC-ISO 14001 relacionada con

los sistemas de gestión ambiental, los acuerdos y leyes en cambio climático y diversidad biológica, además los convenios, compromisos y obligaciones que ha suscrito y suscriba el Estado colombiano en términos de sostenibilidad.

Por lo tanto, en la planeación previa de las obras y posterior desarrollo de actividades objeto del contrato, el constructor está obligado a realizar: 1) El análisis e incorporación de criterios en materia de sostenibilidad y prácticas constructivas amigables con los recursos naturales y el entorno, en concordancia con los aspectos mencionados en el párrafo anterior. 2) El análisis y cumplimiento de las disposiciones y de la normativa ambiental y social aplicable a proyectos de construcción de carreteras; así mismo, a cumplir los procedimientos establecidos para la ejecución, avance, seguimiento, control, informes, balances ambientales, sociales y de sostenibilidad establecidos desde las instituciones y autoridades competentes.

Con base en esos parámetros, los proyectos pueden ser: **A) Proyectos sujetos a licencia ambiental,** y **B) Proyectos no sujetos a licencia ambiental.**

A) Proyecto sujeto a licencia ambiental. De conformidad con la legislación ambiental, el Decreto 1076 de 2015 y sus reglamentarios (o aquellos que lo sustituyan o modifiquen), el constructor puede estar en una de las siguientes condiciones:

- Encontrarse en la etapa de pre construcción, donde lleva a cabo el Estudio de Impacto Ambiental (EIA), tramita y obtiene la respectiva licencia ambiental.
- Contar con la respectiva licencia ambiental, por lo tanto, existe un documento de Estudio de Impacto Ambiental (EIA).

El constructor debe revisar y analizar desde el componente ambiental y social el alcance de las obras contratadas, con el objeto de tener claridad en los lineamientos establecidos en la licencia ambiental, sus modificaciones, cesiones y autos de seguimiento.

De la misma manera, el constructor es responsable del cumplimiento de la licencia ambiental, en concordancia con el alcance y contenido señalados en los reglamentos sobre licencias expedidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible o la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA): Ley 99 de 1993, Decreto 1076 de 2015 (o aquellos que los sustituyan o modifiquen), y los términos de referencia que establezca la autoridad ambiental.

B) Proyecto no sujeto a licencia ambiental. De acuerdo con la legislación ambiental aplicable, el Decreto 1076 de 2015, especialmente lo estipulado en los artículos 2.2.2.5.1.1 y 2.2.2.5.4.3 y sus reglamentarios; así como la Ley 1682 de 2013, Decretos 769 y 770 de 2014 (o aquellos que los sustituyan o modifiquen), el constructor debe revisar y analizar desde el componente ambiental y social, el alcance de las obras contratadas con el objeto de tener claridad si el proyecto se ejecuta bajo los lineamientos generales de las Guías de Manejo Ambiental de Proyectos de Infraestructura (elaboración del Plan de Adaptación de la Guía Ambiental – PAGA) y obtener los permisos de uso, aprovechamiento o afectación de recursos naturales renovables que sean necesarios.

El constructor debe tener presente que, si durante la ejecución del contrato de obra se requiere el trámite de una licencia ambiental, el proyecto ya no se ejecuta siguiendo los lineamientos de las Guías de Manejo Ambiental de Proyectos de Infraestructura, sino que debe tramitar (a su nombre y a cargo del porcentaje (%) de administración del costo directo del contrato) la respectiva licencia ambiental y regirse por lo que disponga.

A continuación, se relacionan otros deberes del constructor, ya sea en proyectos sujetos o no a licencia ambiental:

- Está obligado, tanto en proyectos licenciados (Plan de Manejo Ambiental - PMA) y no licenciados (PAGA) a un eficiente uso y aprovechamiento de los recursos naturales; promover la participación de la comunidad beneficiaria, y ejecutar prácticas constructivas amigables con los recursos naturales y el entorno. Estas prácticas deben permitir prevenir, mitigar, corregir y compensar afectaciones y posibles impactos negativos sobre los componentes naturales y sociales del área de influencia del proyecto, tal y como se encuentra definido en la política de sostenibilidad y en los lineamientos de infraestructura verde vial.
- En las actividades de obra, con o sin licencia ambiental se debe establecer e incorporar criterios de sostenibilidad y de infraestructura verde vial que permitan llevar a cabo el proyecto, reduciendo los impactos negativos tanto al medio natural como a las comunidades, buscando la sostenibilidad técnica, ambiental, social, económica y financiera. Estos criterios deben ser armonizados con los documentos PAGA o de EIA, de acuerdo con lo establecido en los lineamientos y la política de sostenibilidad de INVÍAS.
- Conocer, acatar e implementar la normativa social de carácter constitucional, legal o de desarrollo jurisprudencial, con el fin de garantizar la protección y ejercicio de los derechos de los ciudadanos y comunidades.
- Está obligado a identificar, evaluar, pagar y tramitar a su nombre de manera oportuna, todas las certificaciones, autorizaciones, concesiones, licencias y/o permisos relacionados con la gestión ambiental y social. Además debe cumplir con las obligaciones y requerimientos contenidos en estos actos administrativos.
- Ejecutar las medidas de compensación, programas ambientales, sociales y de sostenibilidad requeridos, de manera simultánea a la ejecución de las obras del contrato y dentro del plazo contractual.
- Aportar las certificaciones de cumplimiento expedidas por las autoridades competentes (no procesos en curso y cierre de expedientes, entre otros), como soporte del balance final del contrato de obra en lo que respecta a lo ambiental, social y de sostenibilidad.
- Conocer las disposiciones contenidas en los documentos que complementan la operatividad y desarrollo de la gestión ambiental, social y de sostenibilidad en el desarrollo de obras de infraestructura emitidos por INVÍAS, como: el Manual de Interventoría de Obra Pública, Guías Ambientales, Apéndice de Gestión Ambiental, Apéndice de Gestión Social, Apéndice de Sostenibilidad, protocolos, formatos e informes para el seguimiento y evaluación de la

gestión ambiental, social y aspectos de sostenibilidad (los que complementen, sustituyan o modifiquen).

- Es el responsable del pago de multas, sanciones y otras medidas impuestas y ejecutoriadas por las autoridades, cuando estas resultaren del no acatamiento de la normativa ambiental, social o de los compromisos y obligaciones impuestas en los actos administrativos emitidos por la autoridad competente. Dichos pagos se deben realizar a su costa, en ningún concepto se debe aceptar que se reconozcan por el contrato.

El constructor debe ser conocedor que todas las actividades ejecutadas en cumplimiento a esta especificación, deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales, sociales y aspectos de sostenibilidad. De esta manera, dichas labores deben estar incluidas en los costos del proyecto, por lo tanto, no deben ser objeto de reconocimiento directo.

106.3 Promoción de capacidades para la sostenibilidad

El constructor está obligado a desarrollar un conjunto de actividades y acciones educativas destinadas, a promover y fortalecer valores, aportar conocimiento, contribuir a adquirir competencias y mejorar las prácticas y hábitos en el marco de los compromisos que ha suscrito el Estado colombiano en torno al desarrollo sostenible. Todos ellos materializados en leyes como la Ley 99 de 1993 y la Ley 1844 de 2017, así como en las políticas CONPES 3928-2018 (estrategia para la Implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible) y CONPES 3934 de 2018 (Política de Crecimiento Verde), o aquellas que se implementen.

Por lo tanto, el constructor mediante sus profesionales vinculados para la gestión ambiental, social, de sostenibilidad y técnica del proyecto de construcción de carreteras, debe concentrar sus esfuerzos en los lineamientos establecidos en el párrafo anterior, tanto hacia la población beneficiaria de las obras y demás actores sociales localizados en su área de influencia, como para su personal administrativo, profesional, técnico, obrero y subcontratistas. Para ello, puede consultar los documentos desarrollados por UNESCO sobre: 1) “El fomento de Competencias para el Desarrollo Sostenible”, que brinda lineamentos de Educación para el Desarrollo Sostenible en el lugar del trabajo, y 2) “Fomentando y desarrollando la Enseñanza y Formación Técnica y Profesional” desde una perspectiva ecológica, aplicado a sectores como la construcción.

En la planificación y ejecución de actividades, puede tener como referentes:

- La relación ser humano y naturaleza desde la interacción entorno y proyectos de infraestructura de transporte.
- La comunidad y sus modos de participación en las decisiones ambientales y sociales.
- La importancia de la biodiversidad y la fragilidad de los ecosistemas.
- Los corredores de conectividad ecológica.
- Medidas de prevención del atropellamiento de fauna.
- El rescate del conocimiento tradicional asociado a la biodiversidad y el conoci-

miento del manejo ecológico para mejorar y potencializar prácticas de uso de los recursos naturales.

- La alteración del clima y las políticas relacionadas con el cambio climático.
- La calidad del agua, el suelo y el aire.
- El uso eficiente de energía.
- Los impactos y problemáticas asociadas con la demanda de recursos naturales para sustentar las tendencias actuales del crecimiento y desarrollo.
- El consumo responsable (ecológico o sostenible).
- La economía circular, en la cual se establece una correcta separación de residuos, reducción del consumo, prolongación en el tiempo de los recursos y materiales, entre otras acciones.
- Inclusión social en proyectos de infraestructura de transporte.
- Los aspectos de ingeniería verde y buenas prácticas ambientales y sociales.
- Las áreas de distribución de fauna endémica, migratoria y/o en condición de amenaza o vulnerabilidad.
- La recolección de residuos: medicamentos vencidos, materiales electrónicos, papel, bombillas, entre otras, con la debida divulgación y capacitación sobre el tipo de residuos (sólidos domésticos, industriales y residuos o desechos peligrosos - RESPEL)

El contenido de dichas actividades, su cronograma y la metodología de ejecución, deben ser puestos a consideración del interventor y requieren de su aprobación para ser desarrollados. El equipo de gestión ambiental, social y sostenibilidad del constructor debe hacer seguimiento y retroalimentación de los programas y actividades de fortalecimiento, fomento de valores, capacitación y educación ejecutados. En estas actividades se deben emplear elementos amigables con el ambiente, evitar el plástico, reducir los residuos sólidos generados y evitar al máximo el consumo de energía, entre otros aspectos.

El constructor es responsable de acatar e informar entre su personal y subcontratistas el contenido de la Ley 1333 de 2009 “Por la cual se establece el procedimiento sancionatorio ambiental y se dictan otras disposiciones” (o la que la modifique o sustituya), la que faculta a la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales y demás autoridades ambientales del orden regional y nacional, para ejercer las actividades preventivas y sancionatorias que considere, en caso de establecerse conductas, hechos o actividades consideradas infracciones que atenten contra el medio ambiente o que sean violatorias de la normativa vigente, en especial el Código de Recursos Naturales Renovables Decreto-Ley 2811 de 1974, la Ley 99 de 1993, la Ley 165 de 1994 y en las demás disposiciones que las sustituyan o modifiquen, y el contenido de los actos administrativos emanados de la autoridad ambiental competente.

106.4 Componente de sostenibilidad

El constructor debe conocer la Política de Sostenibilidad de INVÍAS y los lineamientos establecidos desde la institución que contextualizan y complementan su aplicación, con el fin de determinar e incorporar sus criterios en un documento o anexo de sostenibilidad, de acuerdo con el tipo de proyecto (proyecto no

sujeto a licencia ambiental (PAGA) o proyecto sujeto a licencia ambiental (EIA)).

Asimismo, debe determinar, valorar y evaluar los parámetros y/o medidas de sostenibilidad del proyecto a ejecutar, teniendo en cuenta como mínimo los pilares establecidos en la Política de Sostenibilidad de INVÍAS, el uso eficiente de recursos, la contribución a las condiciones de sostenibilidad para las comunidades; con el fin de implementar actividades que garantizan que el proyecto es sostenible ambiental, social, financiera y técnicamente a lo largo del ciclo de vida del proyecto. Los parámetros de sostenibilidad se deben establecer considerando las condiciones y presupuesto asignado al proyecto, con la respectiva justificación de su inclusión.

En la valoración de los criterios de sostenibilidad, se debe partir de un diagnóstico de las interacciones de la infraestructura existente con los medios físico, biótico y socio económico. La finalidad es formular medidas de manejo de carácter preventivo, de mitigación, de compensación y correctivo con base en consideraciones ambientales, sociales, tecnológicas y de ingeniería.

El constructor debe aplicar la metodología de evaluación de la sostenibilidad establecida por INVÍAS, la cual debe contribuir a:

- Cuantificar y demostrar los beneficios de la infraestructura sostenible.
- Identificar los impactos o efectos tanto positivos como negativos en la comunidad y el medio ambiente por efecto de las actividades del proyecto.
- Generar una mayor viabilidad a largo plazo mediante el aumento de la resiliencia (tener en cuenta las condiciones cambiantes).
- Reducir los costos y los riesgos a largo plazo.
- Obtener una mayor confianza y participación pública para la aceptación del proyecto.
- Estimular la innovación significativa y cambiante.

El constructor debe estructurar un plan de trabajo con su respectivo cronograma para la implementación de las acciones o medidas de sostenibilidad del proyecto a ejecutar, el cual debe ser presentado a la interventoría para los respectivos trámites de gestión y aprobación. Este plan debe comprender todas las actividades desde el diagnóstico, la inclusión de los pilares fundamentales de la política de sostenibilidad, la escogencia y desarrollo de la metodología de evaluación, hasta la ejecución de las actividades de sostenibilidad, todo dentro del tiempo contractual.

106.5 Componente ambiental

El constructor está obligado a cumplir con todos los requerimientos, disposiciones ambientales vigentes, y demás medidas de carácter ambiental de acuerdo con la especificidad de los proyectos de construcción de carreteras. Es responsable además, en la ejecución de actividades, de seguir buenas prácticas ambientales para salvaguardar los recursos de patrimonio colectivo (agua, suelo, aire, fauna, flora, conectividad ecológica y del paisaje, entre otros). En este sentido, para cada uno de los aspectos bióticos y abióticos busca generar el menor impacto ambiental y social, ya que se implementan y mantienen estrategias para prevenir, mitigar, corregir o compensar impactos negativos e incrementar los positivos.

Por lo tanto, previamente, debe precisar el alcance de la gestión ambiental para el proyecto en cuanto a su sujeción o no a licencia ambiental, conservando un criterio de unidad territorial, ecológica y paisajística, según el resultado de los estudios y evaluaciones realizados en concordancia con la normativa ambiental vigente y los términos de referencia emitidos por la autoridad ambiental competente.

106.5.1 Uso y manejo del agua

El recurso agua se considera como eje integrador de todos los ecosistemas debido a los procesos biológicos que se dan, siendo además un elemento importante del desarrollo social y económico. Así entonces, el constructor está obligado a realizar un uso y manejo eficiente de este, evitando en todas las actividades de construcción de carreteras la alteración y posibles impactos de las fuentes superficiales y subterráneas.

Debe conocer, en consecuencia, las fuentes superficiales y subterráneas abastecedoras o no en el área de influencia del proyecto; identificar los usos (acorde con los establecidos en el artículo 2.2.3.2.7.6 del Decreto 1076 de 2015, o aquellos que lo sustituyan o modifiquen) y usuarios actuales (y potenciales, si existe información para ello) de aquellos presentes en el área de estudio y que pueden verse expuestos a los posibles impactos generados por el desarrollo del proyecto.

En el mismo sentido y antes de escoger para el proyecto una fuente de abastecimiento superficial o subterránea (además de realizar los trámites respectivos de uso, intervención de cauce y concesión de agua ante la autoridad ambiental competente) el constructor debe evaluar otras alternativas de suministro, como también el uso de tecnologías de manejo eficiente de agua con el propósito de reducir el impacto sobre el recurso hídrico natural.

En este aspecto cabe mencionar el suministro de agua a través de carrotanques de empresas constituidas y autorizadas legalmente para este fin, alternativas como el uso de agua lluvia, el reciclaje de agua y demás no convencionales dentro del consumo de recursos hídricos en el proyecto. En concreto, es requerimiento para el suministro y manejo del agua en obra aplicar buenas prácticas y medidas socioambientales para su uso y conservación (calidad y cantidad).

El constructor es responsable de realizar las gestiones o actividades ante las respectivas empresas de servicios públicos para suministrar agua en la calidad y cantidad requerida para actividades humanas en el desarrollo de obras (alimentación, duchas, servicios sanitarios y de higiene, elementos de bioseguridad, entre otros). De igual manera, deben ser de su competencia las gestiones o actividades para la recolección, manejo y disposición de los vertidos líquidos que se generan en dichas actividades, todo dentro del marco normativo colombiano.

Asimismo, debe vigilar que los sistemas de almacenamiento, depósitos y distribución de agua no presenten filtraciones, fugas, derivaciones, pérdidas y usos innecesarios. En particular, el constructor debe corregir cualquier problema o avería que suponga pérdida de agua, debe fijar objetivos de ahorro, realizar seguimiento al consumo de agua procurando ajustarlo a las necesidades reales y, de manera

plena, debe establecer los lineamientos e instrucciones de limpieza que minimicen el consumo de agua y generación de sedimentos.

El constructor es responsable de un correcto manejo de las aguas superficiales, subterráneas y escorrentía en el área de influencia del proyecto.

Y, entre otros aspectos, debe estar en la obligación de:

- Mantener en perfectas condiciones y no ocupar los drenajes naturales y sus rondas, ya que son hábitat y medio de conectividad de la fauna acuática y terrestre. Estas acciones incluyen tanto las operaciones directas como la de proveedores de materiales de construcción.
- Proteger y no afectar los sistemas de recolección y transporte de aguas lluvias.
- Mantener en perfectas condiciones de funcionamiento hidráulico las estructuras de drenaje existentes o que se constituyan temporalmente para el desarrollo de obras.
- Evitar modificar o alterar el cauce de las fuentes hídricas aledañas. No debe realizarse taponamiento y/o desvíos. Si se requiere intervenir la fuente se debe contar previamente con el respectivo permiso de la autoridad ambiental competente.
- Respetar la capacidad hidráulica de las estructuras y dispositivos de drenaje.
- Los vertimientos de aguas residuales de cualquier tipo de actividad deben tener algún tipo de gestión para su tratamiento o disposición acorde con la normativa vigente y lo establecido por la autoridad competente.
- Disponer de las medidas necesarias para evitar el arrastre de sedimentos o partículas sólidas generadas por la escorrentía en los frentes de obra, patios, talleres y campamentos.
- Evaluar las obras de drenaje que se proyecten construir, según la característica hídrica y ecológica de la zona. La finalidad es evitar la fragmentación de los ecosistemas terrestres y acuáticos presentes en el área de influencia del proyecto, que se afecte la morfología, calidad y funcionalidad hídrica, además de alteraciones de la vegetación y fauna asociada a la fuente y ronda hídrica.
- Seleccionar la solución constructiva óptima teniendo presente las consideraciones de adaptación a la variabilidad climática y la gestión del riesgo de desastres.

En definitiva, el constructor es el único responsable por el uso indebido del agua para el desarrollo de la obra

106.5.2 Calidad del aire

Bajo este aspecto, el constructor debe conocer las fuentes o puntos de contaminación del aire en el área de influencia del proyecto. Por ello, en el desarrollo de las obras debe prever que no existan aumentos de concentraciones de compuestos a la atmósfera y material particulado de acuerdo con las normas vigentes en la materia.

En tal sentido, las plantas de asfalto, concreto, triturados, los vehículos, maquinaria, equipos y los procedimientos constructivos empleados por el constructor deben minimizar la emisión de contaminantes hacia la atmósfera. Para lograrlo, debe inmovilizar, someter a repara-

ción o realizar cambios en aquellos equipos que generan emisiones excesivas, garantizando que su operación se realiza siempre dentro de los límites admisibles.

Es de entera responsabilidad del constructor, cuando se requiera, implementar sistemas para la medición y el control de la calidad de las emisiones, olores, humos, polvo, uso de productos químicos tóxicos y/o volátiles o cualquier otro elemento. La concentración del polvo ocasionado por la ejecución de las obras, la circulación por ellas o por los desvíos dispuestos por el constructor no pueden afectar a la población y los sistemas naturales del entorno.

El constructor debe implementar buenas prácticas ambientales y tecnológicas para reducir la contaminación atmosférica dentro del proceso de construcción del proyecto. Resulta pertinente, entre diferentes aspectos, emplear alternativas tecnológicas en equipos, vehículos (eléctricos), maquinaria y procesos hacia opciones de producción más limpia, eficiencia energética y cero emisiones, con el fin de reducir los impactos en el ambiente. Otra alternativa debe ser evaluar el suministro de materiales por las empresas constituidas, buscando generar menos emisiones a la atmósfera que al instalar y operar plantas en esta materia. El constructor, por tanto, debe planificar rutas, ajustar capacidades de la maquinaria, seguir criterios de conducción eficiente y, en el caso de surtidores de combustible, instalar mecanismos de absorción de gases.

106.5.3 Control del ruido y vibraciones

El constructor debe conocer las fuentes (fijas y móviles) de ruido en el área de influencia del proyecto. En cualquier caso, en el desarrollo de las obras garantiza que no existen aumentos de ruido por fuera de lo establecido en las normas vigentes en la materia.

En tal sentido, la contaminación por ruidos y vibraciones ocasionados por la ejecución de las obras se debe mantener dentro de límites de frecuencia e intensidad tales, que ellos no resulten nocivos para la fauna, las personas (de obra y externas), según sea el tiempo de permanencia continua bajo el efecto del ruido o la eficacia de la protección auricular adoptada.

El constructor debe inmovilizar, someter a reparaciones o realizar cambios en aquellos equipos que generan ruido excesivo, para garantizar siempre que su operación se realiza dentro de los límites admisibles.

El constructor, de manera eficaz, debe instaurar buenas prácticas ambientales y tecnológicas para reducir la contaminación por ruido y vibraciones dentro del proceso de construcción del proyecto. Por tal motivo, debe tomar iniciativas a través del uso de mejores tecnologías (equipos y maquinaria), debe emplear equipos de trabajo más silencioso o con bajo nivel de ruido, debe evitar dejar en marcha los vehículos y la maquinaria, implementar barreras naturales como vegetación, entre otras acciones que permitan mitigar la generación del ruido en el desarrollo del proyecto.

106.5.4 Protección de ecosistemas, biodiversidad y conectividad ecológica

El constructor debe identificar en el área de influencia del proyecto (obras nuevas o de mejoramiento), los ecosistemas (terrestres, acuáticos, costeros o insulares) sensibles y áreas definidas por la ley como de importancia ambiental; así como los corredores ecológicos existentes. Esencialmente, consulta para su identificación, los sistemas de información ambiental establecidos, tal como se menciona en el numeral 106.7 de estas especificaciones.

Si durante la construcción se descubren áreas o ecosistemas biológicos muy sensibles, que puedan ser afectados adversamente o destruidos por la ejecución de obras, los trabajos deben suspenderse de inmediato, dando cuenta del hecho al interventor. También, debe notificar a la autoridad ambiental competente y realizar los estudios y evaluaciones ambientales pertinentes para tomar las respectivas decisiones.

El constructor debe, entre otros aspectos:

- Identificar los ecosistemas presentes en el derecho de vía y protegerlos.
- Evitar que sus procesos constructivos fragmenten los corredores biológicos y la conectividad ecológica.
- Asegurar la permanencia de la cobertura vegetal, prevenir la deforestación y restringir el acceso a estos sitios.
- Si requiere realizar obras contiguas a los ecosistemas en mención en este ítem, debe evaluar, establecer y ejecutar medidas o programas específicos para evitar su afectación y perturbación.
- Tener presente que no debe ocurrir en estos sitios ningún tipo de aprovechamiento de recursos naturales para el desarrollo del proyecto.
- Adoptar las medidas necesarias para evitar que sus empleados actúen en forma depredativa sobre la vegetación, o realicen captura o caza de la fauna.
- Promover en todos los casos medidas de preservación y conservación.

106.5.5 Protección de fauna

En constructor, antes de iniciar labores debe identificar las áreas que sean hábitat potencial de fauna y las especies de fauna más sensibles que se encuentren allí presentes; definir límites para proteger y mantenerse fuera de ella; de igual manera, debe revisar el plan de manejo ambiental para prever cualquier medida de protección de la fauna en el sitio.

Con miras a la protección de la fauna, el constructor se debe obligar en el desarrollo de obras, a:

- No perturbar el hábitat natural de la fauna.
- No generar su desplazamiento y ampararle su hábitat.
- En caso de encontrar una especie protegida, inmediatamente, detener las actividades en la obra correspondiente, notificando a la interventoría y autoridad competente.
- Vigilar que su personal no realice actividades de caza y pesca.

En aquellos entornos en los cuales se detecte una asociación de alto valor ecológico entre la vegetación y la fauna, se debe reprogramar en conjunto con el interventor los trabajos de

desmonte y limpieza hacia épocas que no afecten el ciclo reproductivo, o analizar la posibilidad de reducir la extensión de las obras, con el fin de minimizar el impacto de ambos elementos.

El constructor debe ejecutar las obras que, en las etapas de formulación de estudios y diseños definitivos se concibieron, entre otros fines, para evitar la generación de impactos negativos sobre la movilidad de la fauna silvestre tales como viaductos, puentes y/o túneles, entre otra infraestructura complementaria que contribuya a mitigar este tipo de impactos como los pasos de fauna.

Igualmente, debe tener en cuenta otras medidas adicionales incluyendo protocolos de identificación de especies, el reconocimiento de la presencia y ubicación de individuos, la definición de mecanismos de captura de ejemplares, la aplicación de protocolos para el rescate y traslado, la atención primaria veterinaria especializada de ejemplares heridos, el monitoreo y manutención de individuos, y la rehabilitación y reintroducción de animales. El constructor debe promover la participación de organizaciones ambientales en el trabajo de identificación de sitios críticos y en las actividades de manejo de fauna en las áreas de influencia del proyecto.

Estas medidas pueden ser definidas en el marco de la construcción y/ fortalecimiento de los Centros de Atención y Valoración de Fauna Silvestre (CAV) y Centros de Atención, Valoración y Rehabilitación de Fauna Silvestre (CAVR) localizados en las proximidades del área de influencia del proyecto. En este aspecto, debe tener en cuenta la Resolución 2064 de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (o aquellas que las sustituyan o modifiquen).

En forma adicional, debe realizar actividades y tomar medidas necesarias, si es el caso, para garantizar durante el desarrollo de obras el no atropellamiento de animales. Como medidas útiles a evaluar al respecto, se tienen: instalar barreras perimetrales que conduzcan a los animales a puntos de cruce seguros con el fin de reducir la mortalidad de la fauna por colisiones y atropellamiento e incrementar la seguridad al conductor que se desplace por las áreas de trabajo; instalar dispositivos sonoros que ahuyentan, además de reforzar la señalización que advierta o alerte la presencia de fauna silvestre y la alta probabilidad de cruce en la carretera.

El constructor debe disponer de un directorio de centros de recuperación de especies, para los casos de animales heridos por atropello.

El constructor, en el caso de que aplique y previa aprobación de interventoría, debe evaluar y mejorar las obras hidráulicas con el fin de utilizarlas como pasos de fauna silvestre.

Finalmente, en aras de hacer seguimiento a la fauna existente en el área de influencia del proyecto y considerando la importancia de la información obtenida en campo, el constructor debe realizar el registro de los individuos de fauna atropellados en la vía que hace parte del proyecto constructivo. Para este fin, debe capturar información de fecha, hora, tipo (reptil, ave, mamífero, anfibio, doméstico, otro), coordenadas o PR, foto, tipo de cobertura en las márgenes de la vía, e información adicional que permita realizar un seguimiento y sea útil en la implementación de medidas para mitigar la afectación de la biodiversidad por atropellamiento.

El constructor, para tal fin, debe diligenciar información en el aplicativo dispuesto por INVÍAS para avistamiento y atropellamiento de fauna en el tiempo que dure el contrato; por lo tanto, contacta a la Subdirección de Medio Ambiente y Gestión Social (SMA) – Equipo de Sostenibilidad de INVÍAS.

106.5.6 Protección de flora y manejo de vegetación

El constructor debe adoptar todas las medidas necesarias para evitar que su personal realice actividades que afecten la vegetación nativa. En estos lugares se debe restringir la circulación, evitando el movimiento innecesario de maquinaria y personal. Se deben acoger medidas correctivas previa autorización de la intervención por la autoridad ambiental competente.

Siempre que se produzca un daño no contemplado en las obras contratadas y aprobadas, que afecte la cubierta vegetal en zonas de préstamo, sitios de disposición de sobrantes o campamentos, debe ser de completa cuenta y riesgo del constructor la recuperación de la cubierta vegetal. Debe crear las condiciones óptimas de posibilitar a corto plazo la implantación de especies herbáceas y, a largo plazo, la colonización de la vegetación nativa. Estas actividades las deben adelantar atendiendo a cabalidad las instrucciones de la autoridad ambiental competente.

El constructor debe mitigar los impactos negativos sobre la vegetación y flora de acuerdo con lo establecido en los estudios ambientales, Plan de Manejo Ambiental, Plan de Adaptación a la Guía Ambiental, determinaciones, permisos y requerimientos que emite la autoridad ambiental competente.

Cuando el proyecto lo contempla, la vegetación que se utiliza para el recubrimiento de taludes debe ser de rápido crecimiento y regeneración para minimizar los efectos de procesos de erosión incipientes. Utilizar especies nativas demanda menos mantenimiento y permite adaptarse al clima y al suelo de la zona. El constructor debe tener presente la especificación al respecto (artículo 810, Protección vegetal de taludes).

Si el proyecto contempla la plantación de especies arbóreas, aquellas que puedan alcanzar gran tamaño y/o extensión radicular, deben ser plantadas a distancias tales que su eventual caída no represente peligro para el tránsito y que su avidez por el agua subsuperficial no produzca daños en el pavimento.

El constructor debe realizar la caracterización de la cobertura vegetal existente en el área de influencia directa del proyecto, registrar los árboles aislados que se encuentran sobre el corredor vial y que no deben ser afectados por las actividades constructivas, con el fin de hacer seguimiento a su permanencia y controlar que no sean afectados por el desarrollo de las obras.

Si el proyecto lo requiere, el constructor debe gestionar el levantamiento de vedas, la sustracción de reserva forestal o la tala de árboles; además, debe levantar la información y realizar los respectivos estudios acorde con los requerimientos y la normativa que rige la materia. Acto seguido, debe remitir el informe o documento a la autoridad ambiental con el fin de obtener a su nombre el correspondiente permiso y cumplir las disposiciones que origina el acto administrativo. En las labores de tala y poda se debe prestar especial atención a la presencia de nidos para evitar que estos sean

afectados, y si fuera necesario, aplicar el plan de manejo de avifauna.

Además, el constructor debe disponer el material de residuo vegetal en concordancia con las disposiciones establecidas en los actos administrativos generados por la autoridad ambiental competente.

Para la obtención de productos forestales que sean utilizados en actividades de obra o de compensación forestal, el constructor debe exigir a los proveedores o propietarios del material, el salvoconducto que ampara la movilización y/o adquisición de los productos, acreditando su procedencia legal; en su defecto, contar con el acto administrativo por el cual se otorgó el aprovechamiento forestal de dónde se obtiene el material y relacionar los salvoconductos que amparan la movilización de los productos.

El constructor se debe abstener de adquirir productos forestales que no están amparados con el respectivo salvoconducto o autorización de la autoridad ambiental.

En el caso de realizar compensaciones ambientales por uso de recursos naturales y/o permisos otorgados en el proyecto, se debe proponer la estrategia de compensación que contribuye a la conectividad ecológica, según las condiciones del proyecto y la zona en la que se sugiera revisar nuevas alternativas de compensación más sostenibles como bancos de hábitat, BanCO2, compra de predios estratégicos ambientalmente, entre otros, en el marco de procesos de participación social, teniendo en cuenta los criterios que propone INVÍAS en su Política de Sostenibilidad y de conformidad con la normativa ambiental vigente.

También, dentro de las medidas de sostenibilidad debe evaluar la creación de redes de ecosistemas con corredores verdes, arborización, y espacios verdes, asociados al proyecto; además, debe incorporar las iniciativas institucionales de conservación, restauración y reforestación en el área de influencia del proyecto, resaltando las zonas de importancia ambiental.

El constructor debe, asimismo, evaluar el material vegetal generado en los viveros multifuncionales, ya que puede ser empleado para el enriquecimiento de coberturas de áreas, tales como corredores de conectividad ecológica, rondas hídricas, estructuras atractivas, disuasivas y de apantallamiento asociadas a pasos de fauna, con oferta alimentaria y de hábitat para la fauna, de paisajismo, amenazadas por procesos de inestabilidad geológica o erosión, o con presencia de especies vedadas, endémicas o en estado de amenaza o vulnerabilidad.

106.5.7 Aprovechamiento y manejo integral de materiales de construcción

El constructor debe cumplir a cabalidad con las normas legales y reglamentarias vigentes respecto del suministro y aprovechamiento de materiales de construcción.

Debe, entonces, optimizar el uso de los materiales de construcción adquiridos, así como de los desechos y sobrantes. Debe considerar el reciclaje de materiales cuyo porcentaje (%) debe ser informado a las autoridades ambientales, que contribuya con la economía circular, promueva el uso eficiente de recursos y disminuya la presión sobre los puntos de suministro y disposición de materiales.

El constructor, con el fin de generar menores impactos negativos, debe identificar y utilizar las fuentes de materiales de construcción ya consolidadas, que cuenta con las autorizaciones vigentes de la Agencia Nacional Minera (ANM) y las autoridades ambientales competentes.

De otra parte y en caso de no ser posible la compra de los materiales de construcción, el constructor debe, previo al inicio del proyecto, gestionar (a su nombre y a cargo del porcentaje (%) de administración del costo directo del contrato), la autorización temporal para extracción de materiales ante las autoridades competentes, que incluyan las fases de exploración, explotación, cierre, restauración y abandono, cumpliendo las disposiciones vigentes sobre la conservación del medio ambiente y los recursos naturales. En este proceso, debe acoger las determinaciones que en la licencia ambiental se explicitan para el manejo de materiales. El constructor debe aislar y proteger áreas húmedas y de ronda hídrica de las actividades extractivas, debe implementar buenas prácticas ambientales y tecnologías limpias para reducir los impactos negativos a que se dieran lugar en el proceso de extracción y abandono.

El constructor, respecto del manejo y gestión integral de materiales (pétreos, concreto, asfalto, prefabricados), debe tener presente, entre otras consideraciones:

- Los materiales no deben almacenarse en zonas cercanas a los frentes de obra para evitar que obstaculicen los trabajos.
- Los materiales deben estar cubiertos y protegidos para evitar la emisión de material particulado a la atmósfera, cuerpos de agua, sistemas de drenaje y vegetación.
- Fomentar la reutilización de materiales provenientes de excavaciones, residuos de otras obras y demoliciones, debidamente autorizados por autoridad ambiental competente y siempre que atiendan a las especificaciones técnicas respectivas.
- Separar, confinar y cubrir de forma independiente el material orgánico y el material estéril.
- Reutilizar el suelo orgánico para la reconformación de áreas intervenidas temporalmente y para áreas destinadas a manejo paisajístico.
- Realizar el acopio temporal de materiales, de tal forma que se evite el aporte de sedimentos a las cunetas y drenajes del proyecto.
- Utilizar materiales e insumos desprovistos de sustancias peligrosas, o gestionar adecuadamente su uso y disposición final.
- Evitar la utilización de materiales o insumos sobre los cuales no se tenga certeza del impacto que generan en el ambiente.
- En caso de derrame de mezcla se debe limpiar el sitio, recogiendo y depositando el residuo en el espacio autorizado por la interventoría.
- Está prohibido el lavado de mezcladoras de concreto en los frentes de obra o en cuerpos de agua.
- Tener los cuidados y protocolos respectivos para el correcto manejo y disposición de los residuos de asfalto.
- Respecto de los prefabricados, almacenarse ordenadamente en un sitio con demarcación, señalización y verificando la estabilidad de los acopios.

El constructor siempre debe tener en cuenta otros referentes de manejo sostenible de materiales, pues es el único responsable por el uso indebido de los materiales de construcción para el desarrollo de la obra, so pena de sanciones al respecto.

106.5.8 Manejo y disposición final de residuos de construcción y demolición, sobrantes de obra y lodos

En este sentido, el constructor debe cumplir con las normas legales vigentes para el manejo, transporte y disposición final de residuos y material sobrante de las actividades de construcción de carreteras. Debe tener presente la Resolución 541 de 1994 del Ministerio del Medio Ambiente, y la Resolución 472 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (o aquellas que las sustituyan, complementen o modifiquen), en las cuales se establecen las disposiciones para realizar la gestión integral de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD).

De igual manera debe tener presente la guía para el desarrollo del plan de gestión de residuos para los proyectos de construcción, desmonte y demolición (CDD) - END 098, donde se incluyen directrices para los residuos generados in situ durante los proyectos de construcción, desmonte y demolición.

El constructor, en primera instancia, debe prevenir y reducir la generación de estos residuos, además de promover su aprovechamiento y reutilización. El constructor puede, de acuerdo con los requerimientos de obra, especificaciones técnicas y permisos de la autoridad competente, reutilizar los materiales sobrantes en obra, ya sea como material de lleno, conformación de antiguas canteras o nivelación de terrenos.

Debe, de igual forma, identificar y conocer los sitios de disposición final, lo mismo que los gestores de residuos de construcción y demolición RCD, quienes deben contar los permisos vigentes de las autoridades competentes.

Si una vez ejecutada la gestión integral de los RCD sigue existiendo material para disposición, el constructor debe seleccionar técnicamente el sitio de disposición final autorizado por la autoridad ambiental competente más cercano al frente de obra; adicionalmente, debe cumplir con las condiciones para su recolección y transporte.

El constructor puede ubicar una Zona de Disposición de Material Sobrante de Obra Estéril (ZODME), para disponer el volumen sobrante de residuos resultantes de la actividad de excavación. Para tal fin, debe contar con un diseño técnico-ambiental aprobado por la interventoría, con la autorización de la autoridad ambiental competente y que tenga la certificación de la dependencia de planeación municipal, sobre compatibilidad de uso según el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) o Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del municipio donde se ubica la ZODME.

De la misma manera, debe prever técnicamente para el caso del manejo de lodos, entre otros aspectos, una piscina o tanque para propiciar su decantación. Una vez secos, su manejo y disposición final se debe realizar de acuerdo con los requerimientos establecidos y en los sitios autorizados para tal fin.

Indiscutiblemente, el constructor es el único responsable por el manejo y la disposición indebida de los residuos de construcción y demolición, sobrantes de obra y lodos, so pena de sanciones al respecto.

106.5.9 Manejo y disposición final de residuos sólidos convencionales y especiales

El constructor debe incorporar iniciativas que reduzcan la generación de residuos sólidos y peligrosos; no debe usar materiales e insumos que afectan la salud humana y que aún no estén reglamentados por la normativa nacional vigente. En general, las acciones que ejecute el constructor deben estar encaminadas a implementar alternativas más amigables con el entorno, el uso de buenas prácticas y tecnologías que reduzcan la contaminación atmosférica, del suelo e hídrica.

Debe incorporar iniciativas de manejo y disposición de residuos orgánicos en obra, propender por la no utilización de plásticos y, en las reuniones con grupos de interés, usar materiales amigables con el medio ambiente.

El constructor debe identificar los tipos de residuos que se generan durante la ejecución del proyecto; así mismo debe presentar un plan de medidas específicas para su manejo. Las actividades se ejecutan dando cumplimiento a la Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos enmarcado en la política del CONPES 3874-2016 (o aquellas que la sustituyan o modifiquen).

En ese sentido, debe implementar estrategias con el fin de reducir el peso, volumen y contaminación de los residuos sólidos; fomentando la reutilización y el reciclaje. En el manejo de estos, debe instalar puntos de almacenamiento en obra (puntos ecológicos), con los cuales se debe promover la separación en la fuente clasificando los residuos sólidos aprovechables. El constructor debe consultar al municipio sobre la existencia de organizaciones de recicladores habilitadas para la entrega de residuos aprovechables en concordancia con lo establecido en el Decreto 596 de 2016 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio o aquel que lo sustituya o modifique.

El constructor debe tener especial manejo con los residuos peligrosos o contaminados; debe disponer los residuos sólidos convencionales y especiales en los sitios autorizados y de acuerdo con los requerimientos establecidos, debe llevar un control de las cantidades y tipos de residuos generados en el frente de obra y entregarlos para su disposición final, a las empresas autorizadas para tal fin. Desde luego, de acuerdo con la normativa vigente en la materia.

106.5.10 Instalaciones temporales para campamento, acopio y patios

El constructor debe cumplir las normas y requerimientos en materia ambiental y territorial en la instalación, funcionamiento y desmantelamiento de campamentos de obra, sitios temporales de acopio de material, residuos de excavación y de obra, caminos de acceso, patios y talleres de máquinas, equipos y vehículos. De igual manera, debe prevenir, minimizar y controlar los impactos ambientales y sociales generados en dicho proceso.

El constructor debe tener presente en la ubicación, diseño y construcción de estas obras temporales y complementarias, prácticas sostenibles, actividades de adaptación al

cambio climático y aspectos de gestión del riesgo de desastres.

Además, debe tener presente en los diseños de los campamentos e instalaciones, los criterios de infraestructura verde y ecodiseños, buscando la integración de aspectos ambientales para la futura construcción e identificar el uso de materiales alternativos y reciclados, siendo estos más amigables con el medio ambiente. El diseño debe ir acorde con el paisaje de la zona, a fin de preservar su sostenibilidad.

El constructor debe realizar un análisis de viabilidad de los espacios actualmente en uso y que han tenido una transformación antropogénica. La finalidad debe ser priorizarlos para ser utilizados en el desarrollo del proyecto, evitando así, el uso de nuevas áreas y materiales, o de áreas de importancia ecológica y de ecosistemas estratégicos.

Estos sitios, como sus obras complementarias deben estar por fuera de zonas inestables, ecosistemas, áreas protegidas, corredores biológicos, rondas hídricas, cuerpos y drenajes de agua, lugares con nivel freático alto, accesos a predios o en infraestructura pública y privada, entre otros. Se ubican cerca de la zona donde se ejecuta el proyecto evitando al máximo los cortes de terreno, llenos y remoción de material vegetal, previendo la disponibilidad de servicios públicos, sin realizar vertimientos líquidos y disposición de residuos sólidos en el entorno.

El constructor debe evaluar e implementar buenas prácticas ambientales, tecnologías limpias, energías alternativas, materiales alternativos y/o reciclados (sostenibles), para la construcción y funcionamiento de las obras complementarias y temporales; así mismo, debe construir un sistema de recolección de desechos sólidos y drenajes adecuados para el manejo y/o recirculación de aguas lluvias.

Debe disponer para el funcionamiento de estos sitios, entre otros aspectos, con: programas de aseo, señalización, equipos de control de incendios, elementos de primeros auxilios, servicios sanitarios, elementos de bioseguridad, manejo de residuos líquidos domésticos, carteleras informativas y cerramientos.

El patio de mantenimiento de los equipos y maquinaria necesarios para la ejecución de las labores del constructor debe contar con sistemas apropiados de manejo y disposición de grasas y aceites. El constructor debe implementar un plan de acción en caso de ocurrencia de derrames y escurrimientos con el fin de que no se presente afectación a los cuerpos receptores. Por lo tanto, todos los residuos de aceites y lubricantes se deben retener en recipientes herméticos y ubicar en sitios adecuados de almacenamiento, con miras a su posterior manejo y disposición final, acorde con la normativa vigente en la materia.

El constructor, con respecto al abastecimiento de combustible, mantenimiento de maquinaria y lavado de vehículos debe ejecutar estas actividades en los sitios autorizados previamente, y con el cumplimiento de las respectivas medidas para prevenir accidentes y generación de residuos.

En el caso de traslado y movimiento de la maquinaria, debe cumplir con los procedimientos, requerimientos y permisos en el marco de las disposiciones normativas nacionales.

También debe estar obligado a realizar acciones para recuperar la morfología de las áreas intervenidas, de acuerdo con sus características propias.

El constructor debe realizar, asimismo, el desmantelamiento, recuperación y revegetalización de las áreas en las cuales fueron instaladas las obras complementarias, redes de servicios y áreas temporales, para dejarlas igual o en mejores condiciones a como las encontró; además, debe presentar paz y salvo de los dueños de los predios. El material debe ser reciclado y si no es posible, disponerlo de acuerdo con la normativa vigente en la materia.

106.5.11 Instalaciones y operación para triturados, concretos y asfaltos

El constructor está obligado a prevenir, minimizar y controlar los impactos generados por la instalación, funcionamiento y desmantelamiento de las plantas de trituración, asfalto y concreto.

Debe evaluar la viabilidad de implementar nuevas prácticas ambientales y tecnologías de cero (0) emisiones y ruido para reducir los impactos que pueden generar la instalación, el funcionamiento y el desmantelamiento de las plantas de trituración, asfalto y concreto. Resulta pertinente, entre tantos aspectos, evaluar el suministro de materiales por las empresas constituidas para no implementar la instalación y operación de plantas.

Si el constructor establece la necesidad de instalar estas plantas para la construcción de las obras, debe, previo al inicio del proyecto, gestionar (a su nombre y a cargo del porcentaje (%) de administración del costo directo del contrato) ante la autoridad ambiental los permisos de localización, emisiones atmosféricas, control de ruidos, concesión de aguas, vertimiento de aguas, disposición de sólidos o manejo de vegetación (o aquellos que se complementen o requieran).

La ubicación de las plantas debe responder a criterios técnicos, ambientales y sociales idóneos. Por ningún motivo, se debe permitir que las plantas se instalen en sitios ecológicamente sensibles, en áreas de preservación ambiental, en zonas con especies bióticas protegidas o en peligro de extinción o cerca a poblaciones. La ubicación y funcionamiento de estas plantas deben cumplir con las disposiciones y requerimientos normativos emitidos por las autoridades competentes.

106.5.12 Gestión del riesgo de desastres y variabilidad climática

El constructor con su equipo de trabajo debe conocer y evaluar el riesgo de desastres y la variabilidad climática donde se desarrolla el proyecto; además debe establecer estrategias y acciones que conduzcan a reducir las condiciones de riesgo actual y futuro.

Para este fin, debe tener presente lo contenido en la Ley 1523 de 2012 en la que se reglamenta la Política Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres, igualmente el Decreto 2157 de 2017 del Departamento Administrativo de la Presidencia de la República que establece los planes de Gestión de Riesgo de Desastres en entidades públicas y privadas, y la Resolución 1978 de 2020 por la cual se adopta el Plan de Gestión de Riesgo de Desastres de INVÍAS (o aquellas que lo sustituyan o modifiquen).

El constructor, en zonas de alto riesgo debe realizar talleres de diagnóstico con comunidades del área de influencia en las que se identifiquen entre otros aspectos: conflictividad social, seguridad vial, eventos críticos ocurridos de origen social o socio natural, localización de actividades humanas detonantes de fenómenos de movimiento en masa y zonas de tránsito recurrente de poblaciones humanas. Este ejercicio de identificación se debe realizar en el corredor geotécnico y debe acompañarse de la descripción de los eventos en términos de intensidad, duración, localización, frecuencia, desastres causados, poblaciones afectadas, efectos en el área de estudio, redes formales e informales de apoyo y las demás que se estimen pertinentes para profundizar en los análisis de riesgos e impactos del proyecto.

El constructor debe evaluar también, la incorporación de los conceptos de infraestructura resiliente proponiendo nuevas tecnologías relacionadas con materiales, estabilización de taludes, geotecnia y sistemas de monitoreo del riesgo, que permitan una mayor adaptabilidad de la infraestructura de transporte al cambio climático, enfatizando en el análisis de los periodos de retorno.

106.6 Componente social

El constructor está obligado a implementar los ordenamientos constitucionales, a cumplir todos los requerimientos y disposiciones de carácter social, patrimonial y cultural vigentes, y demás medidas de gestión social conforme con las características sociales, culturales y económicas del área de influencia del medio socioeconómico del proyecto, y de acuerdo con la especificidad de los proyectos de construcción de carreteras, sean o no objeto de licencia ambiental

Por tal motivo, en la ejecución de los proyectos de construcción de carreteras, es responsable de identificar y caracterizar cuáles son las partes interesadas alrededor del proyecto. Debe, además:

- Vincular a los diferentes actores locales del área de influencia del proyecto.
- Establecer relaciones interinstitucionales.
- Seguir buenas prácticas de comunicación.
- Definir programas y proyectos sociales que apuntan a óptimas relaciones con la comunidad.
- Informar y divulgar los aspectos relacionados con el proyecto.
- Atender a la comunidad.
- Incentivar la participación comunitaria eficiente, productiva y sostenible.
- Evitar conflictos con las partes interesadas por efectos del proyecto.

Para conocer, acatar e implementar la normativa social de carácter constitucional, legal o de desarrollo jurisprudencial se deben desarrollar actividades sociales comunes a todos los proyectos, que responden a mandatos constitucionales y legales y cuyo reconocimiento se da a través de la administración general del contrato. Su implementación es de obligatorio cumplimiento para el constructor, independientemente de la cuantía, objeto o plazo del contrato. A continuación, se establecen dichas actividades:

- Puesta en marcha de un protocolo para el Servicio de Atención al Ciudadano.
- Socialización a la comunidad al inicio, avance y cierre de los estudios y/u obras a realizar.

- Respuesta oportuna a las inquietudes de las Veedurías Ciudadanas creadas.
- Priorizar, registrar y divulgar el recurso humano local vinculado a los proyectos.
- Realizar el levantamiento de Actas de vecindad de inicio, seguimiento y cierre, siempre que estén involucrados predios cercanos a las obras a ejecutar.

106.6.1 Atención, información y divulgación a la comunidad

El constructor debe proponer e implementar un protocolo para el Servicio de Atención al Ciudadano de acuerdo con el alcance, cuantía, objeto y plazo del contrato. De igual manera, está obligado a establecer mecanismos de acceso y divulgación de la información que facilita el enlace entre los agentes sociales interesados, el contratista, la interventoría e INVÍAS, con el fin de atender oportunamente cualquier manifestación ciudadana, con relación al proyecto.

Adicionalmente, el constructor debe socializar las actividades con las partes interesadas, garantizando la amplia y oportuna divulgación de la información técnica, jurídica, económica, social, ambiental y predial relacionada con el proyecto, a través de reuniones de socialización con la comunidad.

Todo lo anterior acorde con la normativa aplicable a los procesos de participación social e información pública como lo son la Ley 1712 de 2014, la Ley 1755 de 2015 y la Ley 1757 de 2015 (y los que complementen, sustituyan o modifiquen).

106.6.2 Comité de participación comunitaria - Veeduría ciudadana

En el marco del mecanismo democrático de representación que le permite a los ciudadanos y a las diferentes organizaciones comunitarias ejercer vigilancia a contratos de obra pública ejecutados con recursos públicos, el constructor debe habilitar los canales de comunicación, estrategias de apropiación del proyecto y conformación de figuras de participación con los diferentes agentes interesados, en lo relacionado con la ejecución del proyecto. Todo esto en cumplimiento de los principios constitucionales de participación ciudadana, deber y control social efectivo en la función del Estado; además acorde con la Ley 850 de 2003 y el capítulo II de la Ley 1757 de 2015 (y los que complementen, sustituyan o modifiquen), relacionados con la participación de las veedurías en el control fiscal y la entrega de informes para auditoría ciudadana.

106.6.3 Actas de vecindad y de compromiso - Derecho de vía

El constructor debe identificar los predios y redes de servicios públicos cercanos a las obras a ejecutar; luego, registrar el estado físico de infraestructura de predios, áreas de uso y ocupación temporal e infraestructura de servicios públicos, con el fin de prevenir afectaciones sobre estos.

El constructor debe realizar el cronograma para el levantamiento de actas de vecindad de inicio y cierre, actas de compromiso y esquemas de localización de las redes de servicios públicos. Todo esto en consideración al cumplimiento del Código Civil colombiano para determinar la responsabilidad civil que debe asumir el constructor, por los predios, las áreas

de uso y ocupación que pueden ser afectadas por las obras.

El constructor debe identificar, caracterizar, sensibilizar, brindar asesoría y realizar una coordinación interinstitucional para adelantar el traslado de las actividades económicas informales, la recuperación y mantenimiento del derecho de vía.

106.6.4 Proyectos sociales con participación comunitaria

El constructor está obligado a promover proyectos sociales sostenibles en el marco de la ejecución de contratos, con el fin de mitigar los impactos generados por los proyectos de Infraestructura de transporte a cargo de INVÍAS. Para ello, el constructor debe acoger la planeación y ejecución de: Obras con Participación Comunitaria, Proyectos Productivos u otra iniciativa de proyecto social que intrínsecamente promueva la participación comunitaria. Todo proyecto debe ser ampliamente justificado desde todas las dimensiones (técnica, jurídica, social, ambiental, predial etc.) y su aprobación depende de la interventoría. Los proyectos deben incorporar buenas prácticas ambientales, sociales y económicas con enfoque de ciclo de vida.

106.6.5 Protección al patrimonio arqueológico, histórico y cultural – Consulta previa

El constructor se compromete a proteger el Patrimonio de la Nación en el área de influencia del proyecto a su cargo. Debe consultar con las entidades a nivel central y territorial todo trámite necesario para la conservación de dicho patrimonio (bienes de interés cultural, arqueológico, paleontológico, entre otros), de acuerdo a la normativa vigente.

El constructor debe solicitar pronunciamiento a la Dirección Autoridad Nacional de Consulta Previa de la Determinación de Procedencia y Oportunidad de Consulta Previa para Proyectos, Obras o Actividades, en el área de influencia, de acuerdo con lo establecido en la normativa vigente, aplicable y conforme al alcance del proyecto. Por tal razón debe certificar concepto emitido por la entidad competente y en el caso de aplicabilidad, coordinar y ejecutar los procesos de Consulta Previa, garantizando el cumplimiento de todos los acuerdos suscritos con las comunidades. Todo este proceso debe ser objeto de verificación por parte de INVIAS.

El constructor debe cumplir la normativa vigente en materia de protección al Patrimonio Arqueológico de la Nación; esto incluye la ejecución de un protocolo de manejo de hallazgos fortuitos de patrimonio arqueológico y/o del Programa de Arqueología Preventiva, cuando sea necesario.

Adicionalmente, el constructor debe cumplir la normativa vigente en materia de protección al patrimonio geológico y paleontológico, regulado por el Servicio Geológico Colombiano.

106.6.6 Gestión socio predial

Si el proyecto requiere de adquisición predial, el constructor debe identificar, diagnosticar e implementar la reglamentación vigente de la entidad, para el reconocimiento de factores de compensación social de aquellas unidades sociales vulnerables cuyos predios deban requerirse para el desarrollo de las obras de

infraestructura adelantadas por INVÍAS, buscando siempre mantener o mejorar las condiciones de vida de dichas unidades sociales.

106.6.7 Inclusión social

El constructor debe reconocer que existen grupos poblacionales que, por sus condiciones y características (etnia, edad, sexo, identidad de género, discapacidad o personas reconocidas como víctimas, entre otros), son más vulnerables y requieren un abordaje ajustado a sus necesidades y particularidades, para disminuir situaciones de inequidad.

En los planes de gestión socio ambiental, el constructor debe verificar la incorporación del enfoque de género y diferencial en la evaluación y manejo de impactos del proyecto, en el registro de datos y el análisis de información, en el diseño de piezas de divulgación y en los procesos de sensibilización y formación a comunidades, entre otros aspectos.

En la formulación de la línea base y en el análisis de impactos, el constructor debe identificar las particularidades, brechas y patrones de discriminación de las poblaciones según condiciones como: sexo, género, ciclo de vida, discapacidad, etnia, entre otros.

En la gestión del proyecto debe registrar datos e indicadores (de gestión e impacto) asociados al desarrollo del componente de género y equidad poblacional del proyecto.

El constructor debe llevar un registro de perfil y asignación de cargos por sexo, funciones y remuneración, discriminando clase o tipo y forma contractual. Adicional debe favorecer el aumento del porcentaje (%) de vinculación de mujeres diversas en trabajos convencionales y no convencionales (o tradicionalmente masculinos) y de manera especial en áreas de toma de decisión. Debe implementar un código de conducta de cero (0) tolerancias con prácticas discriminatorias para todos los segmentos poblacionales y violencias basadas en género.

106.7 Manejo de información, seguimiento y reconocimiento de las actividades

El constructor está obligado en la etapa de planeación del proyecto, y previo a la ejecución de obras, a realizar para el área de influencia las consultas respectivas en los sistemas de información y documentación social y ambiental, con el fin de identificar:

- Áreas de Especial Interés Ambiental (AEIA).
- Corredores ecológicos existentes en el área de influencia del proyecto.
- Áreas de distribución de especies de fauna endémica, migratoria y/o en condición de amenaza o vulnerabilidad.
- Áreas con reglamentación especial, y determinantes ambientales, definida en los instrumentos de ordenamiento y planificación del territorio.
- Áreas degradadas en procesos de recuperación.
- Áreas en conflicto por uso del suelo.
- Áreas susceptibles a eventos amenazantes de origen hidrometeorológico y geológico como inundaciones, movimientos en masa, avenidas torrenciales, sismos, erupciones volcánicas, tsunamis, entre otras, en los ámbitos nacional, regional y local.
- Áreas destinadas a la producción económica agropecuaria, forestal, pesquera, acuícola, minera, entre otras.

- Áreas cuyas características sociales requieren de manejo especial, pasos urbanos, territorios colectivos, zonas o puntos de captación y/o conducción de servicios públicos domiciliarios y comunitarios, bienes o manifestaciones de patrimonio cultural de la Nación, Zonas de Interés de Desarrollo Rural, Económico y Social (ZIDRES), Espacios Territoriales de Capacitación y Reincorporación (ETCR), entre otros.
- Zonas de importancia o con declaratoria de interés social, de importancia histórica, cultural, antropológica, arqueológica y/o paleontológica.

Es condición indispensable consultar y realizar los reportes a que haya lugar en el Registro Único de Ecosistemas y Áreas Ambientales (REAA), el cual identifica y prioriza ecosistemas y áreas ambientales del territorio nacional, con excepción de las áreas protegidas registradas en el Registro Único Nacional de Áreas Protegidas (RUNAP), en las que se pueden implementar Pagos por Servicios Ambientales (PSA) y otros incentivos y/o instrumentos orientados a la conservación.

El constructor debe cumplir, en el caso de requerirse manejo de información geográfica y cartográfica, tanto en proyectos sujetos o no a licencia ambiental, con los procesos de captura, estructuración y manejo de la información geográfica de acuerdo con las políticas, lineamentos y estándares oficiales vigentes, o los que se adopten para tales fines por las instancias competentes.

El consultor debe identificar riesgos e impactos sociales significativos de acuerdo con la documentación proveniente de fuentes primarias y/o secundarias de consulta abierta, sistemas de información geográfica, portales o bases de datos de instituciones públicas; así como de los datos incluidos en la línea base en proyectos sujetos o no a licencia ambiental y demás documentos o fuentes de información contractual.

El constructor debe evidenciar el cumplimiento de los programas y actividades ambientales, sociales y de sostenibilidad planteados a desarrollar; de igual manera, el seguimiento y monitoreo de los mismos.

En todo caso, debe realizar los respectivos informes de avance, seguimiento y balance final de obra en lo que respecta a lo ambiental, social y de sostenibilidad, acorde con los lineamientos establecidos según el tipo de proyecto sujeto o no a licencia ambiental.

Todos los informes de avance presentados por el constructor, deben generar concepto y aprobación por parte de la interventoría, de acuerdo con lo señalado en el Manual de Interventoría de Obra Pública vigente y normas aplicables.

El constructor debe tener presente que es función dar cumplimiento a la normativa vigente y ajustarse al objeto contractual; por lo tanto, debe ser conocedor que el reconocimiento de las actividades ambientales, sociales y de sostenibilidad se da en tres (3) aspec-tos: 1) El porcentaje (%) de administración del costo directo de obra, 2) La provisión ambien-tal, social y de sostenibilidad establecida en el contrato de obra, y 3) Mediante la revisión y análisis específico de ítem no previsto de obra.

Debe tener en cuenta, de otro lado, que la provisión es el recurso destinado por la entidad en el presupuesto oficial del contrato,

con el fin de respaldar el reconocimiento o pago de algunas actividades cuyos costos no pueden ser determinados previamente. En ningún caso se acepta admitir pagos que están incluidos en las especificaciones generales de construcción o en el AIU del contrato. En el caso del reconocimiento de alguna actividad no prevista, debe realizarse la solicitud y evaluación según los procedimientos establecidos por INVÍAS, entre estos el Manual de Interventoría de Obra Pública.

En otros términos, el constructor debe tener como referente aquellas actividades que están contenidas en las especificaciones y porcentaje (%) de administración, de acuerdo con la Tabla 106 – 1. El constructor puede profundizar respecto del reconocimiento de las actividades, en los apéndices social, ambiental y sostenibilidad para la constitución de los contratos de obra pública, al igual que en el Manual de Interventoría de Obra Pública.

Tabla 106 – 1 Relación del Reconocimiento de las Actividades Ambientales, Sociales y Sostenibilidad

Componente Ambiental		
Proyectos – Actividades	**Artículo EG**	**Observación**
Grupo de gestión social, ambiental y sostenibilidad.	Administración.	Los profesionales del componente ambiental, social y de sostenibilidad deben desarrollar las actividades establecidas en sus planes de gestión, registrando los informes de su gestión cuando los requiera INVÍAS. Todas las actividades de gestión y trámite son reconocidas por el rubro destinado a la administración del contrato. El transporte del personal ambiental, social y de sostenibilidad debe ser garantizado por el constructor, y debe ser reconocido por la administración del contrato.
Fomento de la sostenibilidad (concienciación, fortalecimiento, fomento de valores, capacitación y educación).	Administración. Artículo 106.3.	Los profesionales vinculados al proyecto se deben encargar de definir, ejecutar y evaluar las actividades que responden al fomento de la sostenibilidad.
Cumplimiento requerimientos legales.	Administración. Artículo 106.2. Artículo 103.4.	Es función del constructor dar cumplimiento a la normativa vigente y cumplir con el objeto contractual; por lo tanto, es responsable de la gestión para la obtención de permisos, licencias y autorizaciones para el uso de recursos naturales (incluyendo los estudios, ensayos, monitoreo y demás necesarios para su obtención), los pagos de seguimiento y evaluación de permisos y autorizaciones por parte de la autoridad ambiental competente, como todos los monitoreos ambientales. Los monitoreos derivados de los permisos de ocupación de cauce, al igual que las compensaciones ambientales derivadas de los permisos de aprovechamiento forestal, sustracción de reserva y levantamiento de veda, deben ser analizados por la interventoría para su reconocimiento mediante la provisión y siguiendo los procedimientos establecidos por INVÍAS.

Componente Ambiental		
Proyectos – Actividades	**Artículo EG**	**Observación**
Uso y manejo de agua.	Administración. Artículo 103.6. Artículo 105.15, 17. Artículo 106.5.	En las diferentes actividades de obra se tiene previsto el uso de agua. En este aspecto también se dispone de agua para los servicios sanitarios, además del manejo y control del agua superficial. Todas las actividades relacionadas con el manejo de residuos líquidos se encuentran en el porcentaje (%) de administración del contrato. Los monitoreos derivados de los permisos de ocupación de cauce, deben ser analizados por la interventoría para su reconocimiento mediante la provisión y siguiendo los procedimientos establecidos por INVÍAS.
Calidad del aire, control del ruido y vibraciones.	Administración. Artículo 105.1, 4, 5. Artículo 106.5.	El constructor debe prever vehículos, maquinaria, equipos y procesos constructivos donde se cumpla con la normativa respecto del control de emisiones y ruido. Debe implementar medidas para mantener las emisiones y ruidos dentro de los límites de frecuencia e intensidad permitidos e implementar sistemas de control del material particulado.
Protección de ecosistemas, biodiversidad y conectividad ecológica.	Artículo 106.5.	Es obligación del constructor proteger los ecosistemas sensibles (terrestres, acuáticos, costeros o insulares) y áreas definidas por la ley como de importancia ambiental.
Protección de fauna.	Artículo 106.5.	En este aspecto el constructor debe cumplir la normativa y se obliga, durante el desarrollo de obras, a evitar perturbar el hábitat natural de la fauna, generar su desplazamiento y a proteger la fauna y hábitat.
Protección de flora y manejo de vegetación.	Artículo 106.5. Artículo 105.13. Artículo 200. Artículo 203. Artículo 802.	En las especificaciones relacionadas, se deben contemplar las medidas a realizar respecto de la vegetación nativa, el control de árboles aislados, la recuperación de la cubierta vegetal, entre otras. Las compensaciones ambientales derivadas de los permisos de aprovechamiento forestal, deben ser analizadas por la interventoría para su reconocimiento mediante la provisión y siguiendo los procedimientos establecidos por INVÍAS.
Aprovechamiento y manejo integral de materiales de construcción.	Administración. Artículo 105.13, 15, 17. Articulo 106.5.	El constructor debe proveer y manejar los diferentes materiales para desarrollar el proyecto de acuerdo con las especificaciones y objeto contractual; igualmente, optimizar el uso de los materiales de construcción adquiridos, así como de los desechos y sobrantes.
Manejo y disposición final de residuos de construcción y demolición, sobrantes de obra y lodos.	Administración. Artículo 105.15, 17. Articulo 106.5.	El constructor está en la obligación de cumplir con las normas legales vigentes para el manejo, transporte y disposición final de residuos y material sobrante de las actividades ejecutadas para dar cumplimiento al objeto contractual en la construcción de carreteras. Debe, en primera instancia, prevenir y reducir la generación de estos residuos, además debe promover su aprovechamiento y reutilización.

Componente Ambiental		
Proyectos – Actividades	**Artículo EG**	**Observación**
Manejo y disposición final de residuos sólidos convencionales y especiales.	Administración. Artículo 105.15, 17. Articulo 106.5.	El constructor acorde con la normativa, debe identificar los tipos de residuos que se generan durante la ejecución del proyecto e implementar estrategias con el fin de reducir el peso, volumen y contaminación de los residuos sólidos. También debe fomentar estrategias de reutilización y el reciclaje. Todas las actividades relacionadas con el manejo de residuos sólidos se encuentran en el porcentaje (%) de administración del contrato.
Instalaciones temporales para campamento, acopio y patios.	Administración. Artículo 105.13, 15, 17. Articulo 106.5.	En este aspecto se contempla la instalación, funcionamiento y desmantelamiento de campamentos de obra, sitios temporales de acopio de material, residuos de excavación y de obra, caminos de acceso, patios y talleres de máquinas, equipos y vehículos. El constructor debe cumplir con las normas y requerimientos vigentes en materia ambiental y territorial, según la autoridad competente. La implementación de campamentos, funcionamiento y manejo al igual que infraestructura temporal, uso de baños móviles puntos SAU y señalización, entre otras, están contempladas en la administración del contrato.
Instalaciones y operación para triturados, concretos y asfaltos.	Administración. Artículo 105.1, 13, 15, 17. Articulo 106.2, 5.	El constructor puede instalar plantas para asegurar proveer los diferentes materiales para desarrollar el proyecto de acuerdo con las especificaciones y objeto contractual. Las compensaciones derivadas y la gestión necesaria para los permisos de emisiones atmosféricas, concesiones de aguas, permisos de vertimientos, licencias ambientales de autorizaciones mineras (actividades industriales), así como los monitoreos isocinéticos, trámites de los permisos de vertimientos, concesión de aguas y monitoreo en fuentes hídricas derivados de estos permisos, obligaciones con autoridades ambientales que se requieran para el funcionamiento de las instalaciones temporales y para el suministro de los productos contratados como ítem de obra, deben estar incluidas en las especificaciones generales de construcción en las que no solo se determinan las características técnicas para los materiales sino que se incluyen los insumos y las actividades del proceso de transformación de material, por lo cual deben estar inmersos dentro de dichos ítem de obra y/o la administración del proyecto.
Gestión del riesgo de desastres y variabilidad climática.	Administración. Artículo 106.5.	Los profesionales vinculados al proyecto por administración deben conocer y evaluar el riesgo de desastres y la variabilidad climática de la zona donde se desarrolla el proyecto de acuerdo con la normativa vigente.

Componente Social		
Proyectos – Actividades	**Artículo EG**	**Observación**
Atención, información y divulgación a la comunidad.	Administración. Artículo 106.2, 6.	El constructor debe proponer e implementar un protocolo para el Servicio de Atención al Ciudadano de acuerdo con el alcance, cuantía, objeto y plazo del contrato. La instalación y operación de este protocolo es reconocida en la administración del contrato. El constructor debe socializar las actividades con las partes interesadas, garantizando la amplia y oportuna divulgación de la información técnica, jurídica, económica, social, ambiental y predial relacionada con el proyecto, a través de reuniones de socialización con la comunidad. La realización de reuniones de inicio, avance y cierre son reconocidas en la administración del contrato. Sin embargo, los costos de la logística e insumos para las reuniones se deben analizar de acuerdo con su disponibilidad en el área de influencia del proyecto. La interventoría debe hacer el análisis para su reconocimiento, mediante la provisión y siguiendo los procedimientos establecidos por INVÍAS. Son reconocidas por la administración, las piezas divulgativas básicas generadas directamente por el contratista, y la implementación del Proyecto de Contratación de Mano de Obra. Para otras piezas divulgativas, los costos deben ser analizados por la interventoría para su reconocimiento, mediante la provisión y siguiendo los procedimientos establecidos por INVÍAS.
Comité de Participación Comunitaria – Veeduría Ciudadana.	Administración. Artículo 106.3, 6.	El constructor desde su personal social vinculado al proyecto debe habilitar los canales de comunicación, estrategias de apropiación del proyecto y conformación de figuras de participación con los diferentes actores involucrados, en lo relacionado con la ejecución del proyecto. La conformación y seguimiento del Comité de Participación Comunitaria y/o Veeduría está contemplada en la administración del contrato.
Actas de vecindad y de compromiso – Derecho de Vía.	Administración. Artículo 103.8, 10. Artículo 106.3, 6.	El constructor debe destinar un equipo integral técnico y social que registra el estado físico de infraestructura de predios, áreas de uso y ocupación temporal e infraestructura de servicios públicos, antes, durante y después del desarrollo de la obra. Estas actividades deben ser reconocidas en la administración del contrato.
Proyectos sociales con participación comunitaria.	Administración. Artículo 106.3, 6.	La gestión, estructuración y trámite para el desarrollo de los proyectos sociales con participación comunitaria se deben reconocer en la administración del contrato. Sin embargo, los costos de ejecución y operación deben ser analizados por la interventoría para su reconocimiento, mediante la provisión y siguiendo los procedimientos establecidos por INVÍAS.

Componente Social		
Proyectos – Actividades	**Artículo EG**	**Observación**
Protección al patrimonio arqueológico, histórico y cultural – Consulta Previa.	Administración. Artículo 105.8. Artículo 106.6.	La gestión para la obtención de certificaciones, autorizaciones, concesiones, licencias y/o permisos de índole social debe ser reconocida en la administración del contrato. Sin embargo, los costos de ejecución y operación de los planes de Arqueología Preventiva y las actividades para el cumplimiento de los acuerdos de Consulta Previa deben ser analizados por la interventoría para su reconocimiento, mediante la provisión y siguiendo los procedimientos establecidos por INVÍAS.
Gestión socio predial.	Administración. Artículo 106.6.	El constructor desde su personal social vinculado al proyecto, debe establecer las medidas sociales que se implementan y ejecutan dentro del proceso de adquisición predial, con el objetivo de mitigar y compensar los posibles impactos socioeconómicos que se generan a las unidades sociales afectadas directamente por la ejecución del proyecto. El constructor debe garantizar el desarrollo de todas las gestiones necesarias para determinar el reconocimiento de factores de compensación social y desarrollar adecuadamente la gestión socio predial del proyecto. Sin embargo, el reconocimiento del valor de los factores de compensación social, debe ser analizado por la interventoría para su reconocimiento, mediante la provisión y siguiendo los procedimientos establecidos por INVÍAS.
Inclusión social.	Administración. Artículo 106.6.	La inclusión social por tratarse de un enfoque de intervención transversal a la gestión socio ambiental del proyecto debe hacer parte de la administración del contrato. Sin embargo, en caso de requerirse personal experto para módulos de formación, material educativo y de divulgación deben ser analizados por la interventoría para su reconocimiento, mediante la provisión y siguiendo los procedimientos establecidos por INVÍAS.
Componente Sostenibilidad		

Se encuentra incluido dentro del rubro de la administración las actividades correspondientes a la implementación de campamentos, uso de baños móviles, puntos SAU y señalización, entre otras, a través de la implementación de nuevas tecnologías, uso de energías alternativas, empleo de materiales nuevos y/o reciclados, Ecodiseños y establecimiento de Lineamientos de Infraestructura Verde. Deben estar incluidas también la recolección, análisis de información y la participación de grupos de interés, durante la ejecución del contrato.

Se debe incluir dentro de la provisión de sostenibilidad el desarrollo de obras, actividades, insumos y materiales orientados a promover la movilidad sostenible (senderos peatonales, ciclo infraestructura), la conectividad ecológica y social (cartografía, pasos de fauna, pasos peatonales, semáforos) y la promoción de la cultura de sostenibilidad (personal experto para módulos de formación, material educativo y de divulgación, vallas, señalización informativa de fauna), las cuales deben ser analizadas por la interventoría para su reconocimiento en la provisión de sostenibilidad y/o presupuesto de obra del proyecto, siguiendo los procedimientos establecidos por INVÍAS.

Control y aceptación de los trabajos

Artículo 107 – 22

107.1 Control

La inspección de la calidad de los materiales, de la ejecución de las unidades de obra y de las obras terminadas corresponde al interventor, el cual debe estar encargado de verificar que el constructor realice todos los controles descritos en el numeral 103.3 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor, de las presentes especificaciones, y debe ejecutar las mediciones que le exijan los documentos contractuales a la interventoría y las adicionales que estime convenientes, sin perjuicio del avance de los trabajos. El constructor debe tomar todas las disposiciones necesarias para facilitar el control por parte del interventor.

El interventor, a partir de la aprobación del plan de calidad y el Plan de Inspección, Medición y Ensayo (PIME), debe inspeccionar de forma individual o colectiva el cumplimiento de cada uno de los planes y debe revisar los resultados de las pruebas realizadas frente a los criterios de calidad dados en las especificaciones particulares, para impedir que existan no conformidades y evitar al máximo productos no conformes. También debe revisar las acciones correctivas, esto debe incluir los responsables, las tareas tomadas y la efectividad de la acción ejecutada para eliminar la causa de la no conformidad.

Si alguna característica de los materiales y trabajos objeto del control no está de acuerdo con lo especificado o si, a criterio del interventor, puede poner en peligro seres vivos o propiedades, este debe ordenar la modificación de las operaciones correspondientes o su interrupción, hasta que el constructor adopte las medidas correctivas necesarias.

107.2 Aceptación de los trabajos

107.2.1 Solicitud de aprobación por parte del constructor

El constructor debe solicitar al interventor, por escrito, la aprobación de cada parte de la obra. Además, debe acompañar la solicitud de aprobación con un informe que demuestre que esa parte de la obra cumple con todos los controles y los requisitos de calidad exigidos en las especificaciones. El informe debe tener el concepto del ingeniero de calidad del proyecto, cuando aplique, con la lista de verificación de cumplimiento de todos los requisitos; debe estar acompañado de los resultados completos de inspecciones, mediciones y ensayos de laboratorio que alimentan la lista de inspección.

107.2.2 Aprobación por parte del interventor

Los documentos del contrato deben fijar el alcance de las labores de control, inspección, medición y ensayo a cargo del interventor, para

efectos de aceptación de la obra ejecutada y la autorización de su pago.

Este alcance puede estar dentro de los siguientes lineamientos:

Opción 1: ejecución completa a cargo del interventor.

Le corresponde al interventor la realización de todos los ensayos y mediciones con base en los cuales se aprueban (o rechazan) los materiales, mezclas y obra ejecutada.

En este caso, queda a criterio del interventor decidir si los ensayos realizados por el constructor deben ser tenidos en cuenta para efectos de aceptación o rechazo.

Si decide usarlos como complemento a los realizados por el propio interventor, debe dejarlo consignado por escrito, incluyendo como soporte la comparación estadística de las dos (2) series de datos (norma INV E-822) que demuestre que son consistentes; es decir, que representan a una misma población (el mismo material).

Opción 2: ejecución parcial a cargo del interventor.

Le corresponde al interventor la realización de algunos ensayos y mediciones de verificación para la aprobación (o rechazo) de los materiales, mezclas y obra ejecutada. En este caso, también le corresponde vigilar permanentemente la correcta ejecución de los ensayos realizados por el constructor.

Los ensayos realizados por el constructor deben tenerse en cuenta para efectos de aceptación o rechazo, siempre y cuando la comparación estadística de sus resultados con los efectuados por el interventor (norma INV E-822) demuestre que son consistentes; es decir, que representan a una misma población (el mismo material).

Opción 3: el interventor no realiza ensayos de verificación.

Le corresponde al interventor vigilar permanentemente la correcta ejecución de los ensayos realizados por el constructor.

El interventor debe tomar como referencia los resultados de los ensayos llevados a cabo por el constructor, para el recibo provisional de las diferentes obras. Sin embargo, debe realizar directamente u ordenar la ejecución, en un laboratorio reconocido, de todas las pruebas adicionales de verificación que considere necesarias para autorizar el recibo definitivo de los diferentes volúmenes de obra efectuada y debe avalar, con su firma, los resultados de todos los ensayos que le sirvan de soporte para dicha aceptación.

Si los documentos del contrato no dicen otra cosa, se entiende que aplica la opción 1.

107.3 Herramientas estadísticas de análisis de resultados para la aceptación de los trabajos

En este numeral se presentan algunas herramientas estadísticas que se deben usar como parte de los criterios de aceptación y rechazo, en varios de los artículos de las presentes especificaciones generales.

107.3.1 Valores promedio de un conjunto de datos

En varios de los artículos de estas especificaciones, se establecen criterios de aceptación con base en valores promedio de mediciones efectuadas a una muestra de un lote.

El valor promedio, o valor medio de la muestra (V_m), es un estimativo del valor promedio del lote (V_l) con un grado de confiabilidad del cincuenta por ciento (50 %). Para un mayor grado de confiabilidad, el valor promedio del lote debe estar dentro de los límites de un intervalo de confianza que se calcula para una probabilidad dada en porcentaje (p, en %) a partir del valor promedio de la muestra (V_m) o de la desviación estándar de la muestra (s).

107.3.1.1 Promedio o valor medio de la muestra

El promedio, o valor medio de la muestra (V_m), se determina mediante la expresión:

$$V_m = \frac{\sum V_i}{n} \quad \textbf{[107.1]}$$

Siendo:
V_m, valor promedio de la muestra.
v_i, resultado individual.
n, número de resultados (tamaño de la muestra).

107.3.1.2 Desviación estándar de la muestra

La desviación estándar de la muestra (s) se determina mediante la expresión:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (V_i - V_m)^2}{n-1}} \quad \textbf{[107.2]}$$

Siendo:

V_m, valor promedio de la muestra.
v_i, resultado individual.
n, número de resultados (tamaño de la muestra).

107.3.1.3 Promedio estimado del lote con un grado de confiabilidad dado

El intervalo de confianza en el que, con una probabilidad dada en porcentaje (p, en %), se encuentra el valor promedio del parámetro evaluado en el lote, tiene los siguientes límites:

- Límite inferior, $V_l(p)$

$$V_l(p) = V_m - k(p)\ x\ s \quad \textbf{[107.3]}$$

- Límite superior, $V_{l,sup}(p)$:

$$V_{l,sup}(p) = V_m + k(p)\ x\ s \quad \textbf{[107.4]}$$

Siendo:

$V_l(p)$, límite inferior del intervalo de confianza para una probabilidad dada en porcentaje (p, en %).

$V_{l,sup}(p)$, límite superior del intervalo de confianza para una probabilidad dada en porcentaje (p, en %).

p, probabilidad, en porcentaje (%).

V_m, valor promedio de la muestra, que se determina como se indica en el numeral 107.3.1.1.

$k(p)$, factor que establece los límites del intervalo de confianza. Este factor depende del

número de resultados (n) que integran la muestra y de la probabilidad (p); su valor se indica en la Tabla 107 – 1.

s, desviación estándar de la muestra, que se determina como se indica en el numeral 107.3.1.2.

Tabla 107 – 1. Factor que establece los límites del intervalo de confianza (k)

Probabilidad (p) (%)	Número de resultados (n)											
P	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
60	0,489	0,4208	0,3756	0,3424	0,3168	0,2963	0,2792	0,2650	0,2529	0,2421	0,2325	0,2241
70	0,6249	0,5320	0,4719	0,4287	0,3957	0,3694	0,3478	0,3296	0,0253	0,3004	0,2884	0,2778
75	0,7115	0,6011	0,5311	0,4811	0,4540	0,4133	0,3890	0,3681	0,3291	0,3353	0,3218	0,3091
80	0,8189	0,6857	0,6025	0,5442	0,5002	0,4656	0,4373	0,4137	0,3936	0,3761	0,3609	0,3473
85	0,9620	0,7951	0,6936	0,6236	0,5717	0,5307	0,4977	0,4701	0,4469	0,4266	0,4089	0,3932
90	1,1767	0,9534	0,8226	0,7345	0,6698	0,6198	0,5797	0,5465	0,5184	0,4943	0,4733	0,4548
95	1,5912	1,2417	1,0494	0,9248	0,8360	0,7679	0,7154	0,6718	0,6354	0,6043	0,5774	0,5538
99	2,9204	2,0590	1,6461	1,4013	1,2373	1,1185	1,0277	0,9556	0,8966	0,8472	0,8051	0,7686

107.3.2 Porcentaje estimado de valores dentro de los límites de la especificación (PDL)

En varios de los artículos de estas especificaciones, se definen criterios de aceptación con base en el porcentaje de valores de mediciones efectuadas a una muestra de un lote que se encuentran dentro de los límites de la especificación.

El cálculo del porcentaje estimado de valores dentro de los límites de la especificación (PDL), se hace con base en el valor promedio de la muestra (V_m), su desviación estándar (S) y sus índices de calidad inferior (IQl) y superior (IQS).

107.3.2.1 Determinación de los índices de calidad

Para determinar los índices de calidad inferior (IQl) y superior (IQS) se requiere, en primer lugar, calcular el valor promedio de la muestra (V_m) y su desviación estándar (S), empleando las expresiones de los numerales 107.3.1.1 y 107.3.1.2.

Luego, se determinan los índices de calidad superior (IQS) e inferior (IQl), por medio de las expresiones:

$$IQS = \frac{V_{máx} - V_m}{s} \quad [107.5]$$

$$IQl = \frac{V_m - V_{mín}}{s} \quad [107.6]$$

Siendo:

$V_{mín}$, valor mínimo o límite inferior de la especificación. Es igual al valor especificado menos la desviación admisible que se establezca para el parámetro.

$V_{máx}$, valor máximo o límite superior de la especificación. Es igual al valor especificado más la desviación admisible que se establezca para el parámetro.

IQS, índice de calidad superior. Califica la calidad de la producción con base en el cumplimiento del valor máximo o superior establecido como requisito, $V_{máx}$.

IQI, índice de calidad inferior. Califica la calidad de la producción con base en el cumplimiento del valor mínimo o inferior establecido como requisito, $V_{mín}$.

S, desviación estándar de la muestra, que se determina como se indica en el numeral 107.3.1.2.

107.3.2.2 Determinación del PDL

El porcentaje estimado de valores dentro de los límites de la especificación (PDL) se determina por medio de la expresión:

$$PDL = PDLS + PDLI - 100 \quad [107.7]$$

Siendo:

PDL, porcentaje estimado de valores dentro de los límites de la especificación (entre los límites superior e inferior).

$PDLS$, porcentaje estimado de valores bajo el límite superior de la especificación.

$PDLI$, porcentaje estimado de valores sobre el límite inferior de la especificación.

El porcentaje estimado de valores bajo el límite superior de la especificación ($PDLS$), se determina a partir del índice de calidad superior (IQS), y el número de resultados de la muestra (n), con la ayuda de la Tabla 107 – 2. Si la especificación no establece un límite superior para el parámetro evaluado ($V_{máx}$), es cien (100).

El porcentaje estimado de valores sobre del límite inferior de la especificación ($PDLI$) se determina a partir del índice de calidad inferior (IQI) y el número de resultados de la muestra (n), con la ayuda de la Tabla 107 – 2. Si la especificación no establece un límite inferior para el parámetro evaluado ($V_{mín}$), $PDLI$ es cien (100).

Se lee el valor de $PDLS$ ($PDLI$) correspondiente al IQS (IQI) de la tabla que resulte más cercano por defecto al valor IQS (IQI) calculado para el lote. Si el valor de IQS (IQI) es negativo, se reporta como porcentaje estimado de valores bajo (sobre) el límite de la especificación, $PDLS$ ($PDLI$) , el resultado de restar de cien (100) el valor de $PDLS$ ($PDLI$) leído de la tabla para el valor absoluto de IQS (IQI).

Tabla 107 – 2. Porcentaje estimado de valores dentro de los límites de la especificación (PDL)

PDLS o PDLI (%)	Índice de calidad superior (IQS) o Índice de calidad inferior (IQI)						PDLS o PDLI (%)	Índice de calidad superior (IQS) o Índice de calidad inferior (IQI)					
	n=3	n=4	n=5	n=6	n=7	n=8		n=3	n=4	n=5	n=6	n=7	n=8
100	1,16	1,49	1,72	1,88	1,99	2,07	74	0,78	0,71	0,68	0,67	0,67	0,65
99	-	1,46	1,64	1,75	1,82	1,88	73	0,75	0,68	0,65	0,64	0,63	0,62
98	-	1,43	1,58	1,66	1,72	1,75	72	0,73	0,65	0,62	0,61	0,60	0,59
97	1,15	1,40	1,52	1,59	1,63	1,66	71	0,70	0,62	0,59	0,58	0,57	0,57
96	-	1,37	1,47	1,52	1,56	1,58	70	0,67	0,59	0,56	0,55	0,54	0,54
95	1,14	1,34	1,42	1,47	1,49	1,51							

PDLS o PDLI (%)	Índice de calidad superior (IQS) o Índice de calidad inferior (IQI)						PDLS o PDLI (%)	Índice de calidad superior (IQS) o Índice de calidad inferior (IQI)					
	n=3	n=4	n=5	n=6	n=7	n=8		n=3	n=4	n=5	n=6	n=7	n=8
94	-	1,31	1,38	1,41	1,43	1,45	69	0,64	0,56	0,53	0,52	0,51	0,51
93	1,13	1,28	1,33	1,36	1,38	1,39	68	0,61	0,53	0,50	0,49	0,48	0,48
92	1,12	1,25	1,29	1,31	1,33	1,33	67	0,58	0,50	0,47	0,46	0,45	0,45
91	1,11	1,22	1,25	1,27	1,28	1,28	66	0,55	0,47	0,45	0,43	0,43	0,42
90	1,10	1,19	1,21	1,23	1,23	1,24	65	0,51	0,44	0,42	0,40	0,40	0,39
89	1,09	1,16	1,18	1,18	1,19	1,19	64	0,48	0,41	0,39	0,38	0,37	0,37
88	1 07	1 13	1 14	1 14	1 15	1 15	63	0 45	0 38	0 36	0 35	0 34	0 34
87	1,06	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	62	0,41	0,35	0,33	0,32	0,32	0,31
86	1,04	1,07	1,07	1,07	1,07	1,06	61	0,38	0,30	0,30	0,30	0,29	0,28
85	1,03	1,04	1,03	1,03	1,03	1,03	60	0,34	0,28	0,28	0,25	0,25	0,25
84	1,01	1,01	1,00	0,99	0,99	0,99	59	0,31	0,27	0,25	0,23	0,23	0,23
83	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,95	58	0,30	0,25	0,23	0,20	0,20	0,20
82	0,97	0,95	0,93	0,92	0,92	0,92	57	0,25	0,20	0,18	0,18	0,18	0,18
81	0,95	0,92	0,90	0,89	0,88	0,88	56	0,20	0,18	0,16	0,15	0,15	0,15
80	0 93	0 89	0 87	0 86	0 85	0 85	55	0 18	0 15	0 13	0 13	0 13	0 13
79	0,91	0,86	0,84	0,82	0,82	0,81	54	0,15	0,13	0,10	0,10	0,10	0,10
78	0,88	0,83	0,81	0,79	0,79	0,78	53	0,10	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08
77	0,86	0,80	0,77	0,76	0,75	0,75	52	0,08	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
76	0,83	0,77	0,74	0,73	0,72	0,72	51	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
75	0,81	0,74	0,71	0,70	0,69	0,69	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Anexo A

Ejemplos de aplicación de las herramientas estadísticas de análisis de resultados para la aceptación de los trabajos

A.1 Promedio estimado del lote con un grado de confiabilidad dado (numeral 107.3.1.3)

Este ejemplo se desarrolla para el caso del control de compactación de una capa de terraplén con suelo seleccionado. Se evalúan dos (2) lotes; en cada lote se efectuaron seis (6) ensayos para la determinación de la densidad seca en el terreno, según la norma de ensayo INV E-161 (método del cono de arena).

A.1.1 Características del material de terraplén

Algunas de las características del suelo seleccionado para el terraplén:

- Tamaño máximo: cincuenta milímetros (50 mm).
- Pasa tamiz de 19,0 mm (3/4 de pulgada): ochenta y cinco por ciento (85 %).
- Pasa tamiz de 9,5 mm (3/8 de pulgada): setenta por ciento (70 %).
- Pasa tamiz de 4,75 mm (nro. 4): cincuenta por ciento (50 %)

- Pasa tamiz de 0,075 mm (nro. 200): veintidós por ciento (22 %)
- Límite líquido: veinticinco por ciento (25 %)
- Índice de plasticidad: nueve por ciento (9 %)
- Clasificación AASHTO: A-2-4

El reporte del ensayo de compactación modificado, norma de ensayo INV E-142, tiene la siguiente información:

- Método C, de acuerdo con la granulometría del material y las indicaciones de la Tabla 142 – 1 de la norma. Tamiz de control: 19,0 mm (3/4 de pulgada).
- Gravedad específica (G_S) de la fracción de ensayo o fracción fina (porción que el pasa tamiz de control): dos coma sesenta y tres (2,63)
- Gravedad específica (G_M) de los sobretamaños o fracción gruesa (porción retenida en el tamiz de control): dos coma sesenta y siete (2,67)
- Humedad óptima ($W_{ópt}$), sin corregir por sobretamaños: siete coma dos por ciento (7,2 %)
- Peso unitario seco máximo ($Y_{d,máx}$), sin corregir por sobretamaños: veinte coma cincuenta y cuatro kilonewtons por metro cúbico (20,54 kN/m³)
- Fracción de ensayo (fracción fina, que pasa el tamiz de control) (P_{FE}): ochenta y cinco por ciento (85 %)
- Sobretamaños (fracción gruesa, retenida en el tamiz de control) (P_{FG}): quince por ciento (15 %)

El valor del peso unitario seco máximo se ha reportado con aproximación a cero coma cero un kilonewton por metro cúbico (0,01 kN/m³), de acuerdo con las indicaciones de la norma de ensayo INV E-142, numeral 9.

A.1.2 Criterio de aceptación

El criterio de aceptación para la capa es el siguiente:

$$GC_I(90) \geq 95,0\% \quad \textbf{[107.8]}$$

Siendo:

$GC_I(90)$, límite inferior del intervalo de confianza en el que, con una probabilidad del noventa por ciento (90 %), se encuentra el valor promedio del grado de compactación del lote, en porcentaje.

GC_i, valor individual del grado de compactación, en porcentaje, que se calcula mediante la expresión que resulte aplicable entre las siguientes:

Expresión 1: material sin sobretamaños:

$$GC_i = \frac{Y_{d,i}}{Y_{d,máx}} x\ 100 \quad \textbf{[107.9]}$$

Expresión 2: material con sobretamaños:

$$GC_i = \frac{Y_{d,i}}{CY_{d,máx}} x\ 100 \quad \textbf{[107.10]}$$

Siendo:

$Y_{d,i}$, valor individual del peso unitario seco del material en el terreno, determinado por cualquier método aplicable de los descritos en las normas de ensayo INV E-161, E-162 y E-164, sin efectuar corrección de él por presencia de sobretamaños, de manera que corresponda a la muestra total.

$Y_{d,máx}$, valor del peso unitario seco máximo del material, obtenido según la norma de ensayo INV E-142 (ensayo de compactación modificado) sobre una muestra representativa del mismo.

$CY_{d,máx}$, valor del peso unitario seco máximo del material, obtenido según la norma de ensayo INV E-142 (ensayo de compactación modificado) sobre una muestra representativa del mismo y corregido por sobretamaños según la norma de ensayo INV E-143, numeral 3.1, de manera que corresponda a la muestra total.

El peso unitario seco máximo corregido del material ($CY_{d,máx}$) que se use para calcular el grado de compactación individual GC_i se obtiene, para cada sitio, a partir del contenido de sobretamaños, P_{FG}, , presente en ese sitio.

Como el material tiene sobretamaños, aplica la expresión 2.

A.1.3 Resultados individuales

Los resultados individuales de peso unitario seco del material en el terreno ($Y_{d,i}$), obtenidos de los ensayos de densidad en el terreno, son los mostrados en la Tabla 107A – 1. En esta tabla se muestran, también, los contenidos de sobretamaños (P_{FG}) presentes en cada sitio de ensayo.

Tabla 107A – 1. Resultados individuales de peso unitario seco del material en el terreno

Ensayo	Lote 1		Lote 2	
	$Y_{d\,i}$ (kN/m³)	P_{FG}, (%)	$Y_{d\,i}$ (kN/m³)	P_{FG} (%)
1	20,5	15	19,8	13
2	20,4	12	20,3	13
3	20,3	18	19,7	21
4	20,2	14	20,5	15
5	19,7	17	20,2	22
6	20,8	11	20,4	20

Nota: los valores de peso unitario seco mostrados en la tabla se han redondeado a cero coma un kilonewton por metro cúbico (0,1 kN/m³), de acuerdo con las indicaciones de la norma INV E-161, numeral 7.1.

A.1.4 Cálculo de los valores individuales de compactación, GC_i

Para el cálculo de los valores individuales de compactación (GC_i) es necesario obtener, para cada ensayo, el peso unitario seco máximo corregido del material ($CY_{d,máx}$) a partir del peso unitario seco máximo del material ($Y_{d,máx}$) y del contenido de sobretamaños (P_{FG}) presente en el sitio del ensayo. La corrección se hace según la norma de ensayo INV E-143, numeral 3.1, aplicando la fórmula [143.5] de la siguiente manera:

- CY_d (fórmula) = $CY_{d,máx}$ en kilonewtons por metro cúbico (kN/m³).

- Y_f (fórmula) = $Y_{d,máx}$ = veinte coma cincuenta y cuatro kilonewtons por metro cúbico (20,54 kN/m³).
- Y_w = nueve coma ochocientos dos kilonewtons por metro cúbico (9,802 kN/m³).
- G_M = dos coma sesenta y siete (2,67).
- P_{FG} = sobretamaños por masa, en tanto por uno, para cada ensayo.
- P_{FE} = fracción de ensayo, en tanto por uno, para cada ensayo ($P_{FE} = 1 - P_{FG}$).

Los resultados de estos cálculos se presentan en las Tablas 107A – 2 y 107A – 3 para cada uno de los lotes.

Tabla 107A – 2. Valores individuales de compactación (GC_i), lote 1

Ensayo	Lote 1			
	$Y_{d,i}$ (kN/m³)	P_{FG} (tanto por uno)	$CY_{d,máx}$ (kN/m³)	GC_i (%)
1	20,5	0,15	21,0	97,6
2	20,4	0,12	20,9	97,6
3	20 3	0 18	21 1	96 2
4	20,2	0,14	21,0	96,2
5	19 7	0 17	21 1	93 4
6	20,8	0,11	20,9	99,5

Tabla 107A – 3. Valores individuales de compactación (GC_i), lote 2

Ensayo	Lote 2			
	$Y_{d,i}$ (kN/m³)	P_{FG} (tanto por uno)	$CY_{d,máx}$ (kN/m³)	GC_i (%)
1	19,8	0,13	21,0	94,3
2	20,3	0,13	21,0	96,7
3	19,7	0,21	21,2	92,9
4	20,5	0,15	21,0	97,6
5	20 4	0 22	21 3	95 8
6	20,4	0,20	21,2	96,2

A.1.5 Cálculo de GC_i(90)

El cálculo del límite inferior del intervalo de confianza en el que, con una probabilidad del noventa por ciento (90 %), se encuentra el valor promedio de la densidad de cada lote GC_I (90), se ilustra en la Tabla 107A – 4.

Tabla 107A – 4. Cálculo de GC_I (90)

Ensayo	GC_i (%)	
	Lote 1	Lote 2
1	97,6	94,3
2	97,6	96,7
3	96 2	92 9
4	96,2	97,6
5	93,4	95,8
6	99,5	96,2
GC_m, %	96,8	95,6
n	6	6
s	2,0	1,7
k (90)	0,8226	0,8226
GC_I (90), %	95,1	94,2

Nota: los valores de grado de compactación, GC_I (90), se han redondeado a la unidad más cercana en el último dígito de la derecha usado para expresar el límite de la especificación cero coma uno por ciento (0,1 %), en acuerdo con el método del redondeo de la norma INV E-823, para determinar la conformidad con las especificaciones. El límite de la especificación, en este caso, corresponde al criterio de aceptación establecido al inicio del aparte A.1.2.

Siendo:

GC_m, grado de compactación promedio de la muestra (numeral 107.3.1.1).
n, número de resultados en el lote (tamaño de la muestra).
s, desviación estándar de la muestra (numeral 107.3.1.2).
k (90), factor que establece los límites del intervalo de confianza (Tabla 107 – 1).

A.1.5 Aplicación del criterio de aceptación

La aplicación del criterio de aceptación se muestra en la Tabla 107A – 5.

Tabla 107A – 5. Aplicación del criterio de aceptación

Resultado	GC_i (%)	
	Lote 1	Lote 2
GC_I (90) del lote (%)	95,1	94,2
GC_I (90) mínimo (%)	95,0	95,0
Aceptación	SI	NO

A.2 Porcentaje estimado de valores dentro de los límites de la 261 especificación, PDL (numeral 107.3.2)

Este ejemplo se desarrolla para el caso del control de resistencia de un pavimento de concreto hidráulico. Se evaluaron tres (3) lotes; en cada lote se efectuaron seis (6) ensayos para la determinación del módulo de rotura a veintiocho días (28 d), según la norma INV E-414.

El valor mínimo de resistencia a la flexión a veintiocho días (28 d) ($f_{,mín}$) especificado para el proyecto, o límite inferior de la especificación, es de cuatro coma cincuenta megapascales (4,50 MPa).

Los resultados de mediciones y cálculos se han redondeado según la norma INV E-823.

A.2.1 Criterio de aceptación

Para la aceptación o rechazo por resistencia del lote de pavimento de concreto se definen tres (3) niveles de calidad, en función del porcentaje estimado de la resistencia dentro de los límites de la especificación (PDL):

- Nivel de aceptación a satisfacción: si el valor de PDL del lote es igual o superior al noventa por ciento (90 %), el lote de pavimento se acepta y se paga al precio unitario del contrato.
- Nivel de aceptación con sanción: si el valor de PDL del lote está entre cincuenta y ochenta y nueve por ciento (50 % y 89 %), el lote de pavimento se puede aceptar con sanción, consistente en la aplicación de una reducción al precio unitario del contrato para el pago del lote, la cual se hace asignando un factor de ajuste de precio. El factor de ajuste de precio por resistencia FAR (menor que la unidad) que se debe aplicar al precio unitario del contrato para el pago del lote, se define para cada lote mediante la Tabla 107A – 6.
- Nivel de rechazo: si el valor de PDL del lote es inferior al cincuenta por ciento (50 %), el lote se rechaza; se debe demoler y reemplazar con otro de calidad satisfactoria.

Tabla 107A – 6. Factor de ajuste del precio unitario por resistencia (FAR)

PDL (%)	Factor de ajuste de precio unitario (FAR)	PDL (%)	Factor de ajuste de precio unitario (FAR)	PDL (%)	Factor de ajuste de precio unitario (FAR)
90 a 100	1,000	73	0,915	56	0,795
89	0,995	72	0,910	55	0,788
88	0,990	71	0,905	54	0,780
87	0,985	70	0,900	53	0,773
86	0,980	69	0,893	52	0,765
85	0,975	68	0,885	51	0,758
84	0,970	67	0,878	50	0,750

PDL (%)	Factor de ajuste de precio unitario (FAR)	PDL (%)	Factor de ajuste de precio unitario (FAR)	PDL (%)	Factor de ajuste de precio unitario (FAR)
83	0,965	66	0,870		
82	0,960	65	0,863		
81	0,955	64	0,855		
80	0,950	63	0,848		
79	0,945	62	0,840	Rechazo	
78	0,940	61	0,833		
77	0,935	60	0,825		
76	0,930	59	0,818		
75	0,925	58	0,810		
74	0,920	57	0,803		

A.2.2 Resultados individuales

Los resultados individuales de resistencia a la flexión a veintiocho días (28 d) ($f_{f,i}$) para estos lotes, determinados mediante la norma INV E-414, son los mostrados en la Tabla 107A – 7.

Los resultados se han reportado con aproximación a cero coma cero cinco megapascales (0,05 MPa), como lo establece la misma norma.

Tabla 107A – 7. Resultados individuales de resistencia a la flexión a veintiocho días (28 d)

Ensayo	$f_{f,i}$ (MPa)		
	Lote 1	Lote 2	Lote 3
1	4,65	4,35	4,65
2	4,60	4,75	4,60
3	4,75	4,40	4,75
4	4,50	4,45	4,50
5	4,65	4,40	4,30
6	4,55	4,45	4,45

A.2.3 Cálculo de los índices de calidad (numeral 107.3.2.1)

El cálculo de los índices de calidad inferior (IQI) y superior (IQS) se ilustra en la Tabla 107A – 8.

Siendo:

$f_{f,m}$, resistencia promedio a la flexión de la muestra.

n, número de resultados en el lote (tamaño de la muestra).

s, desviación estándar de la muestra.

$f_{f,máx}$, valor máximo de resistencia a la flexión, o límite superior de la especificación.

$f_{f,mín}$, valor mínimo de resistencia a la flexión, o límite inferior de la especificación.

Tabla 107A – 8. Cálculo de los índices de calidad

Ensayo	$f_{f,i}$ (MPa)		
	Lote 1	Lote 2	Lote 3
1	4,65	4,65	4,35
2	4,60	4,60	4,75
3	4,75	4,75	4,40
4	4,50	4,50	4,45
5	4,65	4,30	4,40
6	4,55	4,45	4,45
$f_{f,m}$ (MPa)	4,62	4,54	4,47
n	6	6	6
s	0,088	0,16	0,14
$f_{f,máx}$ (MPa)	NA	NA	NA
IQS	NA	NA	NA
$f_{f,mín}$ (MPa)	4,50	4,50	4,50
IQI	1,36	0,25	-0,21

Siguiendo las indicaciones del numeral 5.13 de la norma INV E-823, los valores obtenidos de los cálculos de la resistencia promedio a la flexión de la muestra ($f_{f,m}$), se han redondeado con aproximación a las centésimas, que es el último lugar de dígitos significativos de los valores de resistencia individual ($f_{f,i}$); así mismo, la desviación estándar (s), se ha redondeado con dos (2) dígitos significativos.

En este caso, el índice de calidad superior (IQS) no aplica, porque no se especifica un límite superior para la resistencia a la flexión.

A continuación, se ilustra, el cálculo detallado del índice de calidad inferior (IQI) para el lote 1:

$$IQI = \frac{V_m - V_{mín}}{s} = \frac{f_{f,m} - f_{f,mín}}{s} = \frac{4,62 - 4,50}{0,088} = 1,363636$$

Los resultados del índice de calidad inferior (IQI) mostrados en la Tabla 107A – 8 se han redondeado a la centésima, conservando la aproximación que tienen estos valores en la Tabla 107 – 2.

A.2.4 Aplicación del criterio de aceptación

Para aplicar el criterio de aceptación, se determina primero el porcentaje estimado de valores dentro de los límites de la especificación (PDL) para cada lote, con la ayuda de la Tabla 107 – 2; luego, se aplica el criterio de aceptación al valor de PDL correspondiente a cada lote, como se ilustra en la Tabla 107A – 9. Siendo:

n, número de resultados en el lote (tamaño de la muestra).

IQS, índice de calidad superior.

IQI, índice de calidad inferior.

$PDLS$, porcentaje estimado de valores bajo el límite superior de la especificación.

Tabla 107A – 9. Aplicación del criterio de aceptación

Parámetro	Lote 1	Lote 2	Lote 3
n	6	6	6
IQS	NA	NA	NA
$PDLS$	100	100	100
IQI	1,36	0,25	-0,21
$PDLI$	93	60	42
PDL	93	60	42
Aceptación	Aceptación a satisfacción	Aceptación con sanción	Rechazo

$PDLI$, porcentaje estimado de valores sobre el límite inferior de la especificación.

PDL, porcentaje estimado de valores dentro de los límites de la especificación.

De acuerdo con los resultados obtenidos al aplicar el criterio de aceptación, se procede de la siguiente manera para cada uno de los lotes:

- El lote 1 se acepta a satisfacción y se paga al precio unitario del contrato.
- El lote 2 se acepta con sanción. En este caso, el valor del factor de ajuste por resistencia (FAR) es de cero coma ochocientos veinticinco (0,825), que corresponde al porcentaje estimado de valores dentro de los límites de la especificación (PDL) de sesenta (60), según la Tabla 107A – 6. Es decir, que este lote se paga, por resistencia, al precio unitario del contrato multiplicado por cero coma ochocientos veinticinco (0,825).
- El lote 3 se rechaza; se debe demoler y reemplazar con otro de calidad satisfactoria.

Medida y pago de la obra ejecutada

Artículo 108 – 22

108.1 Medida

108.1.1 Aspectos generales

Con la frecuencia que se haya prescrito en los documentos del contrato, el constructor y el interventor, deben medir las cantidades de obra ejecutada.

Se deben medir, para efectos de pago exclusivamente, las cantidades correspondientes a las obras previamente aceptadas por el interventor, ejecutadas de acuerdo con sus instrucciones, los planos de construcción, las especificaciones generales y particulares de construcción y los demás documentos contractuales del proyecto.

No se deben medir para efectos de pago, cantidades de obra en exceso de las autorizadas por el interventor.

108.1.2 Procedimiento de medida

La medición se debe efectuar aplicando los procedimientos y unidades de medida contemplados en el correspondiente artículo. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida en el respectivo artículo, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

108.2 Pago

108.2.1 Abono por la obra ejecutada

El abono por la obra ejecutada en cada partida de trabajo y en cada período, se debe determinar multiplicando las cantidades aprobadas por su respectivo precio unitario, descontando de dicha suma los valores fijados en el contrato y las tasas, contribuciones e impuestos determinados por las disposiciones legales vigentes.

108.2.2 Precios unitarios

Los precios unitarios definidos en cada especificación, deben cubrir el costo de todos los suministros y las operaciones relacionadas con la correcta ejecución de las obras especificadas, excepto aquellos costos correspondientes a las actividades que se indiquen explícitamente. Deben incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

Por tanto, los precios unitarios deben cubrir los costos requeridos para el suministro en el sitio de las obras, de materiales y mezclas que cumplan, sin excepción, todos los requisitos de calidad exigidos para ellos en los artículos correspondientes de estas especificaciones o de las especificaciones particulares: los desperdicios; transportes; almacenamientos; mano de obra en trabajos diurnos y nocturnos

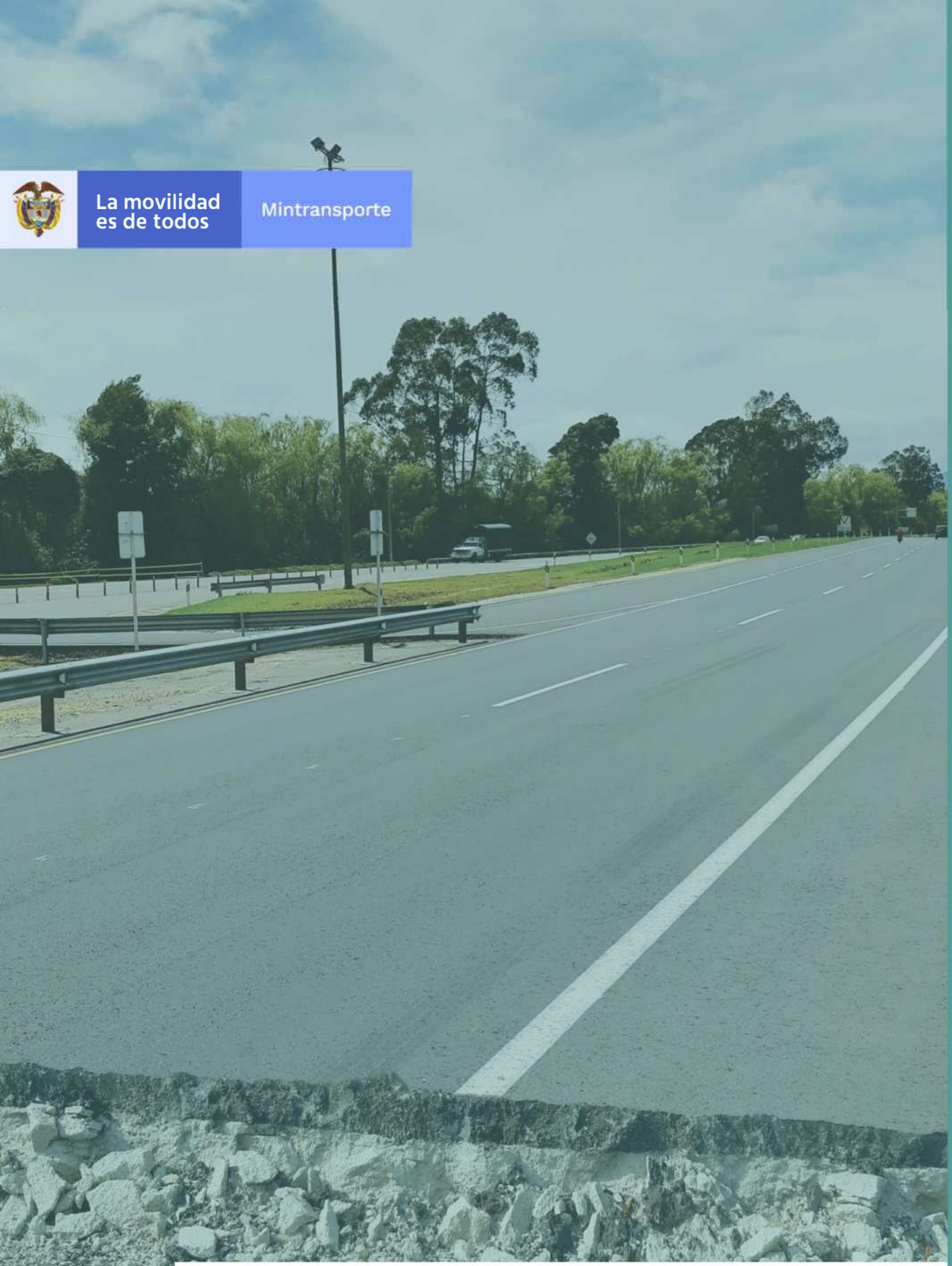
o en días feriados; prestaciones sociales y aportes parafiscales; impuestos, tasas y contribuciones decretados por los gobiernos nacional, departamental o municipal; herramientas; maquinaria; ensayos de control de calidad; patentes; permisos; licencias de toda índole; derechos de explotación y alquiler de fuentes de materiales; regalías; servidumbres; el cumplimiento de todas las disposiciones sobre seguridad, salubridad y ambiente; la adquisición, transporte, escoltas, almacenamiento, vigilancia, manejo y control de explosivos; la construcción de desvíos (salvo los indicados en el numeral 105.12.2 del artículo 105, Desarrollo y control de los trabajos), canalizaciones y obras de arte provisionales; la conservación de la partida de trabajo aceptada, desde el recibo provisional hasta el recibo definitivo; así como todos los demás costos inherentes al cumplimiento satisfactorio de cada partida de trabajo del contrato, cumplimiento que se debe verificar de acuerdo con lo establecido en el numeral denominado "CONDICIONES PARA EL RECIBO DE LOS TRABAJOS" de la especificación a la cual aplica el respectivo precio unitario.

Cuando aplique, dentro de los análisis de precios unitarios se deben incluir los costos inherentes a los derechos de disposición y/o conformación de materiales sobrantes, incluyendo los costos inherentes a las obras requeridas en los sitios de disposición.

Los precios unitarios deben incluir, igualmente, los costos de adecuación paisajística y ambiental de las fuentes de materiales utilizadas, para recuperar sus características hidrológicas superficiales al terminar su explotación, así como los costos de la definición de las fórmulas de trabajo que correspondan, de la fase de experimentación y de la señalización preventiva de la vía y el ordenamiento de todo tipo de tránsito, durante la ejecución de los trabajos y el período adicional que fije el interventor.

108.3 Aclaración sobre la medida y el pago

La redacción de las presentes Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras considera la ejecución de los contratos mediante la modalidad de pago por precio unitario. Por ello, teniendo en cuenta que INVÍAS puede operar bajo distintas modalidades de contratación de obra, los pliegos de condiciones deben definir, en cada caso, las adaptaciones por realizar a las especificaciones generales cuando se emplee otra modalidad para el pago de la obra ejecutada.



La movilidad es de todos

Mintransporte

UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

INVIAS
INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

La movilidad es de todos

Mintransporte

CAPÍTULO 2

Especificaciones generales de construcción de carreteras 2022

UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

INVIAS
INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

2

Explanaciones

Desmonte y limpieza

Artículo 200 – 22

200.1 Descripción

200.1.1 Generalidades

Este trabajo consiste en el desmonte y limpieza del terreno natural en las áreas que deben ocupar las obras del proyecto vial y las zonas o fajas laterales reservadas para la vía, que se encuentren cubiertas de rastrojo, maleza, bosque, pastos, cultivos, etc., incluyendo la remoción de tocones, raíces, escombros y basuras, de modo que el terreno quede limpio y libre de toda vegetación y su superficie resulte apta para iniciar los demás trabajos.

El trabajo debe incluir, también, el retiro y la disposición final dentro o fuera de la zona del proyecto, de todos los materiales provenientes de las operaciones de desmonte y limpieza, previa autorización del interventor, atendiendo las normas y disposiciones legales vigentes, entre ellas las obligaciones que deriven de los permisos y licencias emanadas de la autoridad ambiental competente; siendo de gran importancia el manejo y protección de la fauna silvestre contenidos en la guía ambiental; además de los aspectos generales dispuestos en el artículo 106, Aspectos ambientales y en los lineamientos ambientales para la construcción de infraestructura del Programa Nacional de Transporte Urbano, emitido por el Ministerio de Transporte (Plan de manejo forestal, silvicultura y paisajístico, entre otros).

Al finalizar cada jornada de trabajo no deben quedar elementos de la obra en estado inestable o peligroso.

200.1.2 Clasificación

El desmonte y limpieza se clasifica de acuerdo con los siguientes criterios:

200.1.2.1 Desmonte y limpieza en bosque

Comprende la tala de árboles, remoción de tocones, desraíce y limpieza de las zonas donde la vegetación se presenta en forma de bosque continuo.

200.1.2.2 Desmonte y limpieza en zonas no boscosas

Comprende el desraíce y la limpieza en zonas cubiertas de pastos, rastrojo, maleza, escombros, cultivos y arbustos.

También comprende la remoción total de árboles aislados o grupos de árboles dentro de superficies que no presenten características de bosque continuo.

200.2 Materiales

Los materiales obtenidos como resultado de la ejecución de los trabajos de desmonte y

limpieza, se deben disponer de acuerdo con lo establecido en el numeral 200.4.4.

200.3 Equipo

El equipo empleado para llevar a cabo los trabajos de desmonte y limpieza debe ser compatible con los procedimientos de ejecución adoptados y requiere la aprobación previa del interventor, teniendo en cuenta que su capacidad y su eficiencia se ajusten al programa de ejecución de los trabajos y al cumplimiento de las exigencias de esta especificación.

200.4 Ejecución de los trabajos

200.4.1 Desmonte y limpieza

Los trabajos de desmonte y limpieza se deben efectuar en todas las zonas señaladas en los planos o indicadas por la interventoría y de acuerdo con procedimientos aprobados por esta, tomando las precauciones necesarias para lograr unas condiciones de seguridad satisfactorias. Salvo que los documentos del proyecto indiquen algo diferente, dichas zonas deben abarcar, como mínimo, los límites indicados en la Tabla 200 – 1.

Tabla 200 – 1. Límite de áreas para desmonte y limpieza

Tipo de zona	Límite área
Áreas de fundación de terraplenes.	Hasta un metro (1 m) más, afuera del pie del terraplén.
Áreas de excavación.	Hasta un metro (1 m) más, afuera de los bordes superiores.
Fajas de emplazamiento de canales, zanjas y otras obras de drenaje.	Hasta cero coma cincuenta metros (0,50 m) más, afuera de las líneas de borde.
Áreas de excavación para fundaciones de estructuras.	Hasta un metro (1 m) más, afuera de las líneas de excavación.
Áreas de emplazamiento de las cercas que delimitan la faja de derecho de vía.	En un metro (1 m) de ancho.
Áreas de cauce de escurrimientos naturales.	Toda el área dentro de los límites definidos por el proyecto.
Áreas de cruce de cultivos y plantaciones agrícolas.	Toda el área delimitada por los cercos.

No se debe permitir el procedimiento de desmonte mediante quema, así sea controlada. Tampoco se debe admitir el uso de herbicidas, para ambos casos, sin previo permiso de la autoridad ambiental competente, con la aprobación de la interventoría.

Para evitar daños en las propiedades adyacentes o en los árboles que deban permanecer en su lugar, se debe procurar que los árboles a ser derribados caigan en el centro de la zona objeto de limpieza, troceándolos por su copa y tronco progresivamente, cuando así lo exija el interventor. Las ramas de los árboles que se extiendan sobre el área que, según el proyecto, vaya a estar ocupada por la corona de la vía, deben ser cortadas o podadas para dejar un claro mínimo de seis metros (6 m), a partir del borde de la superficie de esta.

Para el inicio de la actividad, debe efectuarse una visita previa. Esta visita de inspección se debe realizar por el especialista ambiental tanto del contratista como del interventor, así como los directores de la obra; de ella, se debe generar un acta en la que deben quedar consignados los lineamientos de equipo, del personal y de la ejecución.

200.4.2 Remoción de tocones y raíces

En aquellas áreas donde se deban efectuar trabajos de excavación, todos los troncos, raíces y otros materiales inconvenientes, deben ser removidos hasta una profundidad no menor de sesenta centímetros (60 cm), contados desde la superficie de la subrasante del proyecto.

En las áreas que vayan a servir de base de terraplenes o estructuras de contención o drenaje, los tocones, raíces de más de diez centímetros (10 cm) de diámetro y demás materiales inconvenientes, se deben eliminar hasta una profundidad no menor de treinta centímetros (30 cm) por debajo de la superficie que se deba descubrir de acuerdo con las necesidades del proyecto; además de las medidas que el interventor avale con base en los métodos de demolición adoptados y teniendo en cuenta las disposiciones ambientales descritas en el artículo 106.

Todos los troncos que estén en la zona del proyecto, pero por fuera de las áreas de excavación, terraplenes o estructuras, se pueden cortar a ras del suelo.

Igualmente, las oquedades, huecos o vacíos causados por la extracción de tocones y raíces, se deben rellenar con el suelo que haya quedado al descubierto al hacer la limpieza y, para su conformación, se debe apisonar hasta obtener un grado de compactación similar al del terreno adyacente y la superficie se debe ajustar a la del terreno circundante.

200.4.3 Descapote

El volumen de la capa vegetal que se remueva al efectuar el desmonte y la limpieza, no debe incluirse dentro del trabajo objeto del presente artículo. Dicho trabajo se encuentra cubierto por el artículo 210, Excavación de la explanación, canales y préstamos.

200.4.4 Remoción y disposición de materiales

Los árboles talados que sean susceptibles de aprovechamiento, deben ser despojados de sus ramas y cortados en trozos de tamaño conveniente, los cuales deben ser apilados debidamente a lo largo de la zona de derecho de vía, disponiéndose posteriormente según lo apruebe el interventor.

El resto de los materiales provenientes del desmonte y la limpieza debe ser retirado del lugar de los trabajos, transportado y depositado en los lugares establecidos en los documentos del proyecto o señalados por el interventor, donde dichos materiales deben ser enterrados convenientemente, extendiéndolos en capas dispuestas de forma que se reduzca al mínimo la formación de huecos.

Cada capa se debe cubrir o mezclar con suelo para rellenar los posibles huecos y, sobre la capa superior, extender al menos treinta centímetros (30 cm) de suelo compactado adecuadamente, de tal manera que la acción de los elementos naturales no pueda dejarlos

al descubierto. Estos materiales no se deben extender en zonas donde se prevean afluencias apreciables de agua.

El trabajo de trasplante de especies vegetales que deban ser conservadas (que incluye remoción, traslado y plantación en otro sitio) está cubierto por el artículo 203, Trasplante de árboles.

200.4.5 Orden de las operaciones

Los trabajos de desmonte y limpieza se deben efectuar con anterioridad al inicio de las operaciones de explanación. En cuanto dichos trabajos lo permitan, y antes de disturbar con maquinaria la capa vegetal, se deben levantar secciones transversales del terreno original, las cuales deben servir para determinar los volúmenes de la capa vegetal y del movimiento de tierra.

Si después de ejecutados el desmonte y la limpieza, la vegetación vuelve a crecer por motivos imputables al constructor, este debe efectuar una nueva limpieza, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), antes de realizar la operación constructiva subsiguiente.

200.4.6 Limitaciones de ejecución

Los trabajos deben ser realizados en condiciones de luz solar.

200.4.7 Manejo ambiental

En adición a los aspectos generales indicados en el artículo 106, de estas especificaciones, todas las labores requeridas para el desmonte y limpieza se deben realizar con base en lo establecido en los estudios y evaluaciones ambientales del proyecto, lo mismo que en las normas y disposiciones vigentes sobre conservación del ambiente, los recursos naturales y protección de la comunidad.

Cuando la autoridad competente lo permita, la materia vegetal inservible y los demás desechos del desmonte y limpieza, se pueden quemar en un momento oportuno y con los controles adecuados para prevenir la propagación del fuego. El constructor es el responsable tanto de obtener el permiso para la quema, como de cualquier conflagración que resulte de dicho proceso.

Por ningún motivo se debe permitir que los materiales de desecho se incorporen en la construcción de los terraplenes, ni disponerlos a la vista en las zonas o fajas laterales reservadas para la vía, ni en sitios donde puedan ocasionar perjuicios ambientales. Queda prohibida la comercialización de la madera producto de la tala y/o entregarla a terceros que la comercialicen. Tampoco se debe permitir el uso de explosivos para remover la vegetación.

Se sugiere que para el lleno de oquedades se utilicen compuestos orgánicos (naturales). Se insinúa, también, evitar el uso de insecticidas, por cuanto son compuestos químicos que pueden afectar a nivel ambiental, como efectos en la flora, fauna, el suelo, el sistema hídrico y la atmósfera.

En caso de uso de agua lluvia, se recomienda que el pH sea normal entre cinco y cinco coma cinco (5 – 5,5); asimismo, se debe revisar que el material de relleno implementado en la actividad sea biodegradable y cumpla con el Análisis del Ciclo de Vida (ACV).

200.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

200.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos, principalmente, se deben adelantar los siguientes controles:

- Verificar que el constructor disponga de todos los permisos requeridos.
- Comprobar el estado y funcionamiento del equipo empleado en la ejecución de los trabajos.
- Confirmar la eficiencia y seguridad de los procedimientos de ejecución de los trabajos.
- Vigilar el cumplimiento de los programas de trabajo.
- Comprobar que la disposición de los materiales obtenidos de los trabajos de desmonte y limpieza, se ajuste a las exigencias de la presente especificación y todas las disposiciones legales vigentes.

El interventor, en conjunto con la autoridad ambiental si es requisito, deben establecer qué individuos (árboles) quedan en pie y deben ordenar cuáles deben ser talados; todo esto cumpliendo con lo establecido en el plan de manejo ambiental.

El constructor debe aplicar las acciones y los procedimientos constructivos recomendados en los respectivos estudios o evaluaciones ambientales del proyecto y las disposiciones vigentes sobre la conservación del medio ambiente y los recursos naturales; por ello, el interventor debe vigilar su cumplimiento.

El interventor se debe encargar de medir las áreas en las que se ejecuten los trabajos en acuerdo con esta especificación y el plan de calidad, medición y ensayo. El plan de calidad y el plan de inspección, medición y ensayo, son de obligatorio cumplimiento tal como se encuentra expresado en el numeral 103.2 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor .

200.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

La actividad de desmonte y limpieza se debe considerar terminada cuando la zona quede despejada, de tal manera que permita continuar con las siguientes actividades de la construcción. Para efectos de medida y pago, el interventor únicamente debe controlar las zonas donde el desmonte y la limpieza se realicen en una longitud no mayor de un kilómetro (1 km) adelante del frente de la explanación.

Para evitar incurrir en “causal de procedimiento sancionatorio ambiental”, en ningún caso, la implementación del desmonte descapote y limpieza puede superar el área prevista para ello.

200.6 Medida

La unidad de medida del área desmontada y limpiada debe ser la hectárea (ha), en su proyección horizontal, aproximada al décimo de hectárea.

Para pequeñas zonas como bordes de vía, se recomienda que la unidad de medida sea el metro cuadrado (m^2).

El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

No se deben medir, para pago, las áreas correspondientes a:

- Calzadas de vías existentes.
- Áreas desmontadas y limpiadas en zonas de préstamos o de canteras y otras fuentes de materiales que se encuentren localizadas fuera de la zona del proyecto.
- Áreas que el constructor haya despejado por conveniencia propia, tales como vías de acceso, vías para acarreos, campamentos, instalaciones o depósitos de materiales.

200.7 Forma de pago

El pago del desmonte y limpieza se debe hacer al respectivo precio unitario del contrato, por todo trabajo ejecutado de acuerdo con esta especificación y aceptado a plena satisfacción por el interventor.

El precio debe cubrir todos los costos de desmontar, destroncar, desraizar, rellenar y compactar los huecos de tocones y disponer los materiales sobrantes de manera uniforme en los sitios aprobados por el interventor. El precio unitario debe cubrir, además, el cargue, transporte y descargue y debida disposición de estos materiales, así como la mano de obra, herramientas, equipo necesario para la ejecución de los trabajos y la obtención de todos los permisos requeridos.

El precio unitario también debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

El pago por concepto de desmonte y limpieza, se debe hacer independientemente del correspondiente a la excavación o el descapote en los mismos sitios, aunque los dos (2) trabajos se ejecuten en una (1) sola operación. El descapote y la excavación se deben medir y pagar de acuerdo con el artículo 210.

Por su parte, el pago de trasplante de especies vegetales que deban ser conservadas (que incluye remoción, traslado y plantación en otro sitio), debe estar cubierto por el artículo 203.

200.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
200.1	Desmonte y limpieza en bosque	Hectárea (ha)
200.1	Desmonte y limpieza en bosque	Metro cuadrado (m^2)
200.2	Desmonte y limpieza en zonas no boscosas	Hectárea (ha)
200.2	Desmonte y limpieza en zonas no boscosas	Metro cuadrado (m^2)

Demolición y remoción

Artículo 201 – 22

201.1 Descripción

201.1.1 Generalidades

Este trabajo consiste en la demolición total o parcial de estructuras o edificaciones existentes en las zonas que indiquen los documentos del proyecto, y la remoción, cargue, transporte, descargue y disposición final de los materiales provenientes de la demolición, en las áreas aprobadas por el interventor y teniendo presente las disposiciones de orden ambiental de la Resolución 541 de 1994 y la Resolución 472 de 2017 (Programa de manejo ambiental de RCD antes denominado programa de manejo ambiental de materiales y elementos en la resolución 541 de 1994), en el que se establecen las disposiciones dirigidas al fortalecimiento de la gestión integral de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD); así como las especificaciones descritas en el artículo 106, Aspectos ambientales; dentro de las cuales se debe incluir:

- Retiro, cambio, restauración o protección de las instalaciones de los servicios públicos y privados que se vean afectados por las obras del proyecto.
- Manejo, desmontaje, traslado y almacenamiento de estructuras existentes.
- Remoción de cercas de alambre y otros obstáculos.
- Remoción de especies vegetales que no van a ser trasplantadas y no se encuentren dentro de áreas que son objeto de trabajos de desmonte y limpieza.
- Suministro, colocación y conformación del material de relleno para zanjas, fosos y hoyos resultantes de los trabajos, de acuerdo con los planos y las instrucciones del interventor.
- Se recomienda considerar las restricciones del uso de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) proveniente de materiales metálicos como aceros o los contaminados con residuos peligrosos.

El constructor debe identificar y conocer los sitios de disposición final, al igual que los gestores de RCD. Estos deben contar con los permisos vigentes de las autoridades competentes.

Si una vez cumplida la gestión integral de los RCD sigue existiendo material para disposición, el constructor debe seleccionar técnicamente el sitio de disposición final autorizado por la autoridad ambiental competente más cercano al frente de obra; adicionalmente, debe cumplir con las condiciones para su recolección y transporte, previstas en los lineamientos ambientales para la construcción de infraestructura del Programa Nacional de Transporte Urbano, emitido por el Ministerio de Transporte (Plan de manejo forestal, silvicultura y paisajístico, entre otros).

El constructor debe ubicar una Zona de Disposición de Material Sobrante de Obra Estéril (ZODME), para disponer el volumen sobrante de residuos resultantes de la actividad de excavación. Para tal fin, debe contar con un diseño técnico-ambiental aprobado por la interventoría, con la autorización de la autoridad ambiental competente y que tenga la certificación de la dependencia de planeación municipal, sobre compatibilidad de uso según el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) o Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del municipio donde se ubica la ZODME, y en el documento END 098 del 2020, Guía para el desarrollo del plan de gestión de residuos para los proyectos de construcción, desmontaje y demolición.

El trabajo de remoción de especies vegetales situadas en áreas que son objeto de trabajos de desmonte y limpieza debe estar cubierto por el artículo 200, Desmonte y limpieza, de estas especificaciones.

El trabajo de remoción de especies vegetales que van a ser trasplantadas, debe estar cubierto por el artículo 203, Trasplante de árboles.

201.1.2 Clasificación

La demolición total o parcial y la remoción de estructuras y obstáculos, se deben clasificar de acuerdo con los siguientes criterios:

- Demolición de estructuras existentes.
- Desmontaje y traslado de estructuras metálicas y alcantarillas.
- Remoción de especies vegetales.
- Remoción de cercas de alambre.
- Remoción de obstáculos.
- Remoción de ductos de servicios existentes.
- Traslado de postes y torres.
- Remoción de rieles, defensas metálicas y barreras de seguridad.

201.2 Materiales

Los materiales provenientes de la demolición que, según el interventor, sean aptos para rellenar y emparejar la zona de demolición u otras zonas del proyecto, se deben utilizar para este fin.

El material que suministre el constructor para el relleno de las zanjas, fosos y hoyos resultantes de los trabajos, debe tener la aprobación previa del interventor.

201.3 Equipo

Los equipos empleados por el constructor en esta actividad, deben tener la aprobación previa del interventor y ser suficientes para garantizar el cumplimiento de esta especificación y del programa de trabajo.

Cuando las circunstancias lo ameriten, el interventor puede autorizar el uso de explosivos, asumiendo el constructor, la responsabilidad de cualquier daño causado por un manejo incorrecto de ellos.

Para remover estructuras, especies vegetales, obstáculos, cercas y conducciones de servicios y demás elementos considerados en el presente artículo, se deben utilizar equipos que no produzcan daño a estos elementos. Para la demolición de losas, se deben imple-

mentar equipos de tipo rompedoras como martillos demoledores o compresores, para los casos que sea necesario su uso, de acuerdo con procedimientos aprobados por el interventor.

Para el trabajo con equipos pesados en pavimentos rígidos, se deben suspender las actividades a una distancia igual a la equivalente a dos (2) losas del pavimento antes de los límites considerados para la remoción. En los demás casos, los trabajos de demolición se deben ejecutar mediante el uso de equipos y herramientas manuales u otros métodos que permitan retirar cuidadosamente las losas, sin afectar en forma alguna las adyacentes.

201.4 Ejecución de los trabajos

201.4.1 Generalidades

Antes de iniciar los trabajos de demolición de estructuras, el constructor debe elaborar un estudio de demolición en el cual se deben definir como mínimo:

- Métodos de demolición y etapas de su aplicación.
- Estabilidad de las construcciones remanentes en cada etapa, así como los armazones y cimbras necesarios.
- Estabilidad y protección de construcciones remanentes que no vayan a ser demolidas.
- Protección de las construcciones e instalaciones del entorno.
- Mantenimiento o sustitución provisional de servicios afectados por la demolición.
- Medios de evacuación y definición de zonas de disposición de los productos de la demolición.
- Cronogramas de trabajos.
- Pautas de control.
- Medidas de seguridad y salud.

El estudio de demolición debe ser aprobado por el interventor antes de iniciar los trabajos de demolición. Tal autorización no exime al constructor de su responsabilidad por las operaciones aquí señaladas, ni del cumplimiento de estas especificaciones y de la legislación vigente en materia medioambiental, de seguridad y salud y de transporte y almacenamiento de los productos de la construcción; así como de las demás condiciones pertinentes establecidas en los documentos del contrato.

El constructor es el responsable de todo daño causado, directa o indirectamente, a las personas, así como a redes de servicios públicos, o propiedades cuya destrucción o menoscabo no se encuentren previstos en los documentos del proyecto, ni sean necesarios para la ejecución de los trabajos contratados.

Los trabajos se deben efectuar en tal forma que produzcan la menor molestia posible a los habitantes de las zonas próximas a la obra y a los usuarios de la vía materia del contrato, cuando esta permanezca abierta al tránsito durante la construcción.

Cuando se especifique la remoción del pavimento de una sola vía, el constructor debe verificar, previamente, si existen barras de acero de amarre entre las losas adyacentes y proceder de acuerdo con ello. También debe considerar que la remoción tiene que extenderse hasta lograr que resulten juntas transversales coincidentes en los extremos de ambas losas. En ningún caso, se deben dejar losas de

menos de dos metros (2 m) de longitud. Cuando la remoción incluya fracciones de losas, el área a remover se debe delimitar con un precorte con sierra, de mínimo cinco milímetros (5 mm) de profundidad.

El constructor debe contar con un PMT e instalar todos los elementos de señalización preventiva en la zona de los trabajos, de acuerdo con lo establecido en el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte, los cuales deben garantizar la seguridad permanente tanto del personal y de los equipos de construcción, como de los usuarios y transeúntes, durante las veinticuatro horas (24 h) del día.

Para actividades que no impliquen el cierre total de la vía, el interventor debe dar su visto bueno previo a la presentación de un PMT. Para casos que impliquen el cerramiento total de la vía, se deben tramitar los permisos correspondientes ante la autoridad competente y se debe presentar el PMT aprobado por el interventor.

Si los trabajos implican la interrupción de los servicios públicos (energía, cable, gas, teléfono, acueducto, alcantarillado), conductos de combustible, ferrocarriles u otros modos de transporte, el constructor debe coordinar y colaborar con las entidades encargadas del mantenimiento de tales servicios, para que las interrupciones sean mínimas.

Cuando se utilicen explosivos, se debe llevar un registro detallado de su clase, proveedor, existencias y consumo, así como de los demás accesorios requeridos. Estas labores de uso, manejo y almacenamiento deben ser realizadas por personas experimentadas, de manera que se sujeten a las leyes y reglamentos de las entidades que los controlan. Si la demolición aconseja el uso de explosivos, se puede recurrir a técnicas alternativas de fragmentación teniendo en cuenta la normativa vigente referente al uso de explosivos en la construcción; además se deben tener en cuenta todas las consideraciones de seguridad para uso y manejo de estos sistemas de demolición, todo trabajo realizado debe contar con previa aprobación de la interventoría.

Para el uso de explosivos, se deben atender las disposiciones normativas vigentes sobre el uso de explosivos, tales como el Decreto 2535 de 1993 y Decreto 334 de 2002, así como el uso de explosivos a cielo abierto del Decreto 2222 de 1993, y/o o las que le sustituyan, complementen o modifiquen; además de la cartilla de seguridad con explosivos 2019 del Ministerio del Trabajo y buenas prácticas con explosivos para demoliciones.

Al finalizar cada jornada de trabajo no deben quedar elementos de la obra en estado inestable o peligroso; en caso de requerir uso de agua para demolición, se recomienda el uso del agua de lluvia, como también evitar que los residuos y el agua utilizada contaminen los cuerpos hídricos.

Todos los procedimientos aplicados en el desarrollo de los trabajos de demolición y remoción deben ceñirse a las exigencias del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y a las normativas vigentes del orden nacional que rijan sobre las actividades de demolición y remoción.

201.4.2 Demolición total o parcial de estructuras existentes

El constructor debe instalar los elementos de protección e implementar el plan de señalización necesario para adelantar la actividad de forma segura, como establecer estrategias de reutilización o reciclaje de los materiales (residuos de demolición); además, debe reducir el uso de nuevos materiales en futuras construcciones con el fin de prolongar la vida útil del material con otro fin.

201.4.2.1 Demolición de edificaciones

Se refiere al derribo parcial o total de las casas o edificios, incluyendo cimientos y otros bienes que sea necesario eliminar para el desarrollo de los trabajos del proyecto, de acuerdo con lo que indiquen los planos o las especificaciones particulares.

El constructor debe proteger las edificaciones y estructuras vecinas a las que se han de demoler y debe construir las defensas necesarias para su estabilidad y protección; de igual forma, debe tomar las medidas indispensables para la seguridad de personas y especies animales y vegetales que puedan ser afectadas por los trabajos.

Los cimientos de las edificaciones que se vayan a demoler se deben romper y remover, hasta una profundidad mínima de treinta centímetros (30 cm) por debajo de los niveles en que hayan de operar los equipos de compactación en los trabajos de explanación o construcción de bases y estructuras del proyecto. En los sótanos, se debe retirar todo escombro o material objetable, eliminando también los tabiques interiores u otros elementos de la edificación, de acuerdo con las indicaciones del interventor.

Si la edificación tiene instalaciones de servicios públicos, sus acometidas deben ser neutralizadas, en acuerdo con las entidades administradoras o propietarias de estas. Posteriormente, las conexiones, así como los pozos sépticos u obras similares, deben ser removidos y, las zanjas resultantes, se deben rellenar con material adecuado, previamente aprobado por el interventor.

Las cavidades o depresiones resultantes de los trabajos de demolición se deben rellenar hasta el nivel del terreno circundante y si estas se encuentran dentro de los límites de un terraplén o debajo de la subrasante, el relleno se debe compactar de acuerdo con los requisitos aplicables del artículo 220, Terraplenes.

201.4.2.2 Demolición de puentes, alcantarillas y otras estructuras

Cuando estas estructuras se encuentren en servicio para el tránsito público, el constructor no puede proceder a su demolición hasta cuando se hayan efectuado los trabajos necesarios para no interrumpir el tránsito. El diseño y la construcción de las obras provisionales destinadas a mantener el servicio y el tránsito deben ser de cargo y responsabilidad del constructor.

A menos que los documentos del proyecto establezcan otra cosa o que el interventor lo autorice de manera diferente, las infraestructuras existentes deben ser demolidas hasta el fondo natural o lecho del río o quebrada, y las partes que se encuentren fuera de la corriente,

se deben demoler hasta por lo menos treinta centímetros (30 cm) más abajo de la superficie natural del terreno.

Cuando las partes de la estructura existente se encuentren dentro de los límites de construcción de la nueva estructura, dichas partes se deben demoler hasta donde sea necesario, para permitir la construcción de la estructura proyectada.

Los cimientos y otras estructuras subterráneas deben demolerse hasta las siguientes profundidades mínimas:

- En áreas de excavación, un metro (1 m) por debajo de la superficie subrasante proyectada.
- En áreas que se vayan a cubrir con terraplenes de un metro (1 m) o menos, un metro (1 m) por debajo de la subrasante proyectada.
- En áreas que se vayan a cubrir con terraplenes de más de un metro (1 m) de altura, no es necesario demoler la estructura más abajo del nivel del terreno natural, salvo que los documentos del proyecto presenten una indicación diferente.

Cuando se deba demoler parcialmente una estructura que forme parte del proyecto, los trabajos se deben efectuar de tal modo que sea mínimo el daño a la parte de la obra que se vaya a utilizar posteriormente. Los bordes de la parte utilizable de la estructura, deben quedar libres de fragmentos sueltos y listos para empalmar con las ampliaciones proyectadas.

Las demoliciones de estructuras se deben efectuar con anterioridad al comienzo de la nueva obra, salvo que el pliego de condiciones o los documentos del proyecto lo establezcan de otra manera.

201.4.2.3 Demolición de pavimentos rígidos y flexibles, pisos y andenes de concreto y bordillos

Los pavimentos rígidos y flexibles, andenes y bordillos de concreto, bases de concreto y otros elementos cuya demolición esté prevista en los documentos del proyecto, deben ser demolidos con equipos apropiados y removidos en fracciones de tamaño adecuado, para que puedan ser utilizados en la construcción de rellenos o disponer de ellos como sea autorizado por el interventor y la normativa ambiental vigente. En caso de utilizar equipo pesado, el trabajo que se realice cerca a la demolición se debe suspender a una distancia prudente, el constructor debe atender las disposiciones del artículo 102, Aspectos generales de seguridad y salud, con el propósito de no causar daños ni a las estructuras próximas ni al personal de la obra.

En caso de que resulte dañada o removida una superficie mayor que la contemplada, su reposición se debe encontrar a cargo del constructor, cuando se encuentre a entera satisfacción del interventor, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS).

Las áreas donde se remuevan andenes deben ser mantenidas libres de escombros, con el objetivo de que la circulación de los peatones permanezca expedita y segura.

Cuando los productos de demolición se usen en la construcción de rellenos, el tamaño máximo de cualquier fragmento no debe exceder de dos tercios (2/3) del espesor de la

capa en la cual se vaya a colocar. En ningún caso, el volumen de los fragmentos debe exceder los veintiocho decímetros cúbicos (28 dm^3), debiendo ser apilados en los lugares indicados en los planos del proyecto o en las especificaciones particulares, a menos que el interventor autorice otro lugar.

201.4.3 Desmontaje y traslado de estructuras metálicas y alcantarillas

Comprende la identificación, clasificación y marca de todos los elementos de las estructuras metálicas, en concordancia con los planos de taller previamente elaborados por el constructor, para facilitar su utilización posterior, desmontaje y traslado al sitio de almacenamiento o nuevo montaje, de acuerdo con lo indicado por los documentos del proyecto, a satisfacción del interventor.

El retiro de toda alcantarilla que deba ser quitada, se debe hacer cuidadosamente y tomando las precauciones necesarias para evitar que se maltrate o rompa. La alcantarilla que vaya a ser colocada nuevamente, se debe trasladar y almacenar cuando sea necesario, para evitar pérdidas o daños, antes de ser instalada de nuevo. El constructor debe reponer, a su costa, todo tramo de alcantarilla que se extravíe o dañe, si ello obedece a descuido de su parte.

201.4.4 Remoción de especies vegetales

Para el caso de la remoción de especies vegetales y en complemento a lo estimado en el artículo 200, los árboles talados que sean susceptibles de aprovechamiento deben ser despojados de sus ramas y cortados en trozos de tamaño conveniente, los que deben ser apilados debidamente a lo largo de la zona de derecho de vía, disponiéndose posteriormente según lo apruebe el interventor.

El resto de los materiales resultantes de la remoción de especies vegetales se debe retirar del lugar de los trabajos y debe ser transportado y depositado en los lugares establecidos en los documentos del proyecto o señalados por el interventor, donde dichos materiales son enterrados convenientemente, extendiéndolos en capas dispuestas de forma que se reduzca al mínimo la formación de huecos. Cada capa se debe cubrir o mezclar con suelo para rellenar los posibles huecos, y sobre la capa superior se deben extender al menos treinta centímetros (30 cm) de suelo compactado adecuadamente, de tal manera que la acción de los elementos naturales no pueda dejarlos al descubierto. Estos materiales no deben ser extendidos en zonas donde se prevean afluencias apreciables de agua.

En las áreas que vayan a servir de base de terraplenes o estructuras de cualquier tipo, los tocones, raíces de más de diez centímetros (10 cm) de diámetro y demás materiales inconvenientes, se deben eliminar hasta la profundidad que se indique en los documentos del proyecto, la cual no debe ser menor de treinta centímetros (30 cm) por debajo del nivel apoyo de los terraplenes, de las estructuras o de los rellenos de cimentación de estas.

Todos los troncos que estén en la zona del proyecto, pero por fuera de las áreas de excavación, terraplenes o estructuras, se pueden cortar a ras del suelo, si los documentos del proyecto no especifican otra cosa.

Las cavidades o depresiones resultantes de los trabajos de remoción de especies vegetales se deben rellenar hasta el nivel del terreno circundante y, si estas se encuentran dentro de los límites de un terraplén o debajo de la subrasante, el relleno se debe compactar de acuerdo con los requisitos aplicables del artículo 220.

El trabajo de trasplante de especies vegetales que deban ser conservadas (que incluye remoción, traslado y plantación en otro sitio) debe ser cubierto por el artículo 203.

201.4.5 Remoción de cercas de alambre

El constructor debe remover, trasladar y reinstalar las cercas de alambre en los nuevos emplazamientos, cuando ello se considere en los documentos del proyecto o lo señale el interventor. El traslado se debe realizar evitando maltratos innecesarios a las partes que sean manipuladas o transportadas. Si la reinstalación no está prevista, los elementos removidos se deben ubicar en los sitios que defina el interventor.

El relleno de los espacios dejados por los postes removidos y que no sean ocupados por las obras proyectadas, se debe realizar con un material similar al circundante. En caso de ser reinstaladas las cercas de alambre, estas deben de cumplir con lo especificado en el artículo 800, Cercas de Alambre, de estas especificaciones.

201.4.6 Remoción de obstáculos

Según se muestre en los planos o en las especificaciones particulares, el constructor debe eliminar, retirar o recolocar obstáculos individuales tales como postes de kilometraje, señales, monumentos y otros. Cuando estos no se deban remover, el constructor debe tener especial cuidado, a efecto de protegerlos contra cualquier daño y proporcionar e instalar las defensas apropiadas que se indiquen en los documentos citados o sean autorizadas por el interventor.

201.4.7 Remoción de ductos de servicios existentes

El constructor debe retirar, cambiar, restaurar o proteger contra cualquier daño, las conducciones de servicios públicos o privados existentes según se contemple en los planos del proyecto o las especificaciones particulares.

Ningún retiro, cambio o restauración se debe efectuar sin la autorización escrita de la entidad prestadora de servicios afectada y se deben seguir las indicaciones de esta con especial cuidado y tomando todas las precauciones necesarias para que el servicio no se interrumpa o, si ello es inevitable, reduciendo la interrupción al mínimo tiempo necesario para realizar el trabajo, a efecto de causar las menores molestias a los usuarios.

Cuando el trabajo consista en protección, el constructor debe proporcionar e instalar las defensas apropiadas que se indiquen en los planos o en las especificaciones particulares o que sean autorizadas por el interventor.

Cuando la entidad afectada estime que debido al estado en el cual se encuentra el ducto, resulta imposible obtener partes recuperables del mismo, el constructor debe proceder a su demolición.

201.4.8 Traslado de postes y torres

Cuando los documentos del proyecto lo prevean y su traslado esté debidamente aprobado por la entidad propietaria o concesionaria de servicios públicos, el constructor puede proceder a ejecutar la remoción, traslado y reinstalación o disposición de postes y torres de servicio eléctrico, telefónico y otros existentes que no sean removidos o trasladados directamente por la entidad de servicios públicos propietaria o concesionaria de los mismos. El constructor debe gestionar todos los permisos para la ejecución de esta labor ante la entidad competente.

Esta actividad debe incluir, también, la demolición de los soportes de dichos elementos que se convierten en obstáculos para las obras del proyecto, así como la remoción, transporte y disposición, en sitios de desecho definidos en el proyecto o autorizados por el interventor, de todos los postes y elementos de estos que no sean reutilizables.

El constructor debe solicitar al propietario o concesionario correspondiente, la realización de las modificaciones necesarias de las redes con la debida anticipación. Los traslados de las redes deben ser ejecutados directamente por el propietario o por el concesionario de la instalación o por quien él faculte de manera expresa, con la debida autorización del interventor.

201.4.9 Remoción de rieles

Cuando los documentos del proyecto lo prevean y su remoción esté debidamente aprobada por la entidad afectada, el constructor debe retirar los rieles en la longitud autorizada, trasladarlos y depositarlos en el sitio que ordene dicha entidad.

201.4.10 Remoción de defensas metálicas y barreras de seguridad de hormigón

Antes de iniciar obras en un sector de vía que se encuentre en servicio, se debe verificar la señalización y la implementación del plan estratégico de seguridad vial del área de seguridad y salud en el trabajo, según lo dispuesto en el ordinal 201.4.1 de este artículo, también debe proceder a retirar todas las defensas metálicas y barreras de seguridad existentes en las áreas afectadas.

La remoción de estos elementos se debe realizar empleando procedimientos que eviten todo daño innecesario o no previsto. Las defensas se deben desarmar cuidadosamente y, a continuación, el constructor debe proceder a excavar alrededor de los postes que las sustentaban, para poder retirarlos sin producirles ningún daño.

Si el proyecto contempla la rehabilitación y reinstalación de los elementos retirados, es responsabilidad del constructor su traslado, almacenamiento, limpieza y cuidado hasta el momento de su nueva reinstalación, actividades cuyo costo se debe encontrar incluido dentro del precio unitario de esta partida de trabajo. Si la reinstalación no está prevista, el constructor debe trasladar y almacenar los elementos donde lo señalen los documentos del proyecto o el interventor.

Todos los orificios dejados por las remociones que no vayan a ser ocupados por las obras del proyecto, deben ser rellenados por el constructor con un material igual al circundante.

201.4.11 Disposición de los materiales

Por aprobación del interventor y de acuerdo con sus instrucciones al respecto, los materiales de las edificaciones o estructuras demolidas, que sean aptos y necesarios para rellenar y emparejar la zona de demolición u otras zonas laterales del proyecto, se deben utilizar para ese fin. Salvo que los documentos del proyecto contemplen lo contrario, todos los demás materiales provenientes de estructuras demolidas deben quedar de propiedad del constructor, quien debe trasladarlos o disponerlos fuera de la zona de la vía, en un lapso no mayor a veinticuatro horas (24 h) después de efectuada la demolición, con procedimientos adecuados y en los sitios aprobados por el interventor.

Los elementos que deban ser almacenados según lo establezcan los planos o las especificaciones particulares, se deben trasladar al sitio establecido en ellos y se deben disponer de la manera que resulte apropiada para el interventor.

Los elementos que deban ser relocalizados se deben trasladar al sitio de nueva ubicación que indiquen los planos, donde deben ser montados de manera que se garantice su correcto funcionamiento.

201.4.12 Limitaciones en la ejecución

Los trabajos de demolición y remoción se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y operación de un equipo de iluminación artificial que resulte satisfactorio para aquel y atendiendo las normativas referidas en el ordinal 201.4.1 de este artículo. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

201.4.13 Manejo ambiental

En adición a los aspectos generales dispuestos en el artículo 106 de estas especificaciones, todas las labores requeridas para el demolición y remoción se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en los estudios y evaluaciones ambientales del proyecto, así como las normas y disposiciones vigentes sobre conservación del ambiente, los recursos naturales y protección de la comunidad, y los definidos en el plan de inspección medición y ensayo aprobado por interventoría.

El constructor debe cumplir las normas legales vigentes, respecto del manejo, transporte y disposición final de los escombros, generados en las actividades de construcción de carreteras. En este sentido, debe tener presente la Resolución 472 del 2017 “En la gestión integral de los RCD se deberá priorizar las actividades de prevención o reducción de la generación de RCD, como segunda alternativa se implementará el aprovechamiento y como última opción, se realizará la disposición final de RCD”, o las que le sustituyan, complementen o modifiquen.

201.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

201.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Comprobar el estado y funcionamiento del equipo empleado en la ejecución de los trabajos.
- Verificar la eficiencia y la seguridad de los procedimientos de ejecución de los trabajos.
- Vigilar el cumplimiento de los programas de trabajo.

El interventor debe verificar que el constructor disponga de todos los permisos requeridos. El constructor debe cumplir las normas legales vigentes, respecto del manejo, transporte y disposición final de los escombros, generados en las actividades de construcción de carreteras. En este sentido, debe tener presente la Resolución 472 del 2017, en relación a la gestión integral de los RCD, o las que le sustituyan, complementen o modifiquen.

El interventor se debe encargar de identificar todos los elementos que deban ser demolidos o removidos; así mismo, debe señalar los elementos que deban permanecer en el sitio, así como debe ordenar las medidas para evitar que ellos sean dañados.

El interventor debe medir las áreas en las que se ejecuten los trabajos en acuerdo con esta especificación y el plan de calidad, medición y ensayo. El plan de calidad y el plan de inspección, medición y ensayo, son de obligatorio cumplimiento tal como se encuentra expresado en el numeral 103.2 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor.

201.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

El interventor debe considerar terminados los trabajos de demolición y remoción cuando la zona donde ellos se hayan realizado quede despejada, de manera que permita continuar con las otras actividades programadas, y los materiales sobrantes hayan sido adecuadamente dispuestos de acuerdo con lo que establece la presente especificación.

En general, en caso de que por el uso de procedimientos inadecuados resulte dañado o removido cualquier elemento que no está contemplado en el proyecto, el costo de la reposición de este se debe encontrar a cargo del constructor, a entera satisfacción del interventor.

201.6 Medida

La medida para la demolición y remoción, ejecutada de acuerdo con los documentos del proyecto, la presente especificación y las instrucciones del interventor, se debe hacer de acuerdo con las siguientes modalidades:

- Global (gl), en cuyo caso no se deben hacer mediciones.
- Por unidad completa (u), cuando se trate de demolición de obstáculos, edificaciones, puentes, alcantarillas y otras estructuras o remoción de estructuras metálicas, especies vegetales, obstáculos, postes y torres.
- Por kilogramo (kg) aproximado al entero, en cuanto se trate del desmontaje y traslado de estructuras metálicas.

- Por metro cúbico (m^3), aproximado al entero, en el caso de demolición de estructuras, cuando su tipo permita la cuantificación en esa unidad.
- Por metro cuadrado (m^2), aproximado al entero, cuando se refiera a demolición de pavimentos rígidos, andenes de concreto y pisos, en caso de espesores invariables que permitan su cuantificación. En este caso, la medida de la estructura se debe efectuar antes de destruirla.
- Por metro (m), aproximado al entero, cuando se trate de la demolición de bordillos y del retiro de estructuras tales como alcantarillas, cercas de alambre, ductos de servicios existentes, defensas metálicas, barreras de seguridad, rieles y otros obstáculos que sean susceptibles de ser medidos por su longitud.

El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

201.7 Forma de pago

El pago se debe hacer a los precios unitarios respectivos, estipulados en el contrato según la unidad de medida, por todo trabajo ejecutado satisfactoriamente de acuerdo con la presente especificación y aceptado por el interventor.

El precio unitario debe cubrir todos los costos por concepto de mano de obra, explosivos, asesoría, equipo, herramientas, materiales, apuntalamientos, andamios, obras para la protección de terceros; las operaciones necesarias para efectuar las demoliciones y para hacer los desmontajes, planos, separación de materiales aprovechables, cargue y transporte de estos al lugar de depósito, descargue y almacenamiento; remoción de especies vegetales; traslado y reinstalación de obstáculos y cercas de alambre; traslado, cambio, restauración o demolición de conducciones de servicios existentes; cargue de materiales desechables, transporte y descargue en el sitio de disposición final, de acuerdo con lo señalado por el interventor.

El precio unitario debe incluir, además, la protección de aquellos elementos que, aunque se encuentren en la zona de los trabajos, no deban ser removidos.

Cuando aplique, dentro de los análisis de precios unitarios se deben incluir los costos inherentes a los derechos de disposición y/o conformación de materiales sobrantes, incluyendo los costos inherentes a obras requeridas en los sitios de disposición.

Cuando la unidad de medida de la demolición de estructuras sea el metro cúbico (m^3), el precio unitario debe considerar que el transporte del material proveniente de la demolición sea en condición de bloques sueltos.

La reinstalación de estructuras metálicas y tubos de alcantarillas no se encuentran cubiertas por el presente artículo.

El precio unitario del traslado de postes o torres, debe incorporar los costos de las gestiones ante los propietarios o concesionarios de las redes de servicios correspondientes.

El constructor debe considerar, en relación con los explosivos y/o sistemas de demolición no fragmentantes, todos los costos que implican su adquisición, transporte, escoltas, almace-

namiento, vigilancia, manejo y control, hasta el sitio de utilización. En los casos en que no se autorice el uso de explosivos para el precio unitario se debe considerar el suministro y aplicación de los productos alternativos.

El precio unitario debe abarcar, además, los costos por concepto de la excavación para la demolición y remoción y por el suministro, conformación y compactación del material para relleno de todas las cavidades resultantes; la señalización temporal requerida y, en general, todos los costos relacionados con la correcta ejecución de los trabajos especificados.

El precio unitario debe cubrir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

201.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
201.1	Demolición de edificaciones	Global (gl)
201.2	Demolición de estructuras	Global (gl)
201.3	Demolición de pavimentos rígidos y flexibles, pisos, andenes y bordillos de concreto	Global (gl)
201.4	Demolición de obstáculos	Global (gl)
201.5	Demolición de edificaciones	Unidad (u)
201.6	Demolición de estructuras	Unidad (u)
201.7	Demolición de estructuras	Metro cúbico (m3)
201.8	Demolición de pavimentos rígidos y flexibles	Metro cuadrado (m2)
201.9	Demolición de pisos y andenes de concreto	Metro cuadrado (m2)
201.10	Demolición de bordillos de concreto	Metro (m)
201.11	Desmontaje y traslado de estructuras metálicas	Kilogramo (kg)
201.12	Remoción de especies vegetales	Unidad (u)
201.13	Remoción de obstáculos (Nota)	Unidad (u)
201.14	Remoción de ductos de servicios existentes	Metro (m)
201.15	Remoción de alcantarillas	Metro (m)
201.16	Remoción de cercas de alambre	Metro (m)
201.17	Traslado de postes	Unidad (u)
201.18	Traslado de torres	Unidad (u)
201.19	Remoción de rieles	Metro (m)
201.20	Remoción de defensas metálicas	Metro (m)
201.21	Remoción de barreras de seguridad	Metro (m)

Nota: se debe hacer un ítem de pago para cada tipo de obstáculo.

Trasplante de árboles

Artículo 203 – 22

203.1 Descripción

Este trabajo consiste en la remoción de árboles del sitio en que están arraigados, su traslado y su plantación en otro sitio, de acuerdo con lo indicado en los documentos del proyecto o lo determinado por el interventor. El trabajo debe incluir la conservación de los árboles trasplantados, hasta el recibo definitivo de los trabajos, y que cumplan lo establecido en la normativa específica vigente para el país. Para efectos de esta especificación, se establecen cuatro (4) denominaciones por tipo de árbol en función de sus dimensiones, como se indica en la Tabla 203 – 1.

Si la denominación por altura resulta diferente a la denominación por diámetro de copa, se debe aplicar la menor denominación de las dos. Así mismo, se estipulan tres (3) tipos de traslados en función de la distancia de movilización, como se indica en la Tabla 203 – 2.

Tabla 203 – 1. Tipos de árbol para su trasplante en función de su tamaño

Denominación	Altura (m)	Diámetro de copa (m)
1 – Árbol tipo I	> 20,0	> 10,0
2 – Árbol tipo II	10,1 a 20,0	5,1 a 10,0
3 – Árbol tipo III	5,0 a 10,0	2,0 a 5,0
4 – Árbol tipo IV	< 5,0	< 2,0

Tabla 203 – 2. Tipos de traslado para trasplante de árboles en función de la distancia

Tipo de traslado	Distancia de traslado (m)
Traslado corto	≤ 15,0
Traslado largo	15,1 a 100,0
Traslado especial	> 100,0

Previo al inicio de las actividades propias del trasplante de los árboles, es responsabilidad del constructor informar previamente a la comunidad; así también, debe realizar la señalización y manejo de tránsito, según lo establecido por el capítulo 4 del Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte, todo en compañía de la autoridad competente.

Antes de iniciar cualquier operación de compensación por trasplante de árboles y, previa aprobación por parte del interventor, el contratista debe certificar que se han completado las siguientes actividades:

- La trazabilidad de los límites de limpieza de vegetación se ha realizado de acuerdo con la especificación ambiental.
- El área de demolición de vegetación fijada no excede los límites autorizados.
- Se han conservado árboles maduros en la medida de lo posible.
- La vinculación de áreas ambientales especiales y la definición de los lugares de eliminación de desechos, se ha llevado a cabo de acuerdo con la Resolución 472 de 2017 del Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, o las normas que la sustituyan.
- Los datos del área de limpieza de vegetación vinculada y los datos del área ambiental especial vinculada, se han enviado al interventor para su aprobación al menos cinco días (5 d) antes de que comience la limpieza.
- Todo el control de malezas, previo al despeje, se debe realizar de acuerdo con la especificación ambiental (artículo 106, Aspectos ambientales).
- Todos los controles operativos de fauna, previos al desmonte, se han llevado a cabo de acuerdo con las especificaciones.
- Todos los controles operativos de muerte regresiva de especies vegetales, previos al despeje se han ejecutado de acuerdo con las especificaciones.
- Las ubicaciones de los elementos a demoler se han marcado en el sitio.
- La ubicación de las alcantarillas se ha verificado.
- Se ha identificado la autorización requerida dentro de los tres metros (3 m) (o la distancia designada por el proveedor de servicios) de cualquier servicio.
- Toda la maquinaria por utilizar debe cumplir con los controles seguridad (artículo 102, Aspectos generales de seguridad y salud) y los lineamientos ambientales para la construcción de infraestructura del Programa Nacional de Transporte Urbano, emitidos por el Ministerio de Transporte (Plan de manejo forestal, silvicultura y paisajístico, entre otros).

203.2 Materiales

203.2.1 Material para relleno de las excavaciones

203.2.1.1 Excavación resultante de la remoción del árbol

El material para relleno de la excavación resultante de la remoción del árbol debe ser el especificado en los documentos del proyecto; si los documentos del proyecto no lo determinan, debe cumplir con los requisitos de suelos tolerables, según el artículo 220, Terraplenes.

203.2.1.2 Excavación en el nuevo sitio de la plantación del árbol

El material para el relleno de las excavaciones realizadas para el trasplante de árboles debe cumplir con las indicaciones de los documentos del proyecto; de igual forma, puede ser el material de excavación, o tierra orgánica suministrada para la plantación del árbol, o una mezcla de ambos (tierra orgánica – tierra de

excavación). En cualquiera de los casos, los documentos pueden indicar la necesidad de añadir fertilizantes, abonos (humus de lombriz de tierra, cascarilla de arroz u otros), insecticidas u otros componentes al material de relleno.

La tierra orgánica debe provenir de áreas localizadas fuera del proyecto o, preferiblemente, del descapote del proyecto. Debe estar conformada por un suelo de origen superficial, con contenido orgánico, libre de piedras, ramas, restos vegetales de gran calibre, escombros, desperdicios no degradables y cualquier otro elemento extraño y nocivo para los fines de la plantación de árboles trasladados.

203.2.2 Fertilizantes, abonos e insecticidas

Se deben emplear los fertilizantes, abonos e insecticidas adecuados para cada especie vegetal, según lo establezcan los documentos técnicos del proyecto. Los fertilizantes pueden ser órgano–minerales o minerales, y deben aportar los macronutrientes y micronutrientes esenciales para un buen establecimiento y óptimo desarrollo de los individuos.

203.2.3 Cicatrizantes

Se deben usar los cicatrizantes hormonales indicados en los documentos técnicos del proyecto; en general, los cicatrizantes deben tener como base un fungicida que sea impermeable al agua y permeable al aire.

203.2.4 Tutores y cercos

Los tutores y cercos que se requieran deben cumplir con los requisitos establecidos en los documentos del proyecto.

203.2.5 Otros insumos

Se pueden requerir otros insumos como hormonas para enraizar, hidro-retenedores, etc., que deben cumplir con los requerimientos establecidos en los documentos del proyecto.

203.2.6 Agua para riego

El agua debe estar limpia, no necesariamente potable, sin elementos extraños ni suciedad evidente, y libre de contaminaciones químicas.

203.3 Equipo

El constructor debe disponer de los equipos y herramientas necesarios para asegurar que los trabajos de trasplante de árboles tengan la calidad y la seguridad requeridas y se garantice el cumplimiento de su programa de ejecución.

Dependiendo del tamaño del árbol y de las condiciones del traslado, se pueden requerir equipos para manejo de alturas, camiones grúa, cama baja motorizada y vehículos escolta para el transporte, entre otros.

El constructor debe disponer de herramientas como escaleras, tijeras de podar, serruchos, motosierra si es el caso, palas, picas, rastrillos, azadones, horcas, ganchos para formar surcos, y todos los demás elementos que sean necesarios para ejecutar correctamente los trabajos especificados.

203.4 Ejecución de los trabajos

203.4.1 Aspectos generales

La ejecución de los trabajos de trasplante de árboles se debe hacer siguiendo las indicacio-

nes y procedimientos definidos de los documentos del proyecto y aprobados del plan de ejecución, teniendo en cuenta los lineamientos establecidos en la Guía de Manejo Ambiental del Proyectos de Infraestructura – Sector Vial, del Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), y por entidades especializadas. En caso de requerirse, se tienen en cuenta los respectivos permisos de aprovechamiento forestal y proceder ante la respectiva autoridad ambiental regional, según las disposiciones de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA).

Es recomendable que el árbol a trasplantar, para efecto de vitalidad, tenga un equilibrio constante entre el tamaño de la raíz, su copa y el diámetro de su tallo.

203.4.2 Supervisión técnica

Para la planeación y dirección de los trabajos de trasplante de árboles, el constructor debe tener dentro de su equipo un profesional del área forestal con experiencia en este tipo de trabajos.

El plan de ejecución de trasplante de árboles y todos los informes de seguimiento de estos trabajos, deben ser firmados por este profesional, junto con el director de obra.

203.4.3 Planeación y seguimiento

Antes de iniciar los trabajos de trasplante, el constructor debe presentar el plan de ejecución de los trabajos. Este plan debe incluir, como mínimo:

- Antecedentes.
- Justificación.
- Localización.
- Inventario de árboles por trasplantar.
- Cronograma de actividades.
- Aspectos técnicos y procedimiento detallado de la ejecución del trabajo.
- Maquinaria especializada, si es el caso.
- Herramientas.
- Insumos.

Antes de iniciar los trabajos de trasplante de árboles, el plan de ejecución debe contar con la aprobación del interventor y de la autoridad ambiental competente. Este debe incluir el plan de establecimiento y mantenimiento, y estar planteado en general para un tiempo mínimo de tres (3) años, si los documentos del proyecto no disponen algo diferente.

También, debe incluir un sistema de evaluación y seguimiento que permita verificar el desarrollo de la actividad en cada una de las fases: preparación, movilización y establecimiento.

Se deben realizar visitas que, en lo posible, cuenten con la participación de la autoridad ambiental competente; el constructor debe elaborar informes de estas visitas que incluyan fichas de seguimiento con el respectivo registro fotográfico. A no ser que los documentos del proyecto indiquen otra cosa, los informes deben ser de carácter bimestral durante el primer año, o hasta la terminación del proyecto (lo que ocurra primero). Cuando el tiempo transcurrido a partir del trasplante del último árbol del proyecto sea mayor de un (1) año y el proyecto esté todavía en ejecución, los informes de seguimiento pueden ser semestrales. En estos informes se debe evaluar la adaptación de los árboles trasplantados para tomar las acciones preventivas y/o de control para garantizar su supervivencia, si se requiere.

A la terminación del proyecto, el constructor debe presentar un informe final de la actividad de trasplante de árboles. El informe debe incluir la versión final de las fichas de seguimiento; la ficha de cada individuo debe indicar el tiempo transcurrido desde el momento de su plantación y el estado de avance en que se encuentra, en el momento de la entrega final y el plan de mantenimiento establecido para el proyecto.

203.4.4 Remoción

Antes de remover un árbol, se requiere normalmente efectuar una poda de sus ramas, la cual se debe hacer según lo dispuesto en el numeral 802.4.4 del artículo 802, Poda de árboles. Posteriormente, se debe excavar alrededor del tronco para conformar un bloque firme de raíces y tierra que se debe remover con el árbol; la excavación debe ir acompañada del corte de las raíces que se van encontrando.

El tamaño del bloque depende de las dimensiones del sistema de raíces. La excavación del bloque y corte de las raíces se debe hacer de manera que no se presente un desgarramiento de las raíces ni se deshaga el bloque; se debe aplicar un cicatrizante a las raíces que se cortan. Una vez conformado el bloque y antes de iniciar el retiro del árbol, el bloque de raíces y tierra debe envolverse en una tela de fique u otro material biodegradable aprobado; esta tela se debe amarrar firmemente para mantener la integridad del bloque.

Para retirar el árbol, se deben amarrar firmemente el tronco y el bloque de raíces y tierra al equipo con que se va a izar. Se debe proteger el tronco del árbol en el sitio de amarre para la izada, con el fin de prevenir daños en el mismo. Una vez sujeto el árbol al equipo, este se debe inclinar suavemente de lado a lado para romper las raíces que aún lo sujetan a la tierra. La izada se debe realizar lentamente; a medida que el bloque va saliendo del terreno, se debe ir completando su envoltura con la tela biodegradable en la parte inferior. Una vez retirado el árbol, se debe rellenar el hueco resultante en el terreno con el material indicado en el numeral 203.2.1.1 y en el artículo 220, y se debe compactar hasta obtener la densidad especificada en los documentos del proyecto. Si los documentos del proyecto no especifican la densidad mínima, la compactación se debe llevar hasta alcanzar una densidad no inferior al noventa por ciento (90 %) de la densidad máxima correspondiente al ensayo de compactación normal, norma INV E-141 (ensayo normal de compactación).

203.4.5 Traslado

Si la distancia es corta, el traslado se puede efectuar con la misma máquina de izar; en caso contrario, el traslado se debe efectuar en volqueta, cama-baja u otro equipo adecuado. Durante el traslado, el árbol se debe sujetar adecuadamente para evitar su deterioro; de igual forma, para el traslado se debe realizar la respectiva señalización y manejo de tránsito, contemplada en un Plan de Manejo de Tránsito (PMT) aprobada por la interventoría y bajo el acompañamiento de la autoridad competente.

Para poder iniciar la izada y traslado del árbol, se debe tener lista la excavación en el sitio donde debe ser plantado.

El constructor debe contar con un PMT e instalar todos los elementos de señalización preventiva en la zona de los trabajos, de acuerdo con lo establecido en el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de

Transporte, los cuales deben garantizar la seguridad permanente tanto del personal y de los equipos de construcción, como de los usuarios y transeúntes, durante las veinticuatro horas (24 h) del día.

Para actividades que no impliquen el cierre total de la vía, el interventor debe dar su visto bueno previo a la presentación de un PMT. Para casos que impliquen el cerramiento total de la vía, se deben tramitar los permisos correspondientes ante la autoridad competente y se debe presentar el PMT aprobado por el interventor.

Tabla 203 – 3. Tamaño mínimo de la excavación para trasplante de árboles

Características del árbol	Diámetro (en exceso del diámetro del bloque)	Profundidad (en exceso de la profundidad del bloque)
Altura		
- Hasta 1,5 m	-	0,2 m
- Más de 1,5 m	-	0,3 m
Diámetro del bloque		
- Hasta 1 m	0,5 m	-
- Más de 1 m	50 % más que el diámetro del bloque	-

203.4.6 Plantación

La excavación para la plantación del árbol debe tener el tamaño adecuado para alojar el bloque de raíces y tierra. En general, la excavación debe tener las dimensiones mínimas indicadas en la Tabla 203 – 3, salvo que los documentos del proyecto indiquen otra cosa.

En todo caso, se deben tener en cuenta las dimensiones de la excavación necesarias para permitir la colocación adecuada del árbol; el suelo que queda en el fondo y a los lados de la excavación, debe aflojarse en un espesor de quince centímetros (15 cm) antes de colocar el árbol.

El perímetro del bloque se debe rellenar con tierra preparada con abono orgánico, la cual se debe compactar levemente.

El árbol plantado debe quedar estable y en posición vertical; su nivel con respecto del terreno debe ser igual al que tenía en su posición original. Si es necesario, se deben colocar estacas y elementos de sujeción temporal para corregir y mantener la posición adecuada del árbol.

203.4.7 Fertilización

Se debe considerar al menos una fertilización principal y una de mantenimiento. La fertilización principal se debe realizar junto con la plantación del árbol. Los materiales y dosificaciones deben especificarse en los documentos del proyecto. Es importante tener presente para la fertilidad del suelo, características como el pH del suelo y la edad del árbol.

Los niveles anteriores deben ser considerados como mínimos. Las fertilizaciones se pueden

realizar en conjunto con los riegos de agua a las protecciones instaladas.

203.4.8 Riego y conservación

El riego debe ser aplicado a partir del día siguiente de la plantación y no debe haber límite en cuanto a su frecuencia. De preferencia, debe ser temprano en la mañana y al atardecer. La frecuencia de los riegos depende tanto de las condiciones climáticas como de las especies sembradas y debe ser suficiente para asegurar, junto con las fertilizaciones, que durante todo el proceso se presenten los niveles adecuados de desarrollo de los árboles.

Adicionalmente, se debe requerir de poda en caso de que la vegetación sobrepase la corona de la vía, obstruya algún dispositivo de drenaje o impida una adecuada visibilidad en la vía. Esta actividad se puede realizar siempre que sea necesario, a criterio del interventor, y en forma permanente hasta el recibo definitivo de los trabajos.

203.4.9 Limitaciones en la ejecución

Los trabajos se deben realizar en condiciones de luz solar.

203.4.10 Manejo ambiental

En adición a los elementos generales dispuestos en el artículo 106, de estas especificaciones, todas las labores requeridas para el trasplante de árboles se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en los estudios y evaluaciones ambientales del proyecto, al igual que las normas y disposiciones vigentes sobre conservación del ambiente, los recursos naturales y protección de la comunidad. Así, todas las determinaciones referentes a los trabajos de trasplante de árboles deben ser tomadas considerando la protección del medio ambiente y las disposiciones vigentes sobre el particular.

Se deben haber adelantado previamente los trámites requeridos ante la autoridad ambiental competente para obtener los respectivos permisos; también, que la actividad se adelante bajo las directrices ambientales que, para estos fines, se encuentren vigentes.

El constructor debe gestionar ante la autoridad ambiental competente estos permisos. La autoridad ambiental después de visitar, analizar particularidades y conceptuar, debe generar el permiso (resolución) en el que se especifican las medidas a emprender de corte, poda, traslado, erradicación de acuerdo con la especificidad del proyecto. Se debe solicitar además un Plan de Compensación Forestal que debe ser aprobado por la misma autoridad, del cual debe ser vigilante la interventoría.

En caso de requerir hacer uso de agua, se recomienda que sea agua lluvia y que el pH sea normal entre cinco y cinco coma cinco (5 – 5,5). En caso de ser transportada debe ser limpia, no necesariamente potable y que cumpla con el rango referido para el riego. Se debe revisar que el material de relleno sea biodegradable y cumpla con el Análisis del Ciclo de Vida (ACV).

Se sugiere evitar el uso de insecticidas. Estos son compuestos químicos que pueden afectar a nivel ambiental, con efectos en la flora, fauna, el suelo, el sistema hídrico y la atmósfera.

203.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

203.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Verificar que los árboles por trasplantar correspondan al inventario respectivo y que la localización final de plantación sea la especificada.
- Comprobar que los materiales cumplan los requisitos de calidad exigidos en el numeral 203.2.
- Vigilar que el constructor cumpla con el plan de establecimiento y mantenimiento aprobado hasta la terminación del proyecto.
- Evaluar periódicamente el porcentaje de prendimiento y tomar las acciones preventivas y/o de control para garantizar la supervivencia de los individuos.
- Verificar el cumplimiento de todas las medidas ambientales (artículo 106) y de seguridad (artículo 102), requeridas.
- Vigilar que el constructor efectúe la conservación adecuada de los árboles sembrados, hasta su recibo definitivo.

El interventor se debe encargar de medir las áreas en las que se ejecuten los trabajos en acuerdo con esta especificación y el plan de calidad, medición y ensayo. El plan de calidad y el plan de inspección, medición y ensayo, deben ser de obligatorio cumplimiento tal como se encuentra expresado en el numeral 103.2 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor.

203.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

Los trabajos de trasplante de árboles se deben recibir si los árboles han prendido adecuadamente, si se ha realizado de forma apropiada el plan de ejecución aprobado, si los insumos empleados cumplen los requisitos de calidad correspondientes y si el área de plantación se encuentra bien mantenida y libre del material sobrante. En caso necesario, el constructor debe presentar al interventor la certificación expedida por parte de la autoridad ambiental competente, que acredite el cumplimiento de la obligación que hubiere impuesto para la plantación de árboles en el proyecto.

203.6 Medida

La unidad de medida del trasplante de árboles debe ser la unidad (u) de árbol trasplantado de acuerdo con los documentos del proyecto y las indicaciones del interventor, a plena satisfacción de este.

203.7 Forma de pago

El pago del trasplante de árboles se debe hacer al respectivo precio unitario del contrato, por todo trabajo ejecutado de acuerdo con esta especificación y aceptado a satisfacción por el interventor. A no ser que los documentos del contrato indiquen otra cosa, el pago se debe llevar a cabo de la siguiente manera, para cada árbol trasplantado:

- El cincuenta por ciento (50 %) del precio unitario se debe pagar cuando el árbol haya sido plantado en su ubicación final.
- El cincuenta por ciento (50 %) restante del precio unitario, se debe cancelar después

de la inspección final para recibo definitivo del proyecto.

El precio unitario debe incluir todos los costos de preparación del terreno; el suministro en el lugar y la colocación de todos los materiales requeridos; la poda previa; la excavación, el retiro del árbol de su sitio original y el relleno de la excavación resultante; la excavación (ahoyado) en el nuevo sitio de plantación; el traslado; la plantación; el relleno de la excavación; los tutores y cercos; el riego y poda periódicos de los árboles trasplantados, si se requieren; el suministro y aplicación de tierra, fertilizantes, insecticidas y demás materiales necesarios para la conservación de los árboles hasta su recibo definitivo; los desperdicios y el manejo adecuado de ellos y, en general, todo costo adicional relacionado con la correcta ejecución de los trabajos especificados.

El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

203.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
203.1	Trasplante de árboles tipo I, traslado corto	Unidad (u)
203.2	Trasplante de árboles tipo I, traslado largo	Unidad (u)
203.3	Trasplante de árboles tipo I, traslado especial	Unidad (u)
203.4	Trasplante de árboles tipo II, traslado corto	Unidad (u)
203.5	Trasplante de árboles tipo II, traslado largo	Unidad (u)
203.6	Trasplante de árboles tipo II, traslado especial	Unidad (u)
203.7	Trasplante de árboles tipo III, traslado corto	Unidad (u)
203.8	Trasplante de árboles tipo III, traslado largo	Unidad (u)
203.9	Trasplante de árboles tipo III, traslado especial	Unidad (u)
203.10	Trasplante de árboles tipo IV, traslado corto	Unidad (u)
203.11	Trasplante de árboles tipo IV, traslado largo	Unidad (u)
203.12	Trasplante de árboles tipo IV, traslado especial	Unidad (u)

Excavación de la explanación, canales y préstamos

Artículo 210 – 22

210.1 Descripción

210.1.1 Generalidades

Este trabajo consiste en el conjunto de las actividades de excavar, remover, cargar, transportar hasta el límite de acarreo libre y colocar en los sitios de disposición o desecho, los materiales provenientes de los cortes requeridos para la explanación, los canales y los préstamos indicados en los documentos del proyecto.

Además, comprende la excavación y la remoción de la capa vegetal o el descapote y de otros materiales blandos, orgánicos y objetables, en las áreas donde se van a realizar las excavaciones de la explanación y los terraplenes.

210.1.2 Tipos de excavación

Los procedimientos establecidos en este artículo son aplicables a los siguientes tipos de excavación, de conformidad con las definiciones establecidas en el numeral 210.9.

- Excavación de la explanación.
- Excavación de canales.
- Excavación en zonas de préstamo.

210.1.3 Clasificación

210.1.3.1 Excavación sin clasificar

Se refiere a los trabajos de excavación de cualquier material, sin importar su naturaleza.

210.1.3.2 Excavación clasificada

210.1.3.2.1 Excavación en roca

Comprende la excavación de masas de rocas fuertemente litificadas que, debido a su buena cementación o alta consolidación, requieren el empleo sistemático de explosivos.

También, comprende la excavación de bloques con volumen individual mayor de un metro cúbico (1 m^3), procedentes de macizos alterados o de masas transportadas o acumuladas por acción natural, que para su fragmentación requieran el uso de explosivos. Se acepta como criterio para determinar el horizonte de roca cuando el esfuerzo a la compresión uniaxial del horizonte sea mayor a diez megapascales (10 MPa), según lo establece la *International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering* (1984).

210.1.3.2.2 Excavación en material común

Comprende la excavación de materiales no cubiertos por el numeral 210.1.3.2.1.

210.1.3.2.3 Método alternativo para determinar el tipo de material excavado

Se establecen dos criterios alternativos para la estimación del material excavado:

- Cuando la dureza y el fracturamiento del material no permitan efectuar faenas de remoción con equipos mecánicos. Esta dificultad se debe determinar directamente, cuando una máquina del tipo buldócer con una potencia mínima de cuatrocientos diez caballos de fuerza (410 HP) y masa mínima de cuarenta y ocho mil quinientos kilogramos (48 500 kg) o una retroexcavadora con una potencia mínima de doscientos diecisiete caballos de fuerza (217 HP) y masa mínima de treinta mil doscientos kilogramos (30 200 kg), empleados a su máxima potencia sean incapaces de remover el material. La utilización de uno u otro equipo, depende del espacio disponible para operar y de la forma de la superficie de la roca; siempre se prefiere el buldócer. La operación debe ser efectuada por los dientes de la retroexcavadora o el ripper del buldócer en presencia del interventor. Una vez comprobado por las partes lo expuesto, se procede a dejar constancia de la situación en el libro de obra (bitácora).
- Cuando las mediciones de velocidad de propagación de onda, practicadas sobre el material en las condiciones naturales en que se encuentre, sean iguales o superiores a dos mil metros por segundo (2 000 m/s).

210.2 Materiales

210.2.1 Utilización de materiales provenientes de la excavación de la explanación y de canales

Todos los materiales provenientes de las excavaciones que sean utilizables, según los documentos y especificaciones del proyecto o a criterio del interventor, y que sean necesarios para construir o proteger terraplenes, pedraplenes u otras partes de las obras proyectadas, se deben utilizar en ellos. El constructor no puede disponer de los materiales provenientes de las excavaciones ni retirarlos para fines distintos a los del contrato, sin autorización previa del interventor.

Los materiales provenientes de la excavación que presenten características adecuadas para uso en la construcción de la obra se deben reservar para colocarlos posteriormente. Su disposición provisional se debe hacer en los sitios aprobados previamente para tal fin por el interventor.

Los materiales provenientes del descapote se deben almacenar para su uso posterior en sitios accesibles y de manera aceptable para el interventor. Estos materiales se deben usar preferentemente para el recubrimiento de los taludes de los terraplenes terminados.

210.2.2 Materiales de zonas de préstamo

Los materiales adicionales que se requieran para las obras se deben extraer de las zonas de préstamo aprobadas por el interventor y deben cumplir las características establecidas en las especificaciones correspondientes.

210.3 Equipo

El constructor debe proponer, para consideración del interventor, los equipos más adecuados para las operaciones por realizar, de acuerdo con el tipo de material por excavar, los cuales no deben producir daños innecesarios ni a construcciones ni a cultivos; y deben garantizar el avance físico de ejecución, según el programa de trabajo, que permita el desarrollo de las etapas constructivas siguientes.

El constructor puede utilizar cualquier tipo de equipo apropiado para la realización de las excavaciones, que incluya tractores con topadora y desgarradora, motoniveladora, traílla y palas de empuje o arrastre, cargador y vehículos de transporte.

210.4 Ejecución de los trabajos

210.4.1 Excavación de la explanación

210.4.1.1 Generalidades

La excavación de la explanación se debe ejecutar de acuerdo con las secciones transversales del proyecto.

El constructor debe notificar al interventor con la antelación suficiente del comienzo de cualquier excavación, con el fin de que este pueda efectuar las mediciones necesarias sobre el terreno inalterado. El terreno natural adyacente al de la excavación no se debe modificar ni remover sin autorización del interventor.

Los procedimientos constructivos que implemente el constructor deben contemplar las medidas necesarias para preservar las condiciones de drenaje, la resistencia y la estabilidad del terreno no excavado. Los taludes provisionales deben ser definidos en esos procedimientos por un ingeniero geotecnista cuando no estén definidos en las especificaciones del proyecto y avalados por el interventor.

Durante la ejecución de los trabajos se deben tomar, en cualquier caso, las precauciones adecuadas para no disminuir la resistencia o estabilidad del terreno no excavado. En especial, se debe atender a las características tectónico-estructurales del entorno y a las alteraciones de su drenaje y se deben adoptar las medidas necesarias para evitar los siguientes fenómenos: inestabilidad de taludes en roca o de bloques de esta debida a voladuras inadecuadas, deslizamientos ocasionados por el descalce del pie de la excavación, encharcamientos debidos a un drenaje defectuoso de las obras, taludes provisionales excesivos, etc.

Las obras de excavación deben avanzar en forma coordinada con las obras de contención y drenaje del proyecto, tales como muros, alcantarillas, desagües y descoles de cunetas y construcción de filtros. Además, se debe garantizar el correcto funcionamiento del drenaje y controlar los fenómenos de erosión e inestabilidad.

La secuencia de todas las operaciones de excavación debe ser tal, que asegure la utilización de todos los materiales aptos y necesarios para la construcción de las obras señaladas en los documentos del proyecto o indicadas y aprobadas por el interventor.

Cualquier daño no previsto a una estructura o construcción existente causado por la

ejecución de los trabajos de excavación debe ser asumido por el constructor, quien debe reponer el bien a entera satisfacción de su propietario sin costo para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS).

En la construcción de terraplenes sobre terreno inclinado o a media ladera, el talud de la superficie existente se debe cortar en forma escalonada de acuerdo con los documentos del proyecto o las instrucciones del interventor.

Las cunetas y bermas se deben construir de acuerdo con las secciones, las pendientes transversales y las cotas especificadas en los documentos del proyecto. Todo daño posterior a la ejecución de estas obras, causado por negligencia del constructor, debe ser subsanado por este, sin ningún costo para INVÍAS.

210.4.1.2 Actividades previas

Antes de iniciar las excavaciones se deben completar y aprobar los trabajos de localización, desmonte, limpieza y demoliciones, así como los de remoción de especies vegetales, cercas de alambre y demás obstáculos que afecten la ejecución de las obras del proyecto.

El material retirado en la limpieza, así como el de las demoliciones, debe ser empleado como se menciona en el numeral 210.2.1

210.4.1.3 Drenaje de las excavaciones

El constructor debe tomar todas las medidas indispensables para mantener drenadas las excavaciones y demás áreas de trabajo. Se deben instalar drenes o zanjas temporales, para interceptar el agua que pudiera afectar la ejecución del trabajo y se deben utilizar los equipos necesarios para realizar un control efectivo de la misma.

Es responsabilidad del constructor todo deterioro que se ocasione en los materiales de la excavación debido a deficiencias en el sistema de drenaje implementado. En este caso, deben correr por su cuenta las medidas correctivas que tenga que ejecutar para subsanar el deterioro causado en los mismos, sin costo adicional para INVÍAS.

Antes de iniciar los trabajos de excavación, el constructor debe presentar para aprobación por parte del interventor el plan de drenaje temporal que va a implementar para evitar que el agua se apoce y deteriore los materiales expuestos, en especial la subrasante del proyecto.

En todo momento, la superficie de la excavación debe tener pendientes transversales y longitudinales que garanticen el correcto drenaje superficial hacia los elementos de drenaje temporal o definitivo. No deben existir depresiones ni hundimientos que afecten el normal escurrimiento de las aguas superficiales, ni encharcamientos debidos a un drenaje defectuoso de las obras o taludes provisionales excesivos.

Cuando el diseño de los taludes contemple la construcción de bermas o terrazas intermedias, estas se deben conformar con pendiente hacia el interior del talud a una cuneta que debe recoger y encauzar las aguas superficiales.

210.4.1.4 Manejo de la subrasante

210.4.1.4.1 Protección de la subrasante

El constructor debe proteger la subrasante en todo momento para evitar su deterioro.

Es responsabilidad del constructor todo deterioro que se ocasione en la subrasante debido a la falta de implementación de los sistemas adecuados de protección. En este caso, deben correr por su cuenta y a su costa las medidas correctivas que tenga que ejecutar para subsanar el deterioro causado en la misma.

En especial, debe llevar a cabo las labores de construcción teniendo en cuenta los siguientes factores, adicionales al tema del drenaje mencionado en el numeral 210.4.1.3.

210.4.1.4.1.1 Circulación sobre la subrasante

El constructor debe organizar todos sus trabajos, en especial las labores de excavación, cargue del material excavado y descargue del material por colocar sobre la subrasante, de manera que los equipos no circulen directamente sobre la subrasante y la deterioren. Se exceptúan los casos en que la subrasante esté constituida por materiales que soporten el tránsito de construcción sin deteriorarse. Se puede tomar como guía para calificar el impacto adverso del tránsito temporal sobre la subrasante la presencia de acolchonamientos mayores de veinte milímetros (20 mm) (deformaciones ante el paso de los vehículos que se pueden observar a simple vista y que se recuperan en todo o en parte cuando el vehículo se aleja), o la ocurrencia de ahuellamientos mayores de veinticinco milímetros (25 mm) (deformaciones permanentes en forma de surcos longitudinales que no se recuperan cuando el vehículo se aleja).

210.4.1.4.1.2 Disminución del contenido de agua en la subrasante

Con el fin de evitar el agrietamiento o la activación de procesos de cambios volumétricos en las subrasantes arcillosas, no se debe permitir que estas disminuyan su contenido de agua natural, salvo en casos específicos en que la pérdida de agua se requiera para su adecuada compactación; por tanto, el constructor debe tomar las medidas necesarias para prevenir esta pérdida de agua.

210.4.1.4.2 Compactación de la subrasante

210.4.1.4.2.1 Necesidad de compactar la subrasante

En general, siempre se requiere compactar la subrasante en corte, bien sea que esta vaya a servir de apoyo a un terraplén o relleno, o a la estructura misma del pavimento. Sin embargo, en algunas ocasiones los documentos del proyecto pueden indicar expresamente que la subrasante no requiere compactación.

En otras ocasiones, los documentos del proyecto pueden prohibir la compactación de la subrasante.

Cuando la subrasante natural sirve directamente como apoyo de la estructura del pavimento, esta requiere de su compactación en un espesor no menor de quince centímetros (15 cm). Por tanto, si los documentos del proyecto indican que la subrasante natural no requiere compactación o especifican que se prohíbe compactarla, el diseño debe tener previsto al menos una capa de mejoramiento compactada, con espesor mínimo de veinte centímetros (20 cm) (material de aporte sin estabilizar o estabilizado, o estabilización de la parte superior de la subrasante), para ser construida encima de la subrasante natural. Si el diseño no prevé esta capa de mejoramiento sobre la subrasante sin compactar, el interventor puede ordenar al constructor su

construcción en el espesor que juzgue conveniente, previa excavación de un espesor igual de material de subrasante para conservar las cotas del proyecto. En este caso, tanto la excavación como la construcción de la capa de mejoramiento se deben pagar según los ítems que resulten aplicables.

210.4.1.4.2.2 Procedimiento de compactación de la subrasante

Los documentos del proyecto deben indicar la profundidad y el grado de compactación requeridos para la subrasante.

Si no lo indican, el procedimiento debe ser, como mínimo, el siguiente: al alcanzar el nivel de subrasante en la excavación, se debe escarificar en una profundidad mínima de quince centímetros (15 cm), conformar de acuerdo con las pendientes transversales especificadas y compactar, según las exigencias de compactación definidas en el numeral 210.5.2.2 en una profundidad mínima de quince centímetros (15 cm).

En caso de presencia de suelos especiales, como cenizas volcánicas, suelos blandos, suelos expansivos o suelos orgánicos, se deben atender las indicaciones particulares contenidas en los documentos del proyecto.

En caso de que los documentos del proyecto no tengan indicados estos tipos de materiales, se debe efectuar una evaluación geotécnica por parte del constructor con aprobación del interventor para determinar el debido proceso que se debe tener con estos materiales (esto incluye una posible Zona de Disposición de Materiales de Excavación [ZODME]). En este caso, las actividades que considere convenientes el interventor se deben pagar según los ítems que resulten aplicables. Cualquier decisión que se tome con respecto a estos tipos de subrasantes especiales debe quedar consignada en el libro de obra (bitácora), así como los documentos técnicos que sustenten las acciones a seguir. En cualquier caso, se deben garantizar las condiciones de servicio y durabilidad con las que se concibió el proyecto.

Un suelo se considera expansivo de acuerdo con los criterios consignados en la norma de ensayo INV E-132.

Se considera que el material posee características orgánicas cuando el contenido de materia orgánica, en masa, supera el dos por ciento (2 %) determinado según la norma INV E-121 o UNE 103204. Estas normas incluyen como materia orgánica todas las sustancias oxidables existentes en la muestra ensayada, por tanto, cuando las sustancias oxidables no orgánicas puedan influir de forma importante sobre los resultados obtenidos, el interventor puede autorizar que el contenido de materia orgánica se obtenga descontando los materiales oxidables no orgánicos, determinados según el método explícitamente aprobado por este.

La norma INV E-121 emplea el método de obtención por ignición el cual, en algunos materiales, puede arrojar resultados mayores debido a la calcinación parcial de algunos minerales a la temperatura de ensayo. La norma UNE 103204 describe un método químico para la obtención de la materia orgánica por lo que puede ser usado en los casos en los que se sospecha menor confiabilidad de los métodos por ignición. Cuando se cuente con los resultados de ambos métodos se debe dar prioridad a los obtenidos mediante métodos químicos.

210.4.1.5 Excavaciones en roca

Los procedimientos, los tipos y las cantidades de explosivos y equipos que el constructor proponga utilizar, deben estar aprobados previamente por el interventor, así como la secuencia y la disposición de las voladuras, las cuales se deben proyectar en tal forma que sea mínimo su efecto fuera de los taludes proyectados. El constructor debe garantizar la dirección y la ejecución de las excavaciones en roca, utilizando personal que tenga amplia experiencia en trabajos similares.

La aprobación dada por el interventor no exime al constructor de la obligación de tomar las medidas de protección y seguridad necesarias para evitar daños al resto de la obra o a terceros. Es obligación del constructor, cumplir toda la reglamentación vigente.

Toda excavación en roca se debe profundizar quince centímetros (15 cm) por debajo de las cotas de subrasante. Las áreas sobreexcavadas se deben rellenar y conformar con material seleccionado proveniente de las excavaciones, con material de relleno seleccionado o con material de subbase granular, según lo indiquen los documentos del proyecto o lo apruebe el interventor.

Cualquier roca situada en los límites de la excavación, o fuera de ellos, que hubiese sido golpeada, aflojada, o de alguna manera dañada por las voladuras u otras causas, debe ser removida hasta asegurarse que no queden trozos inestables. No deben quedar depresiones que dejen zonas colgadas, aunque se muestren firmes a simple vista.

La superficie final de la excavación en roca se debe encontrar libre de cavidades que permitan la retención de agua y debe tener, además, pendientes transversales y longitudinales que garanticen el correcto drenaje superficial.

Se debe cuidar especialmente la subrasante que se establezca en los desmontes en roca, esta debe presentar una superficie que permita un perfecto drenaje sin encharcamientos. En los casos en que por efecto de la voladura se generen zonas sin desagüe, estas se deben rellenar mediante la aplicación de hormigón de saneo que genere la superficie de la subrasante, de acuerdo con los planos establecidos para las mismas y con las tolerancias previstas en los documentos del proyecto, sin ser estas operaciones objeto de pago por parte de INVÍAS.

Si los desperfectos que se puedan presentar son imputables a la ejecución inadecuada realizada o el incumplimiento de las instrucciones del interventor, el constructor es el responsable de los daños ocasionados. Lo mismo cabe indicar respecto a posibles bloques caídos del talud sobre cunetas o desagües, situadas al pie del talud.

Para el uso de explosivos, se debe cumplir la reglamentación vigente para el control de las labores mineras subterráneas y a cielo abierto, en especial lo estipulado en los decretos 1886 de 2015 y 2222 de 1993, respectivamente. Además, se debe garantizar el mínimo daño posible para los entornos cercanos, así como para evitar efectos secundarios negativos para la obra. Antes de usar los explosivos, se debe notificar con anticipación a los propietarios o vecinos de los puntos donde se debe hacer uso de estos. El interventor debe dar aval a la continuación de los trabajos luego de garantizar que se ha informado a los vecinos de la zona.

210.4.1.5.1 Plan de voladura

Para la ejecución de voladuras, se debe presentar al interventor un plan para cada actividad que requiera de algún tipo de explosión o detonación, al menos dos semanas antes del inicio de las operaciones de perforación y voladura. Este plan debe proporcionar la siguiente información:

- Descripción de la operación de voladura propuesta.
- Criterios preliminares de diseño para la producción y las voladuras controladas, incluidas las profundidades y los patrones de los agujeros de voladura.
- Detalles sobre los explosivos propuestos y los accesorios de explosión.
- Distancia mínima para la ubicación de la estación para la voladura propuesta, incluida la elevación del banco, si corresponde.
- Fecha y hora de las actividades de cada una de las voladuras propuestas.
- Indicar si se requiere de la remoción de sobrecarga, cuando la actividad la exija.
- Planos escalados en planta y en sección transversal del patrón de perforación propuesto para orificios de voladura controlados y generados, incluidas las filas de amortiguación, la cara libre, la carga, el espaciado de los orificios de voladura, los diámetros de los agujeros de voladura, los ángulos de los agujeros de voladura, la altura de elevación y la profundidad del taladro.
- Diagrama de carga que muestra el tipo y la cantidad de explosivos, cebadores e iniciadores, la ubicación, la profundidad y el tipo de derivación.
- Secuencia de iniciación de agujeros de voladura controlados y de producción, incluidos los tiempos de demora y el sistema de demora.
- Hojas de vida suministradas por los fabricantes de los explosivos, cebadores e iniciadores que se van a utilizar.
- Medidas de seguridad para la obra y terceros.

El plan de voladura debe ser entregado al interventor para su revisión y aprobación. El interventor debe estar en capacidad de revisar, y así mismo, proporcionar los comentarios que crea convenientes al constructor. El constructor debe enviar el plan de voladura con las correcciones necesarias para su revisión final y aprobación.

No se debe proceder con las operaciones de perforación y voladura relacionadas con el plan de voladura, sin que el interventor lo haya aprobado con anterioridad. Si la autoridad ambiental o gubernamental determina que las operaciones de voladura bajo los métodos empleados están causando daños a las vecindades o a los ambientes naturales, se debe proteger la propiedad dentro y más allá de la servidumbre.

Se debe ajustar, en todo caso, a lo dispuesto en la legislación vigente en materia ambiental, de seguridad y salud, y de almacenamiento y transporte de productos de construcción.

210.4.1.5.2 Registros de voladuras

El constructor debe realizar un registro de voladuras, que se debe enviar al interventor cada vez que se ejecute alguna de ellas. En dicho registro se debe suministrar la siguiente información:

- Dimensiones reales de la explosión, incluidos los diámetros y las profundidades de

los agujeros de voladura, la carga, el espaciado, las profundidades de taladrado, el tallo, las cargas de polvo, los factores de polvo y el tiempo de duración.
- Un esquema que muestre la dirección de la cara y el diseño de la explosión.
- La ubicación de la explosión, en relación con las dimensiones del proyecto.
- La fecha y la hora de carga y detonación.
- El nombre y la firma de la persona responsable de cargar y ejecutar.
- Comentarios del detonador a cargo con respecto a fallas de encendido, ocurrencias de la voladura de roca, resultados, efectos inusuales y daños a instalaciones existentes, propiedades adyacentes, vecindades y alteraciones no previstas.
- Resultados de monitoreo de vibración y velocidad de onda generados.
- Cualquier queja o comentario recibido debido a la voladura.

210.4.1.5.3 Seguridad en el manejo de explosivos

Se deben tener las siguientes consideraciones para la ejecución de las labores de voladuras:

- Solo las personas autorizadas y calificadas con base en la capacitación y la experiencia deben manejar y usar explosivos.
- Ninguna persona debe fumar, llevar fósforos u otros dispositivos productores de llama, o llevar armas de fuego o cartuchos cargados mientras se encuentre en un vehículo motorizado o cerca de este, que transporta explosivos, así como en los lugares de su disposición.
- Se debe mantener un registro de explosivos en todo momento. Los explosivos se deben almacenar y encerrar en una instalación adecuada avalada por el interventor hasta que se usen en voladuras.
- Cuando sea necesario, el Plan de Manejo de Tránsito (PMT) de los trabajos debe garantizar que se tengan reguladores de transito con señalización adecuada al momento de las detonaciones.
- Antes de comenzar el retiro de material luego de la voladura, se debe hacer una observación de toda el área durante, al menos, cinco minutos (5 min) después de cada explosión. Se deben retirar las rocas potencialmente peligrosas u otro material ubicado más allá de los límites de excavación que se haya visto afectado por la voladura. Se deben detener las operaciones de voladura, si las pendientes requeridas no son estables, o si la seguridad del público en general está en peligro.

210.4.1.5.4 Prevención del daño de estructuras cercanas

Para cada corte que requiera voladuras, se debe realizar un estudio de riesgo por vibración en edificios cercanos, estructuras de servicios públicos, suministro de agua y alcantarillado, o áreas ambientalmente sensibles que puedan estar en riesgo por las detonaciones. A partir del estudio, el interventor es quien debe avalar que el plan de voladura no genere riesgo de afectación a las estructuras cercanas.

210.4.1.5.5 Secciones de prueba de voladuras

Se debe garantizar la idoneidad del plan de voladura propuesto, a partir de una o varias secciones de prueba de voladura por cada material geológico. Para proyectos que involucren múltiples cortes en materiales geológicos similares, el constructor puede reducir

el requisito en una sección de prueba de voladura en cada corte con previa autorización del interventor. Las secciones de prueba de voladura incluyen secciones de corte de perforación, voladura y excavación de aproximadamente cuarenta metros (40 m) de largo para determinar la combinación óptima de método, espacio entre agujeros de voladura y carga. Cuando las condiciones del campo lo justifiquen, el interventor puede ordenar al constructor que use secciones de prueba de menos de treinta metros (30 m) de largo.

Para realizar la prueba de los requisitos del plan de voladura haga lo siguiente:

- Realice la sección de prueba de voladura de acuerdo con el numeral 210.4.1.5.1. El plan de voladura de la sección de prueba debe ser entregado al interventor, al menos cuarenta y ocho horas (48 h) antes del tiempo planeado de la voladura. El interventor debe autorizar el plan de voladura para iniciar la sección de ensayo.
- A menos que el plan de voladura indique lo contrario, comience las pruebas con los agujeros de voladura controlados espaciados a setenta centímetros (70 cm).
- Después de la voladura, retire una cantidad suficiente de material de la sección de prueba para determinar si el diámetro del agujero, el espacio entre los agujeros y la cantidad de explosivos son adecuados para los requerimientos de las obras. No continúe perforando hasta que se evalúen los resultados.
- Si durante la sección de prueba, no se producen los resultados esperados, se debe revisar y rediseñar el plan de voladura para la sección de prueba con las diferentes técnicas disponibles hasta que llegue a resultados satisfactorios. Se considera como no satisfactorio cuando:
  - Hay una cantidad excesiva de roturas más allá de las discontinuidades y pendientes indicadas.
  - Hay un desprendimiento excesivo de material.
  - Se producen incumplimientos a otros requisitos presentes en estas especificaciones.
  - Las pendientes son inestables.
  - La seguridad de las personas y la obra está en peligro.
  - Se producen daños en la obra, vecindades o características naturales del lugar.
  - Los niveles de vibración del suelo y explosión de aire exceden los límites establecidos en la Figura 210 — 1.

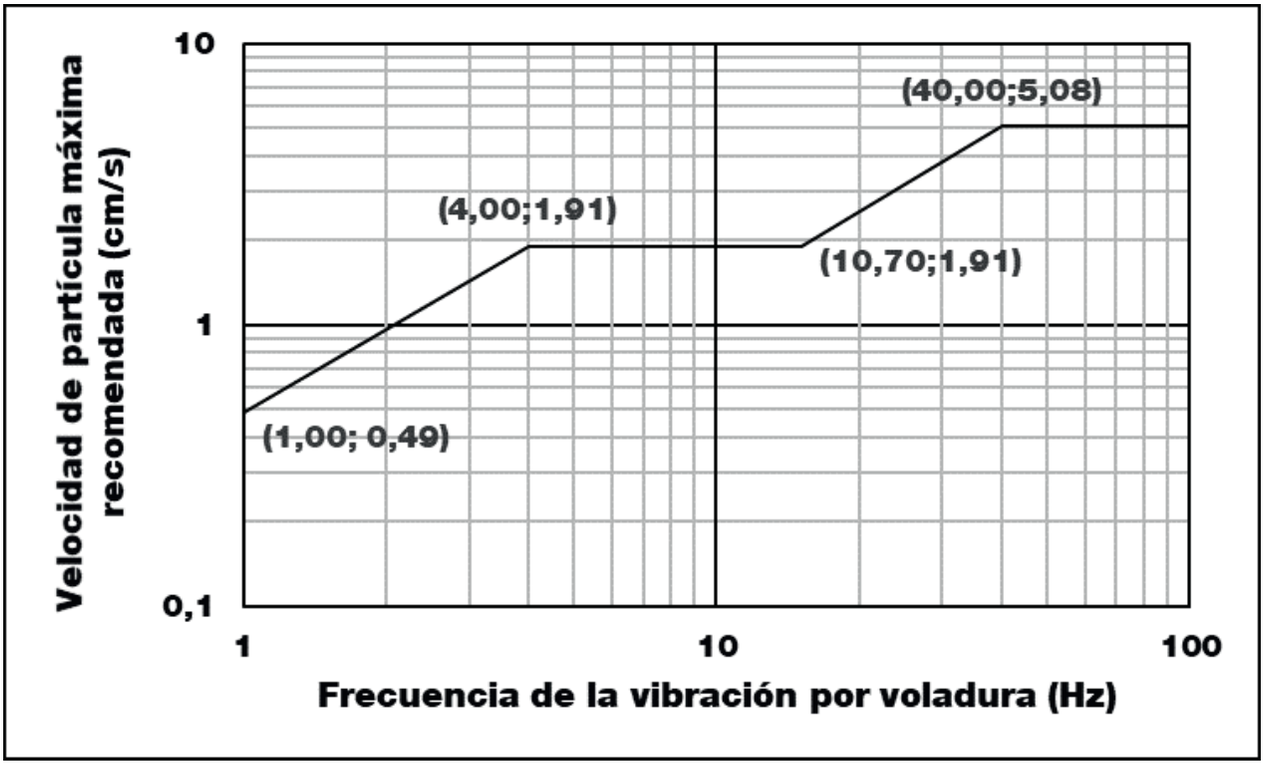


Figura 210 — 1. Velocidad de partícula máxima recomendada a partir de la frecuencia de vibración por voladura

Fuente: Modificado de *New Mexico State Department of Transportation*. (2014).

210.4.1.5.6 Requisitos de una voladura controlada

Para que la ejecución de las voladuras se realice de manera controlada, de acuerdo con los planes de voladura realizados a partir de los resultados aceptables en las secciones de prueba de voladura, se deben cumplir los siguientes requisitos:

- Se debe limpiar la superficie de la roca, cuando el material sobrepuesto no se autosoporte antes de perforar los agujeros de voladura.
- Se deben monitorear mecánicamente los ángulos de los agujeros de explosión con respecto a la horizontal.
- Se deben taladrar agujeros con un diámetro de entre cinco y ocho centímetros (5 cm — 8 cm). Dichos agujeros se deben espaciar de acuerdo con las secciones de prueba de voladura o los resultados obtenidos en materiales geológicos similares. No se debe exceder de noventa centímetros (90 cm).
- Se debe usar el equipo y la técnica adecuados para garantizar que los agujeros de explosión no se desvíen del plano proyectado del talud después de la voladura, que se muestra en el plan de voladura, en más de veinte centímetros (20 cm), en dirección paralela o normal.
- Se deben perforar los agujeros de manera que se tenga la inclinación de la pendiente requerida, hasta la profundidad total del

corte o hasta una elevación determinada previamente. La profundidad máxima de perforación debe ser de nueve metros (9 m). Se deben usar agujeros más bajos, si el control direccional es inadecuado. El largo de los agujeros se puede incrementar gradualmente, una vez que sean direccionales, y se demuestren resultados de control esperados.

- Se deben perforar orificios guía descargados y sin vástago del mismo diámetro, en el mismo plano, y con la misma tolerancia que los agujeros de explosión controlados.
- No se deben utilizar agujeros horizontales para voladuras controladas.
- Se deben usar cargas explosivas, cordón detonante y otros elementos necesarios para la voladura controlada, de acuerdo con la ficha técnica del producto y las recomendaciones e instrucciones del fabricante.
- Antes de colocar las cargas, se debe asegurar que el orificio esté libre de obstrucciones. De ser necesario, se debe utilizar un cilindro metálico para evitar que las paredes del agujero colapsen.
- Se deben usar solo explosivos estándar fabricados especialmente para el tipo de voladura. No se debe cargar nitrato de amonio y aceite combustible en los agujeros de explosión. Se deben usar explosivos y accesorios de voladura apropiados para las condiciones del agujero de la explosión (incluyendo agua en los agujeros), y necesarios para lograr resultados satisfactorios.
- Se deben ensamblar y fijar los explosivos al cable de detonación, de acuerdo con la ficha técnica del producto y las recomendaciones e instrucciones del fabricante del explosivo.
- La carga inferior en un agujero puede ser mayor que las cargas superiores, pero no lo suficientemente grande como para causar una explosión excesiva. Se debe colocar la carga superior lo suficientemente debajo del collar y lo suficientemente reducida en tamaño para evitar el rompimiento excesivo o perturbación en la superficie del terreno.
- Se debe usar un material seco, angular y granular que pase un tamiz de 9,5 mm (3/8 de pulgada) para detener los agujeros, desde la carga superior hasta el collar del orificio.

En cualquier caso, debe ser responsabilidad del constructor la conservación de la excavación hasta que haya sido rellenada.

210.4.1.5.7 Divulgación de los trabajos y horarios de ejecución de las actividades

Los siguientes requisitos se deben tener en cuenta para la programación y la difusión de la ejecución de las voladuras:

- Coordinar la ejecución de las voladuras con el interventor y notificarlo, con un mínimo de dos horas (2 h) antes de la voladura. Se debe proponer un plazo de una hora (1 h) para la explosión. Por ejemplo, si el constructor notifica al interventor antes de las nueve horas (09 h 00), la explosión puede ocurrir entre las once y las doce horas (11 h 00 – 12 h 00).
- Notificar a los ocupantes de edificios y propietarios de estructuras y servicios públicos, sobre el tiempo y la ubicación de la explosión, al menos setenta y dos horas (72 h) antes de las voladuras.
- Detonar las explosiones a la hora prevista, a menos que el interventor diga lo contrario.

Los trabajos de detonación se deben realizar en un horario comprendido entre las siete y las dieciocho horas (07 h 00 — 18 h 00) para

no intervenir en las actividades nocturnas de las vecindades, a menos que el interventor no lo considere relevante.

210.4.1.6 Transiciones de corte a terraplén y viceversa

En los sitios de transición, la excavación se debe ampliar hasta que el terraplén penetre en ella en toda su sección. En la transición de corte a terraplén y viceversa se deben construir escalones, con el ancho adecuado para el correcto trabajo de los equipos de construcción, de tal forma que se eliminen totalmente eventuales planos de contacto inclinados, que constituyan riesgo de inestabilidad en el terraplén. Tales escalones se deben construir de acuerdo con los documentos del proyecto o las instrucciones del interventor.

210.4.1.7 Ensanche o modificación del alineamiento de calzadas existentes

En los proyectos de mejoramiento de vías donde el afirmado existente se ha de conservar, los procedimientos que utilice el constructor deben permitir la ejecución de los trabajos de ensanche o modificación del alineamiento, evitando la contaminación del afirmado con materiales arcillosos, orgánicos o vegetales. Los materiales excavados se deben cargar y transportar hasta los sitios de utilización o disposición aprobados por el interventor.

Así mismo, el constructor debe garantizar el tránsito y conservar la superficie de rodadura existente.

Si el proyecto exige el ensanche del afirmado existente, las fajas laterales se deben excavar hasta el nivel de subrasante. Posteriormente, a esta capa se le debe dar el tratamiento indicado en el numeral 210.4.1.4.

En las zonas de ensanche de terraplenes, el talud existente se debe cortar en forma escalonada, de acuerdo con lo que establezcan los documentos del proyecto y las indicaciones del interventor.

210.4.1.8 Taludes

La excavación de los taludes se debe realizar de acuerdo con las dimensiones y los niveles establecidos en los documentos del proyecto con aprobación del interventor. Esta se debe efectuar de forma adecuada para no dañar su superficie final, evitar la descompresión prematura o excesiva de su pie y contrarrestar cualquier otra causa que pueda comprometer la estabilidad de la excavación final.

Cuando sea preciso adoptar medidas especiales para la protección superficial del talud, tales como plantaciones superficiales, revestimientos, etc., bien porque estén previstas en los documentos del proyecto o porque sean ordenadas por el interventor, estos trabajos se deben realizar inmediatamente después de la excavación del talud.

En el caso de que los taludes presenten deterioro antes del recibo definitivo de las obras, el constructor debe eliminar los materiales desprendidos o movidos y realizar urgentemente las correcciones complementarias ordenadas por el interventor. Si dicho deterioro es imputable a una mala ejecución de las excavaciones, el constructor es responsable por los daños ocasionados y, por tanto, las correcciones se deben efectuar a su costa.

210.4.2 Excavación de canales

La construcción de los canales, las zanjas de drenaje, las zanjas interceptoras y acequias, así como el mejoramiento de las obras similares y los cauces naturales, se debe efectuar de acuerdo con los alineamientos, las secciones y las cotas indicados en los documentos del proyecto. En general, en esta clase de obras la pendiente longitudinal no debe ser menor de cero coma veinticinco por ciento (0,25 %), salvo que el interventor dé una autorización en sentido contrario por escrito. Las excavaciones se deben iniciar por el extremo aguas abajo de la obra.

Se deben realizar las obras auxiliares requeridas para ejecutar las obras en seco cuando sea posible. En caso de no poder drenar la excavación por gravedad, se debe realizar por bombeo.

Toda desviación de las cotas y las secciones especificadas, especialmente si causa estancamiento de agua o erosión, debe ser subsanada por el constructor, hasta ser aprobada por el interventor, y sin costo adicional para INVÍAS.

Es responsabilidad del constructor la conservación de la excavación para canales hasta que sea recibida y aprobada por el interventor, junto con las demás obras que se estén ejecutando.

Los canales que, de acuerdo con los documentos del proyecto, deban ser ejecutados en el pie del talud, se deben excavar de forma que el terreno afectado no pierda resistencia debido a la deformación de las paredes del canal o a un drenaje defectuoso de este. El canal se debe mantener abierto, el tiempo mínimo indispensable. Cuando se haga uso de material de relleno para mantenerlo abierto, este se debe compactar cuidadosamente. Así mismo, se debe tener especial cuidado en limitar la longitud del canal abierto al mismo tiempo, con el fin de disminuir los efectos antes mencionados.

210.4.3 Disposición de materiales sobrantes provenientes de la excavación

Los materiales sobrantes de la excavación se deben colocar, de acuerdo con las instrucciones del interventor y en zonas aprobadas por este. Se deben usar de preferencia para el tendido de los taludes de terraplenes o para emparejar las zonas laterales de la vía. Se deben disponer de tal forma que no ocasionen ningún perjuicio al drenaje de la carretera o a los terrenos que ocupen, a la visibilidad en la vía ni a la estabilidad de los taludes o del terreno al lado y debajo de la carretera. Todos los materiales sobrantes se deben extender y emparejar, de tal modo que permitan el drenaje de las aguas alejándolas de la vía, sin estancamiento y sin causar erosión, y se deben conformar para presentar una buena apariencia.

En el caso de la excavación por voladura en roca, su ejecución debe proporcionar un destino adecuado definitivo al material resultante del mismo, sin requerir pago para las operaciones de ajuste de la granulometría del material resultante, salvo que dichas operaciones se encuentren incluidas en otra unidad de obra.

Cuando los materiales sobrantes no se puedan emplear en las obras del proyecto, se

deben transportar y disponer en vertederos, conforme a lo indicado en los documentos del proyecto, las especificaciones particulares o las instrucciones del interventor y se debe atender especialmente lo indicado en el artículo 106, Aspectos ambientales.

210.4.4 Excavación en zonas de préstamo

Los materiales adicionales que se requieran para los terraplenes o rellenos del proyecto se deben obtener mediante el ensanche de las excavaciones del proyecto, si ello es posible y está autorizado, o de zonas de préstamo, previamente aprobadas por el interventor.

En la excavación de préstamos se debe seguir todo lo pertinente a los procedimientos de ejecución de las excavaciones de la explanación y canales.

Los préstamos se deben excavar disponiendo las medidas oportunas de drenaje que impidan que se pueda acumular agua en ellos. El material inadecuado se debe depositar de acuerdo con lo indicado en los documentos del proyecto o lo que el interventor disponga. Los taludes de los préstamos deben ser estables, y una vez terminada su explotación, se deben acondicionar de forma que no dañen el aspecto general del paisaje y perduren estables en el tiempo. No deben ser visibles desde la carretera terminada, ni desde cualquier otro punto con especial impacto paisajístico negativo, y se debe cumplir la normativa existente respecto de su posible impacto ambiental. En lo posible, se debe contar con un plan de manejo ambiental que recupere las áreas afectadas por las actividades propias del préstamo.

210.4.5 Sobreexcavación

Se considera como sobreexcavación, el retiro o ablandamiento de materiales, por fuera de los alineamientos o las cotas indicados en los documentos del proyecto. Las sobreexcavaciones no se deben pagar y el constructor está obligado a ejecutar a su propia costa los rellenos necesarios por esta causa, de acuerdo con las especificaciones y la aprobación del interventor.

Toda sobreexcavación que haga el constructor, por negligencia o por conveniencia propia para la operación de sus equipos, corre por su cuenta y el interventor puede suspenderla, si lo estima necesario, por razones técnicas o económicas. En estos casos, el constructor debe rellenar por su cuenta estas sobreexcavaciones con los materiales y los procedimientos adecuados y aprobados por el interventor de manera que se restauren las condiciones iniciales del sitio.

210.4.6 Hallazgos arqueológicos, paleontológicos y de minerales de interés comercial o científico

En caso de algún descubrimiento de ruinas prehistóricas, sitios de asentamientos indígenas o de época colonial, reliquias, fósiles, meteoritos u otros objetos de interés arqueológico, paleontológico o minerales de interés comercial o científico durante la ejecución de las obras, el constructor debe tomar de inmediato medidas para suspender transitoriamente los trabajos en el sitio del descubrimiento y debe notificar al interventor, quien debe dar aviso a INVÍAS y a la autoridad oficial que tenga a cargo la responsabilidad de investigar y evaluar dichos hallazgos. El

constructor, a pedido del interventor, debe colaborar en su protección.

Cuando la investigación y la evaluación de los hallazgos arqueológicos, paleontológicos y de minerales de interés comercial o científico retrase el avance de la obra, el interventor debe efectuar en conjunto con el constructor, los ajustes pertinentes en el programa de trabajo.

210.4.7 Limpieza final

Al terminar los trabajos de excavación, el constructor debe limpiar y conformar las zonas laterales de la vía, las de préstamo y las de disposición de sobrantes, de acuerdo con lo que establezca el plan ambiental y las indicaciones del interventor.

210.4.8 Referencias topográficas

Durante la ejecución de la excavación para explanación, canales y préstamos, el constructor debe mantener, sin alteración, todas las referencias topográficas y las marcas especiales para limitar las áreas de trabajo.

210.4.9 Limitaciones en la ejecución

Los trabajos de excavación de la explanación, canales y préstamos se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que sea aprobado por este. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

210.4.10 Manejo ambiental

En adición a los aspectos generales indicados en el artículo 106, todas las labores de excavación de la explanación, canales y préstamos se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en los estudios o evaluaciones ambientales del proyecto y las normas y disposiciones vigentes sobre la conservación del ambiente y los recursos naturales.

En particular, se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Cuando se estén efectuando las excavaciones, se debe tener cuidado para que no se presenten depresiones y hundimientos que afecten el normal escurrimiento de las aguas superficiales.
- Los materiales sobrantes de las excavaciones se deben disponer conforme lo establece el numeral 210.4.3.
- Si está previsto el revestimiento vegetal de los taludes con material de descapote, este se debe efectuar inmediatamente después de culminada la excavación.
- El material de descapote de las zonas de préstamo debe ser cuidadosamente conservado para colocarlo de nuevo sobre el área excavada, reintegrándolo al paisaje.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades deben estar incluidas en los costos del

proyecto, por tanto, no deben ser objeto de reconocimiento directo en el contrato.

210.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

210.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Comprobar el estado y el funcionamiento del equipo utilizado para la ejecución de los trabajos.
- Verificar la eficiencia y la seguridad de los procedimientos de ejecución de los trabajos.
- Vigilar el cumplimiento de los programas de trabajo.
- Verificar el alineamiento, el perfil y la sección de las áreas excavadas.
- Comprobar que toda superficie para base de terraplén o subrasante mejorada quede limpia y libre de materia orgánica.
- Verificar la compactación del fondo de la excavación, cuando corresponda.

El interventor debe verificar que el constructor disponga de todos los permisos requeridos. Además, debe medir, para efectos de pago, el trabajo ejecutado por el constructor de acuerdo con la presente especificación.

210.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

210.5.2.1 Acabado

El trabajo de excavación se debe dar por terminado cuando el alineamiento, el perfil y la sección estén de acuerdo con los documentos del proyecto y la aprobación del interventor.

La distancia entre el eje del proyecto y el borde de la excavación no debe ser menor que la distancia señalada en los documentos del proyecto.

La cota de cualquier punto de la subrasante conformada y terminada no debe variar en más de tres centímetros (3 cm) con respecto a la cota proyectada, medida verticalmente hacia abajo y, en ningún caso, la cota de subrasante puede superar la cota del proyecto.

En las cunetas, las cotas de fondo no deben diferir en más de tres centímetros (3 cm) de las proyectadas, así como el relleno de las grietas u oquedades que se pudieron producir en el desarrollo de los trabajos. Así mismo, la excavación debe estar libre de materiales sueltos o materia vegetal.

Es indispensable que la disposición de los residuos de la excavación se haya realizado en la forma y los sitios indicados en los documentos del proyecto.

210.5.2.2 Compactación de la subrasante

Para efectos de la verificación de la compactación de la subrasante que se especifica en el numeral 210.4.1.4.2, se debe definir como lote, que se acepta o rechaza en conjunto, la menor área que resulte de aplicar los siguientes criterios:

- Quinientos metros (500 m) de subrasante compactada en su ancho total.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m^2) de subrasante compactada.
- El área de subrasante compactada con los mismos equipos, en una jornada de trabajo.

Los sitios para la determinación de la densidad seca de la subrasante en el terreno se deben elegir al azar, según la norma de ensayo INV E-730, pero de manera que se realice al menos una (1) prueba por hectómetro. Se deben efectuar, como mínimo, cinco (5) ensayos por lote.

Para el control de la compactación de la subrasante, se debe calcular su grado de compactación, a partir de los resultados de los ensayos de densidad en el terreno y del ensayo de relaciones contenido de agua-peso unitario (ensayo de compactación), mediante la expresión que resulte aplicable entre las siguientes:

- Material sin sobretamaños:

$$GC_i = \frac{\gamma_{d,i}}{\gamma_{d,máx}} * 100 \quad [210.1]$$

- Material con sobretamaños:

$$GC_i = \frac{\gamma_{d,i}}{C\gamma_{d,máx}} * 100 \quad [210.2]$$

Donde:

GC_i, valor individual del grado de compactación, en porcentaje.

$\gamma_{d,i}$, valor individual del peso unitario seco del material en el terreno, determinado por cualquier método aplicable de los descritos en las normas de ensayo INV E-161, E-162 y E-164, sin efectuar corrección por presencia de sobretamaños de manera que corresponda a la muestra total.

$\gamma_{d,máx}$, valor del peso unitario seco máximo del material, obtenido sobre una muestra representativa del mismo según las normas de ensayo INV E-141 (ensayo normal de compactación) o INV E-142 (ensayo modificado de compactación).

$C\gamma_{d,máx}$, valor del peso unitario seco máximo del material, obtenido sobre una muestra representativa del mismo, según las normas de ensayo INV E-141 o INV E-142, y corregido por sobretamaños, según la norma de ensayo INV E-143, numeral 3.1, de manera que corresponda a la muestra total.

Sobretamaños (fracción gruesa) (P_{FG}), porción de la muestra total retenida en el tamiz de control correspondiente al método utilizado para realizar el ensayo de compactación (normas INV E-141 o INV E-142).

El peso unitario seco máximo corregido del material ($C\gamma_{d,máx}$) que se use para calcular el grado de compactación individual (GC_i) se debe obtener, para cada sitio, a partir del contenido de sobretamaños (P_{FG}) presente en ese sitio.

Si los documentos del proyecto no indican otra cosa, los criterios de aceptación deben ser los siguientes:

Para suelos de subrasante que clasifican como A-1, A-2-4 y A-3, el valor del peso unitario seco máximo se debe obtener según la norma de ensayo INV E-142 y el lote se acepta si:

$$GC_l\,(90) \geq 95{,}0\% \quad [210.3]$$

Para otros materiales de subrasante, el valor del peso unitario seco máximo se debe obtener

según la norma de ensayo INV E-141 y el lote se acepta si:

$$GC_l\ (90) \geq 100{,}0\% \quad [210.4]$$

Donde:

GC_l (90), límite inferior del intervalo de confianza en el que, con una probabilidad de noventa por ciento (90 %), se encuentra el valor promedio del grado de compactación del lote, en porcentaje; se calcula según el numeral 107.3.1.3 del artículo 107, Control y aceptación de los trabajos, a partir de los valores individuales del grado de compactación (GC_i).

Las verificaciones de compactación se deben efectuar en todo el espesor de la subrasante.

Los lotes que no alcancen las condiciones mínimas de compactación se deben escarificar, homogenizar, llevar al contenido de agua adecuado y compactar nuevamente hasta obtener el valor de la densidad seca especificada.

210.6 Medida

La unidad de medida debe ser el metro cúbico (m^3), aproximado a la décima (0,1), de material excavado en su posición original. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

El material para el relleno de grietas u oquedades se debe determinar con la cantidad de recipientes puestos en obra, tomando como unidad el litro (L) de material de relleno aplicado, con aproximación de cinco décimas (0,5), según su tipo.

Todas las excavaciones para explanación, canales y préstamos deben ser medidas por volumen ejecutado, con base en las áreas de corte de las secciones transversales del proyecto, original o modificado, verificadas por el interventor antes y después de ser ejecutado el trabajo de excavación

Si el constructor modifica el perfil de la excavación antes de que el interventor realice la medición, o en el caso en el que el constructor cierre la excavación antes de conformada la medición, se debe entender que se acoge a lo que unilateralmente determine el interventor.

No se deben medir las excavaciones que el constructor haya efectuado por negligencia o por conveniencia por fuera de las líneas de pago del proyecto. Si dicha sobreexcavación se efectúa en la subrasante o en una calzada existente, el constructor debe rellenar y compactar los respectivos espacios sin costo adicional para INVÍAS, usando materiales y procedimientos aceptados por el interventor.

En las zonas de préstamo, solamente se debe medir en su posición original los materiales efectivamente utilizados en la construcción de terraplenes y pedraplenes; alternativamente, se puede establecer la medición de los volúmenes de materiales de préstamo utilizados, en su posición final en la vía, reduciéndolos a su posición original mediante la relación de las densidades secas determinadas por el interventor, teniendo en cuenta la corrección de partículas gruesas establecida por la norma INV E-143, siempre que ella se requiera.

No se debe medir ni autorizar pagos para los volúmenes de material removido de derrumbes, durante los trabajos de excavación de taludes cuando, a criterio del interventor y por

instrucción de este, ellos fueren causados por procedimientos inadecuados o por negligencia del constructor.

210.7 Forma de pago

El trabajo de excavación se debe pagar al precio unitario del contrato por toda obra ejecutada de acuerdo con los documentos del proyecto o las instrucciones del interventor, para la respectiva clase de excavación ejecutada satisfactoriamente y aceptada por este.

El precio unitario para la excavación debe cubrir todos los costos por concepto de excavación, remoción, cargue, acarreo libre, y descargue en la zona de utilización o desecho. Se debe considerar la mano de obra, equipos y herramientas utilizadas.

Debe cubrir, además, los costos de conformación y protección de la subrasante; los costos de compactación de la subrasante cuando corresponda, según se indica en el numeral 210.4.1.4.2; la conformación de las zonas laterales y las de préstamo y disposición de sobrantes; los costos de perforación en roca, precortes, explosivos y voladuras; la excavación de zanjas u obras similares y el mejoramiento de esas mismas obras o de cauces naturales; y la limpieza final.

El constructor debe considerar, en relación con los explosivos, todos los costos que implican su adquisición, transporte, escoltas, almacenamiento, vigilancia, manejo y control, hasta el sitio e instante de utilización.

En las zonas del proyecto donde se deba realizar trabajo de descapote, el precio unitario debe cubrir el almacenamiento de los materiales necesarios para las obras y, cuando ellos se acordonen a lo largo de futuros terraplenes, su posterior traslado y extensión sobre los taludes de estos, así como el traslado y la extensión sobre los taludes de los cortes donde esté proyectada su utilización.

Si el material excavado es roca, el precio unitario debe cubrir su eventual almacenamiento para uso posterior, en las cantidades y sitios señalados por el interventor. Para efectos de pago, de los volúmenes de excavación se deben descontar aquellos que se empleen en la construcción de mamposterías, concretos, filtros, y subbases, bases y capas de rodadura tanto de pavimentos asfálticos como de pavimentos rígidos.

En los proyectos de ensanche o de modificación del alineamiento de calzadas existentes, donde se debe garantizar el tránsito, el constructor debe considerar en su precio unitario la señalización preventiva de la vía y el ordenamiento del tránsito automotor durante la ejecución de los trabajos, así como todos los costos por concepto de la conservación de la superficie de rodadura existente.

El precio unitario para la excavación de préstamos debe cubrir todos los costos de desmonte, limpieza y descapote, entendiéndose en este caso como descapote la remoción necesaria de material para acceder al estrato apto de las zonas de préstamo; la excavación, cargue, acarreo libre y descargue de los materiales de préstamo efectivamente utilizados en la construcción de terraplenes o pedraplenes; los costos de adquisición, obtención de permisos y derechos de explotación y de alquiler de las fuentes de materiales de préstamo; el drenaje de las zonas de préstamo, y los costos de adecuación paisajística de las zonas de préstamo para recuperar las

características hidrológicas al terminar su explotación y demás requisitos establecidos en el artículo 106, Aspectos ambientales.

El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

No debe haber pago por las excavaciones y disposición o desecho de los materiales no utilizados que se hayan obtenido en las zonas de préstamo.

El transporte de los materiales provenientes de las excavaciones a una distancia mayor a cien metros (100 m) de acarreo libre se debe medir y pagar de acuerdo con el artículo 900, Transporte de materiales provenientes de excavaciones y derrumbes.

210.8 Ítem de pago

Opción 1: excavación sin clasificar

Ítem	Descripción	Unidad
210.1.1	Excavación sin clasificar de la explanación y canales	Metro cúbico (m^3)
210.1.2	Excavación sin clasificar de préstamos	Metro cúbico (m^3)
210.1.3	Material para el relleno de grietas y oquedades	Litro (L)

Opción 2: excavación clasificada

Ítem	Descripción	Unidad
210.2.1	Excavación en roca de la explanación y canales	Metro cúbico (m^3)
210.2.2	Excavación en material común de la explanación y canales	Metro cúbico (m^3)
210.2.3	Excavación en roca de préstamos	Metro cúbico (m^3)
210.2.4	Excavación en material común de préstamos	Metro cúbico (m^3)
210.2.5	Material para el relleno de grietas y oquedades	Litro (L)

210.9 Glosario

210.9.1 Excavación de la explanación

El trabajo comprende el conjunto de actividades de excavación y nivelación de las zonas donde se va a fundar la carretera, incluyendo taludes y cunetas, así como la escarificación, la conformación y la compactación de la subrasante en corte.

Además, incluye las excavaciones necesarias para el ensanche o la modificación del alineamiento horizontal o vertical de calzadas existentes.

210.9.2 Excavación de canales

El trabajo comprende las excavaciones necesarias para la construcción de canales, zanjas interceptoras y acequias, así como el mejoramiento de obras similares existentes y de cauces naturales.

210.9.3 Excavación en zonas de préstamo

El trabajo comprende el conjunto de las actividades para explotar los materiales adicionales a los volúmenes provenientes de la excavación de la explanación, requeridos para la construcción de los terraplenes o los pedraplenes.

Remoción de derrumbes

Artículo 211 – 22

211.1 Descripción

211.1.1 Generalidades

Este trabajo consiste en la remoción, el desecho y la disposición o la remoción, el cargue, el transporte hasta la distancia de acarreo libre, el descargue y la disposición de los materiales provenientes del desplazamiento de taludes o de laderas, depositados sobre una vía existente o en construcción, y que se convierten en obstáculo para la utilización normal de la vía o para la ejecución de las obras.

Todo movimiento de tierras correspondiente a un movimiento en masa complejo debe ser acompañado de un geotecnista, para que avale la metodología para la remoción del material.

Un movimiento en masa complejo se define como la unión de dos o más movimientos en masa de los descritos en la clasificación de Varnes (1978).

El trabajo se debe hacer de acuerdo con esta especificación y las instrucciones del interventor, quien debe exigir su aplicación desde la entrega de la vía al constructor, hasta su recibo definitivo.

211.1.2 Clasificación

Si el derrumbe se produce durante la ejecución de los cortes proyectados y dentro de sus límites, su remoción se debe medir y pagar, de acuerdo con el artículo 210, Excavación de la explanación, canales y préstamos. Si procede de áreas fuera de los cortes proyectados o si ocurre antes o después de ejecutar los trabajos de excavación, se debe medir y pagar, de acuerdo con la presente especificación.

Para efectos de esta clasificación, se considera terminado el trabajo de remoción cuando la explanación está acabada, de acuerdo con los documentos del proyecto y las especificaciones, y aprobada por el interventor.

211.2 Materiales

Los materiales por remover son los provenientes del derrumbe.

211.3 Equipo

Los equipos para la remoción de derrumbes están sujetos a la aprobación del interventor y deben ser suficientes para garantizar el cumplimiento de esta especificación y del programa de trabajo.

211.4 Ejecución de los trabajos

Para la ejecución de los trabajos, el constructor debe realizar un plan de trabajo donde se especifiquen las condiciones y cada una de las acciones por realizar, para la remoción del derrumbe.

211.4.1 Plan de trabajo

El constructor debe realizar un plan de trabajo por cada derrumbe que pretenda remover, donde debe especificar lo siguiente:

- Localización satelital del derrumbe.
- Material del que se compone el derrumbe.
- Contexto geológico-geotécnico en el que se encuentra el derrumbe.
- Descripción de los daños ocasionados (si los hay) que se presentaron por el derrumbe.
- Esquema del derrumbe, donde se evidencie en detalle, la localización y el contexto geológico-geotécnico.
- Descripción del procedimiento para la remoción del derrumbe, sin que se ocasionen nuevos desprendimientos de material.
- Comentarios adicionales del geotecnista, cuando sea requerido.

Cuando, a criterio del interventor y por instrucción de este, se trate de movimientos complejos, el plan debe estar avalado por un geotecnista calificado, para iniciar las actividades de remoción. En el caso en que se requiera con urgencia adelantar los trabajos de remoción del derrumbe, se debe contar con la aprobación del interventor para que el documento sea presentado después de iniciadas las labores de remoción.

211.4.2 Remoción del derrumbe

El constructor debe emprender el trabajo en los sitios afectados de la vía, cuando lo solicite el interventor.

Cuando ocurra un derrumbe, el constructor debe colocar inmediatamente señalización que indique, durante el día y la noche, la presencia del obstáculo, de acuerdo con las disposiciones vigentes del Ministerio de Transporte y del Instituto Nacional de Vías (INVÍAS); así mismo, es el responsable de mantener la vía transitable.

La remoción del derrumbe se debe efectuar en las zonas indicadas por el interventor y considerando siempre la estabilidad del talud aledaño a la masa de suelo desplazada y de las construcciones vecinas, así como la vida del personal de la obra y las vecindades.

Si el material del derrumbe cae sobre cauces naturales en la zona de la vía, obras de drenaje, subrasantes, subbases, bases y pavimentos terminados, se debe extraer con las precauciones necesarias, sin causar daños a las obras, las cuales se deben limpiar totalmente. Todo daño atribuible por el interventor a descuido o negligencia del constructor debe ser reparado por este, sin costo alguno para INVÍAS.

Si el constructor considera que el material movilizado por el derrumbe puede ser útil para la puesta en obra que esté realizando en ese momento, se deben ejecutar los controles de calidad adecuados, de conformidad con estas especificaciones y las disposiciones legales vigentes, que cumplan con las condiciones de diseño de las estructuras que se

estén realizando. Para la utilización de estos materiales, el interventor, con base en fundamentos técnicos, debe dar el aval para su uso a partir de la evaluación de los mismos.

Los materiales provenientes de los derrumbes se deben disponer de la misma manera que el material sobrante de las excavaciones, conforme se determina en el artículo 210.

211.4.3 Limitaciones en la ejecución

Los trabajos de remoción de derrumbes no se deben realizar en momentos de lluvia ni con posterioridad inmediata a esta.

Los trabajos de remoción de derrumbes se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que sea aprobado por este. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

211.4.4 Manejo ambiental

A pesar de la urgencia con la cual se debe desarrollar generalmente esta actividad, y en adición a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, ella se debe adelantar en cumplimiento de las normas y disposiciones vigentes sobre la conservación del ambiente y los recursos naturales. Cuando el sitio de disposición de los escombros autorizado no se encuentre en cercanías al sitio de trabajo, el constructor puede hacer un acopio temporal de los materiales, con la debida autorización del interventor. Cuando se realicen acopios temporales, se debe garantizar en todo caso, la estabilidad de los materiales, así como el menor impacto al ambiente posible.

Estrictamente, se debe evitar verter los materiales provenientes del derrumbe en cursos o láminas de agua o en áreas habitadas.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades deben estar incluidas en los costos del proyecto, por tanto, no deben ser objeto de reconocimiento directo en el contrato.

211.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

211.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Comprobar el estado y el funcionamiento del equipo empleado en la ejecución de los trabajos.
- Comprobar la calidad del material del derrumbe cuando se quiera poner en obra, de conformidad con estas especificaciones y las disposiciones legales vigentes.
- Verificar la eficiencia y la seguridad de los procedimientos de ejecución de los trabajos.

Cuando el derrumbe haya ocurrido producto de un manejo inadecuado o falta de previsión del constructor, los costos de remoción, desecho, transporte y disposición de los materiales deben correr por su cuenta, sin que INVÍAS o la autoridad correspondiente se vea implicada económicamente, a menos que el interventor justifique detalladamente la razón de la no responsabilidad del constructor.

El interventor debe medir, para efectos de pago, el trabajo ejecutado por el constructor, de acuerdo con la presente especificación.

211.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

El trabajo de remoción de derrumbes debe ser aceptado cuando se ejecute de acuerdo con esta especificación y con las indicaciones del interventor, y se complete hasta ser aprobado por este.

La remoción del derrumbe se considera completa cuando la vía se encuentre limpia y libre de obstáculos; de igual forma, que obras de drenaje funcionen normalmente y se realice una adecuación ambiental que mitigue el efecto del suceso ocurrido.

Luego de removido el material, se debe enviar una copia del plan de trabajo a INVÍAS con los comentarios finales del geotecnista, cuando así se considere conveniente por el interventor.

211.6 Medida

La unidad de medida para la remoción de derrumbes debe ser el metro cúbico (m^3), aproximado al metro cúbico entero, de material efectivamente retirado de cualquier parte de la vía.

El volumen de material removido, desechado y dispuesto se debe medir en estado suelto, verificado por el interventor, con base en el número de viajes transportados.

No se deben determinar los volúmenes de derrumbes que, a criterio del interventor, fueron causados por procedimientos inadecuados o por negligencia del constructor.

211.7 Forma de pago

La remoción de derrumbes se debe pagar al precio unitario del contrato, por todo trabajo ejecutado satisfactoriamente, de acuerdo con la presente especificación y aceptado por el interventor.

El precio unitario debe cubrir todos los costos por concepto de remoción, cargue, transporte hasta la distancia de acarreo libre de cien metros (100 m), descargue, desecho y disposición de cualquier material; debe incluir, también, los costos por mano de obra, señalización preventiva de la vía, control del tránsito automotor, limpieza y restablecimiento del funcionamiento de las obras de drenaje obstruidas por los materiales de derrumbe.

No se deben autorizar pagos para los volúmenes de material de derrumbes, si los materiales se descargan sobre obras del proyecto o en áreas no autorizadas por el interventor.

Tampoco se deben autorizar pagos para los volúmenes de material de derrumbes, causados por procedimientos inadecuados o negligencia del constructor.

El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

El transporte de material de derrumbe a una distancia mayor de cien metros (100 m) de acarreo libre, se debe medir y pagar de acuerdo con el artículo 900, Transporte de Materiales provenientes de excavaciones y derrumbes.

En caso de utilizar el material de derrumbe como material de obra, este debe ser descontado del ítem de pago, de acuerdo con el fin para el cual se vaya a emplear. Con esto, se busca que no se cobre doble vez por un material que debe ser puesto en obra, independientemente de la calidad que este tenga.

211.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
211.1	Remoción de derrumbes	Metro cúbico (m^3)

Terraplenes

Artículo 220 – 22

220.1 Descripción

220.1.1 Generalidades

Este trabajo consiste en la extensión y la compactación por capas, de los materiales cuyas características se definen en el numeral 220.2 de este artículo, en zonas de dimensiones controladas que permitan, de forma sistemática, utilizar maquinaria pesada con destino a crear una plataforma sobre la que se asiente la estructura de pavimento de una carretera, de acuerdo con los documentos del proyecto.

Su ejecución comprende las siguientes operaciones, previa ejecución de las obras de desmonte y limpieza, descapote y retiro del material inadecuado, demolición, drenaje y subdrenaje:

- Preparación de la superficie de apoyo para el relleno mediante escarificación, nivelación o compactación.
- Extensión de los materiales adecuados, de acuerdo con esta especificación para cada capa y zona del terraplén.
- Humedecimiento o secado de los materiales de la capa.
- Conformación y compactación de cada capa del terraplén.

220.1.2 Partes del terraplén

En los rellenos tipo terraplén se distinguen cuatro partes, cuya geometría es definida por el proyecto:

- Corona (capa subrasante): parte superior del terraplén en la cual se apoya la estructura de pavimento. Debe tener un espesor de cincuenta centímetros (50 cm), salvo cuando los documentos del proyecto indiquen un espesor diferente.
- Cimiento: parte inferior del terraplén en contacto con la superficie de apoyo. Debe tener un espesor mínimo de un metro (1 m) salvo cuando los documentos del proyecto indiquen un espesor diferente.
- Núcleo: parte del relleno tipo terraplén comprendida entre el cimiento y la corona.
- Espaldón: parte exterior del relleno tipo terraplén que, ocasionalmente constituye o forma parte de los taludes de este. El material del espaldón debe envolver lateralmente el núcleo protegiéndolo de los agentes externos. No forman parte del espaldón los revestimientos sin misión estructural entre los cuales se consideran plantaciones, cubierta de tierra vegetal, protecciones antierosión, etc.

220.2 Materiales

220.2.1 Requisitos de los materiales

Los materiales que se empleen para la construcción de terraplenes deben provenir de las excavaciones de la explanación, de préstamos laterales o de fuentes aprobadas por el interventor. Sus características deben estar determinadas, de acuerdo con su uso en diferentes zonas del terraplén, garantizando en todos los casos la puesta en obra en condiciones aceptables, la estabilidad de la obra y deformaciones tolerables, a corto y largo plazo para las condiciones de servicio del proyecto.

Además de los suelos naturales, se pueden utilizar en terraplenes los productos procedentes de procesos industriales o de manipulación humana, siempre que cumplan las especificaciones de este artículo y que sus características fisicoquímicas garanticen la estabilidad presente y futura del conjunto. Cuando se empleen bloques de concreto reciclado como materiales para la construcción, estos se deben reducir a un tamaño máximo de veinticinco centímetros (25 cm) y no deben tener acero protuberante en más de uno coma cinco centímetros (1,5 cm) de su superficie. En todo caso se debe aplicar lo dispuesto en la legislación vigente en materia ambiental, de seguridad y salud, y de almacenamiento y transporte de productos de construcción.

El transporte y almacenamiento de todos los materiales son responsabilidad exclusiva del constructor y los debe realizar, de tal forma que no sufran alteraciones que ocasionen deficiencias en la calidad de la obra, teniendo como referencia las especificaciones del proyecto o los requisitos establecidos en la presente especificación.

Se deben cumplir los requisitos establecidos en los documentos del proyecto o en caso de no estar definidos, se deben cumplir los requisitos expuestos en el numeral 220.2.2 de este artículo.

220.2.2 Clasificación de materiales

Desde el punto de vista de sus características intrínsecas, los materiales se clasifican en los siguientes tipos (todos los valores porcentuales indicados, salvo que se especifique lo contrario, se refieren a porcentaje en peso):

220.2.2.1 Suelos seleccionados

Se deben considerar suelos seleccionados aquellos que cumplen las siguientes condiciones:

- Contenido en materia orgánica inferior al cero coma dos por ciento ($MO < 0{,}2$ %), según la norma INV E-121 o UNE 103204.
- Contenido en sales solubles en agua inferior al cero coma dos por ciento ($SS < 0{,}2$ %), según la norma INV E-158.
- Tamaño máximo del agregado menor o igual a cien milímetros ($D_{máx} \leq 100$ mm) según la norma INV E-123.
- Porcentaje que pasa el tamiz de 0,425 mm (nro. 40) menor o igual al quince por ciento ($PP_{40} \leq 15$ %) según la norma INV E-123 o que en caso contrario cumpla todas las siguientes condiciones:
  - Porcentaje que pasa el tamiz de 2,00 mm (nro. 10) menor del ochenta por ciento ($PP_{10} < 80$ %) según la norma INV E-123.
  - Porcentaje que pasa el tamiz de 0,425 mm (nro. 40), menor del setenta y cinco por

ciento (PP_{40} < 75 %) según la norma INV E-123.
- Porcentaje que pasa el tamiz de 0,075 mm (nro. 200) inferior al veinticinco por ciento (PP_{200} < 25 %) según la norma INV E-123.
- Límite líquido menor de treinta por ciento (LL < 30 %), según la norma INV E-125 (ver Figura 220-1).
- Índice de plasticidad menor de diez por ciento (IP < 10 %), según las normas INV E-125 e INV E-126 (ver Figura 220-1).

• Material no colapsable según la norma INV E-157, para muestra remoldeada según el ensayo normal de compactación INV E-141, y presión de ensayo de doscientos kilopascales (200 kPa).

220.2.2.2 Suelos adecuados

Se consideran suelos adecuados aquellos que no pueden ser clasificados como suelos seleccionados y que cumplen las siguientes condiciones:

- Contenido en materia orgánica inferior al uno por ciento (*MO* < 1 %), según la norma INV E-121 o UNE 103204.
- Contenido en sales solubles en agua inferior al cero coma dos por ciento (*SS* < 0,2 %), según la norma INV E-158.
- Tamaño máximo del agregado menor o igual a cien milímetros ($D_{máx}$ ≤ 100 mm) según la norma INV E-123.
- Porcentaje que pasa el tamiz de 2,00 mm (nro.10), menor del ochenta por ciento (PP_{10} < 80 %) según la norma INV E-123.
- Porcentaje que pasa el tamiz de 0,075 mm (nro. 200) inferior al treinta y cinco por ciento (PP_{200} < 35 %) según la norma INV E-123.
- Límite líquido inferior a cuarenta por ciento (LL < 40 %), según la norma INV E-125 (ver Figura 220-1).
- Si el límite líquido es superior a treinta por ciento (LL > 30 %) el índice de plasticidad debe ser superior a cuatro por ciento (IP > 4 %), según las normas INV E-125 e INV E-126 (ver Figura 220-1).
- Expansión libre en edómetro inferior al dos por ciento (< 2 %), según la norma ASTM D4546.
- Material no colapsable según la norma INV E-157, para muestra remoldeada según el ensayo normal de compactación INV E-141, y presión de ensayo de doscientos kilopascales (200 kPa).

220.2.2.3 Suelos tolerables

Se deben considerar como suelos tolerables aquellos que no pueden ser clasificados como suelos seleccionados ni adecuados y que cumplen las siguientes condiciones:

- Contenido en materia orgánica inferior al dos por ciento (*MO* < 2 %), según la norma INV E-121 o UNE 103204.
- Contenido en otras sales solubles inferior al uno por ciento (*SS* < 1 %), según la norma INV E-158.
- Tamaño máximo del agregado menor o igual a ciento cincuenta milímetros ($D_{máx}$ ≤ 150 mm) según la norma INV E-123.
- Límite líquido inferior a sesenta y cinco por ciento (LL < 65 %), según la norma INV E-125 (ver Figura 220-1).
- Si el límite líquido es superior o igual a cuarenta por ciento (LL ≥ 40 %) el índice de plasticidad debe ser mayor de cero coma setenta y tres del valor resultante de la resta de veinte por ciento al límite líquido

(IP > 0,73 * (LL - 20%)) de acuerdo con las normas INV E-125 e INV E-126 (ver Figura 220-1) Por lo tanto, si el límite líquido está entre treinta por ciento y cuarenta por-ciento, (30 % ≤ LL < 40 %), el índice de plasticidad debe ser menor o igual a cuatro por ciento (IP≤ 4 %), según las normas INV E-125 e INV E-126.

- Índice de colapso inferior al uno por ciento (< 1 %), según la norma INV E-157, para muestra remoldeada según el ensayo normal de compactación INV E-141, y presión de ensayo de doscientos kilopascales (200 kPa).
- Expansión libre en edómetro inferior al tres por ciento (< 3 %), según la norma ASTM D4546.

220.2.2.4 Suelos marginales

Se deben considerar como tales los que no pueden ser clasificados como suelos seleccionados, adecuados o tolerables, por el incumplimiento de alguna de las condiciones indicadas para estos y que cumplen las siguientes condiciones:

- Porcentaje de material que pasa el tamiz de 19,0 mm (3/4 de pulgada) mayor al setenta por ciento (> 70 %) o porcentaje que pasa el tamiz de 0,075 mm (nro. 200) mayor al treinta y cinco por ciento (> 35 %), según la norma INV E-123.
- Contenido en materia orgánica inferior al cinco por ciento (*MO* < 5 %), según la norma INV E-121 o UNE 103204.
- Expansión libre en edómetro inferior al cinco por ciento (< 5 %), según la norma ASTM 4546.
- Límite líquido superior o igual a cuarenta por ciento (LL ≥ 40 %). Si el límite líquido está entre cuarenta por ciento y sesenta y cinco por ciento (40 % ≤ LL < 65 %), el índice de plasticidad debe ser menor o igual a cero coma setenta y tres del valor resultante de la resta de veinte por ciento al límite líquido (IP ≤ 0,73 * (LL - 20 %)) de acuerdo con las normas INV E-125 e INV E-126. Si el límite líquido es superior a noventa por ciento (LL > 90 %), el índice de plasticidad debe ser inferior a cero coma setenta y tres del valor resultante de la resta de veinte por ciento al límite líquido (IP < 0,73 * (LL - 20 %)) de acuerdo con las normas INV E-125 e INV E-126 (ver Figura 220-1).

220.2.2.5 Suelos inadecuados

Se deben considerar suelos inadecuados:

- Los que no se puedan incluir en las categorías anteriores (ver Figura 220-1).
- Las turbas y otros suelos que contengan materiales perecederos u orgánicos.
- Los que puedan resultar insalubres para las actividades que sobre los mismos se desarrollen.

220.2.3 Empleo según zonas del terraplén

De acuerdo con las disposiciones del numeral 220.2.1 y la clasificación de materiales del numeral 220.2.2 del presente artículo, los materiales por emplear en las diferentes zonas del terraplén deben ser los siguientes, a menos que los documentos del proyecto indiquen lo contrario:

220.2.3.1 Corona

Se deben utilizar suelos adecuados o seleccionados siempre que su capacidad de soporte cumpla los requisitos técnicos del proyecto y su índice CBR, correspondiente a

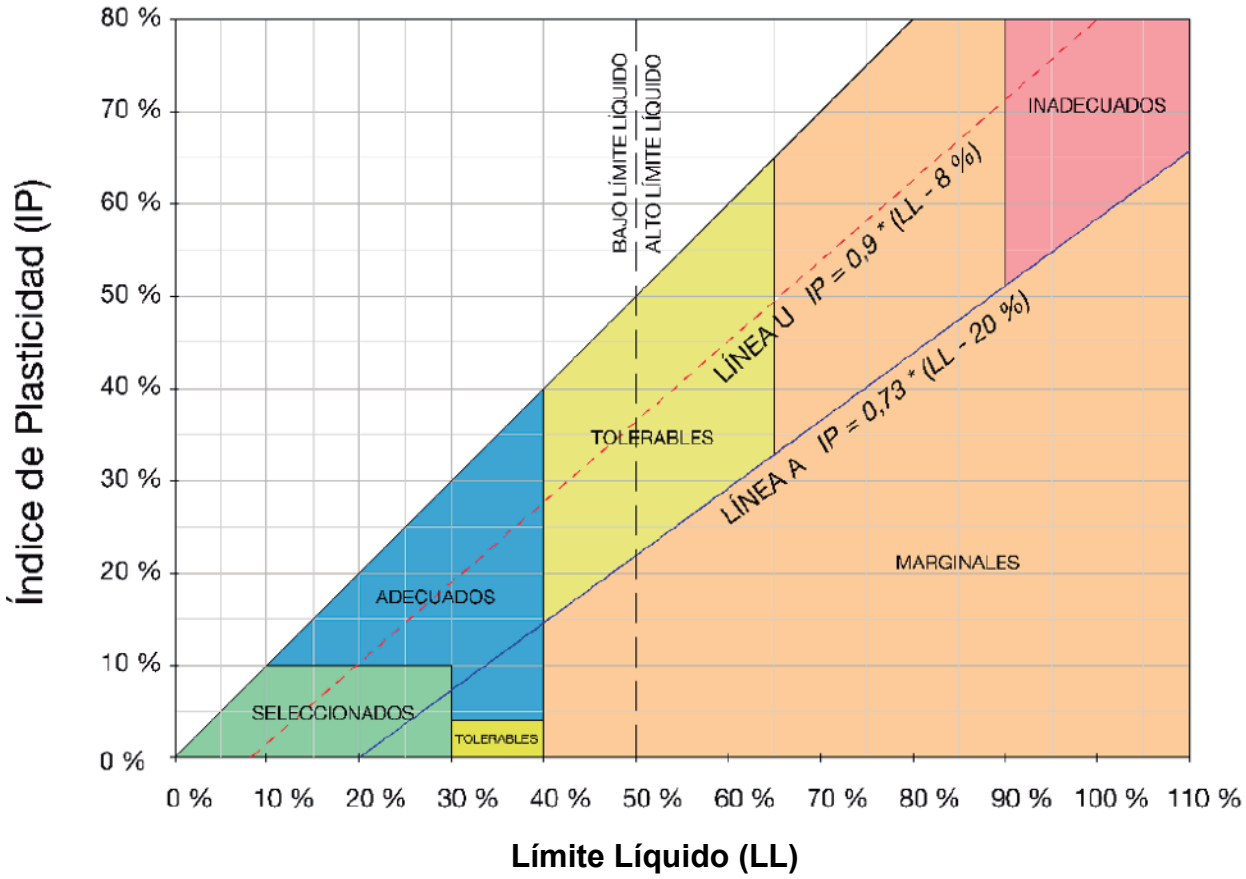


Figura 220 — 1. Criterios de clasificación de materiales según Plasticidad
Fuente: Realizada con base en Dirección General de Carreteras (2002), en Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carretera y Puentes (PG-3).

las condiciones de compactación de puesta en obra, sea como mínimo de cinco (CBR ≥ 5), según la norma INV E-148.

En esta zona no se deben usar suelos tolerables, marginales, expansivos o colapsables. Cuando bajo la corona exista material expansivo o colapsable o con contenido de sulfatos solubles, según la norma INV E-158, mayor del dos por ciento (2 %), la corona debe evitar la infiltración de agua hacia el resto del terraplén, mediante la compactación y el tipo de material o mediante la utilización de medidas complementarias.

220.2.3.2 Cimiento

En el cimiento se deben utilizar suelos tolerables, adecuados o seleccionados siempre que las condiciones de drenaje o estanqueidad lo permitan, que las características del terreno de apoyo sean adecuadas para su puesta en obra y siempre que el índice CBR, correspondiente a las condiciones de compactación de puesta en obra, sea igual o superior a tres (CBR ≥ 3), según la norma INV E-148.

220.2.3.3 Núcleo

Se deben utilizar suelos tolerables, adecuados o seleccionados, siempre que su índice

CBR, correspondiente a las condiciones de compactación de puesta en obra, sea igual o superior a tres (CBR ≥ 3), según la norma INV E-148.

La utilización de suelos marginales o de suelos con índice CBR menor de tres (CBR < 3) debe estar condicionada por problemas de resistencia, deformabilidad y puesta en obra, por lo que su empleo se debe justificar mediante un estudio especial, aprobado por el interventor, conforme a lo indicado en el numeral 220.2.4 de este artículo. La posible utilización de suelos colapsables, expansivos, con sales solubles, con materia orgánica o de cualquier otro tipo de material marginal (según la clasificación del numeral 220.2.2), se debe regir por lo indicado en el numeral 220.2.4 de este artículo.

220.2.3.4 Espaldones

Se deben utilizar materiales que satisfagan las condiciones que defina el proyecto, en cuanto a impermeabilidad, resistencia, peso estabilizador y protección frente a la erosión.

No se deben usar en estas zonas suelos marginales expansivos o colapsables, según lo definido en el numeral 220.2.4 de este artículo.

Cuando en el núcleo exista material expansivo o colapsable o con contenido de sulfatos solubles, según la norma INV E-158, mayor del dos por ciento (2 %), los espaldones deben evitar la infiltración de agua hacia el núcleo bien por la naturaleza y la compactación del material o mediante la adopción de medidas complementarias.

220.2.3.5 Materiales estabilizados

En el cimiento, núcleo y corona del terraplén, se pueden emplear materiales estabilizados o mejorados, mediante métodos técnicamente reconocidos que cuenten con especificaciones técnicas del Instituto Nacional de Vías (INVÍAS). En ausencia de ellas se puede recurrir al procedimiento indicado en el numeral 101.1 del artículo 101, Documentos de referencia y consulta, siempre y cuando los procedimientos de estabilización, mejora o secado cuenten con el aval del interventor. En todo caso, se debe verificar que se cumplan las especificaciones de desempeño de los documentos del proyecto y los requisitos de índice de CBR, expansividad y colapso descritos en los anteriores numerales. Para los materiales estabilizados o mejorados con cemento o cal se aplican, respectivamente, las disposiciones de los artículos 235, Estabilización de suelos de subrasante y terraplén con cemento, y 236, Estabilización de suelos de subrasante y terraplén con cal, de las presentes especificaciones.

220.2.4 Precauciones especiales para el uso de materiales marginales

Los suelos marginales, definidos en el numeral 220.2.2 de este artículo, se pueden utilizar en algunas zonas de la obra, siempre que su uso se justifique mediante un estudio especial, aprobado por el interventor.
Este estudio de usos de materiales marginales debe contemplar explícitamente y con detalle, al menos los siguientes aspectos:

- Determinación y valoración de las propiedades que confieren al suelo su carácter marginal.

- Influencia de dichas características en los diferentes usos del suelo dentro de la obra. Posible influencia en el comportamiento o evolución de otras zonas o elementos de la obra.
- Estudio detallado donde se indiquen las características resistentes del material y los asentamientos totales y diferenciales esperados, así como la evolución futura de estas características.
- Conclusión justificada de los posibles usos del material en estudio.
- Cuidados, disposiciones constructivas y prescripciones técnicas por adoptar para los diferentes usos del suelo dentro de la obra.

En ningún caso se deben emplear suelos marginales un metro (1 m) bajo el nivel superior de la corona o los taludes del terraplén. En los siguientes numerales se detallan algunas consideraciones sobre el uso de distintos tipos de suelos en los terraplenes.

220.2.4.1 Suelos colapsables

Se deben considerar suelos colapsables aquellos en los que una muestra remoldeada y compactada con la densidad y el contenido de agua del ensayo normal de compactación, según la norma INV E-141, sufra un asiento superior al uno por ciento (1 %) de la altura inicial de la muestra cuando se ensaye según la norma INV E-157 y presión de ensayo de doscientos kilopascales (200 kPa).

Los suelos colapsables no se deben usar en la corona ni en los espaldones. Su uso en el núcleo y en el cimiento debe estar sujeto a un estudio especial que, teniendo en cuenta la funcionalidad del terraplén, el grado de colapsabilidad del suelo, las condiciones climáticas y de niveles freáticos, defina las disposiciones y cuidados por adoptar para su uso.

Se recomienda compactar estos suelos ligeramente del lado húmedo, en relación con el contenido de agua óptimo del ensayo de compactación de referencia. No obstante, el método de compactación definitivo debe ser definido en el estudio especial aprobado por el interventor.

220.2.4.2 Suelos expansivos

Se consideran suelos expansivos aquellos en los que en una muestra remoldeada y compactada con la densidad y contenido de agua óptimos del ensayo normal de compactación, según la norma INV E-141, supere un hinchamiento libre del tres por ciento (3 %) según la norma ASTM D4546.

Los suelos expansivos así definidos, no se deben utilizar en coronación ni en los espaldones ya que en estas zonas son más pronunciadas las variaciones estacionales del contenido de agua. Si resultara inevitable su empleo en el núcleo, se debe realizar un estudio especial que defina las disposiciones y los cuidados por adoptar durante la construcción, teniendo en cuenta la funcionalidad del relleno tipo terraplén, las características de permeabilidad de la coronación y espaldones, el hinchamiento libre y las condiciones climáticas.
No se puede usar en ningún caso aquellos suelos cuyo hinchamiento libre, sea superior al cinco por ciento (5 %).

Se recomienda compactar estos suelos ligeramente del lado húmedo, en relación con el contenido de agua óptimo del ensayo de compactación de referencia. No obstante, el

método de compactación definitivo debe ser definido en el estudio especial aprobado por el interventor.

220.2.4.3 Suelos con sales solubles

La utilización de materiales con sales solubles en agua debe ser la siguiente, de acuerdo con su contenido:

- Menor del cero coma dos por ciento (0,2 %): utilización en cualquier zona del terraplén.
- Entre el cero coma dos y el uno por ciento (0,2 % — 1 %): utilización en el núcleo del terraplén, sin necesidad de tomar precauciones especiales en coronación y espaldones.
- Mayor del uno por ciento (1 %): se requiere un estudio especial, aprobado expresamente por el interventor de las obras.

220.2.4.4 Suelos con materia orgánica

El contenido de materia orgánica se debe determinar según la norma INV E-121 o UNE 103204. Estas normas incluyen como materia orgánica todas las sustancias oxidables existentes en la muestra ensayada, por tanto, cuando las sustancias oxidables no orgánicas puedan influir de forma importante sobre los resultados obtenidos, el interventor puede autorizar que el contenido de materia orgánica se obtenga descontando los materiales oxidables no orgánicos, determinados según el método explícitamente aprobado por este.

La norma INV E-121 emplea el método de obtención por ignición, el cual en algunos materiales puede arrojar resultados mayores debido a la calcinación parcial de algunos minerales a la temperatura de ensayo. La norma UNE 103204 describe un método químico para la obtención de la materia orgánica por lo que puede ser usado en los casos en los que se sospecha menor confiabilidad de los métodos por ignición. Cuando se cuente con los resultados de ambos métodos, se debe dar prioridad a los obtenidos mediante métodos químicos. En rellenos tipo terraplén de hasta cinco metros (5 m) de altura, se puede admitir en el núcleo materiales con hasta un cinco por ciento ($MO \leq 5$ %) de materia orgánica, siempre que las deformaciones previsibles se hayan tenido en cuenta explícitamente en el proyecto.

Para terraplenes de más de cinco metros (5 m) de altura, el uso de suelos con porcentaje de materia orgánica superior al dos por ciento ($MO > 2$ %) se debe justificar con un estudio especial, aprobado por el interventor.

En la corona, el contenido de materia orgánica debe ser inferior al uno por ciento ($MO < 1$ %).

220.3 Equipo

El equipo que se utilice para la construcción de terraplenes debe ser el adecuado para obtener la calidad especificada en el proyecto, en cantidad suficiente para producir el volumen establecido en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, conforme al programa de utilización de maquinaria, y en cumplimiento de las exigencias de la presente especificación. Es responsabilidad del constructor su selección.

Dicho equipo debe ser mantenido en óptimas condiciones de operación, durante el tiempo que dure la obra y debe ser operado por personal capacitado. Si en la ejecución del trabajo

y a criterio del interventor y por instrucción de este, el equipo presenta deficiencias o no produce los resultados esperados, se debe suspender inmediatamente el trabajo, en tanto que el constructor corrija las deficiencias, lo remplace o sustituya al operador. Los atrasos en el programa de ejecución, que por este motivo se ocasionen, son responsabilidad del constructor.

220.4 Ejecución de los trabajos

220.4.1 Generalidades

Los trabajos de construcción de terraplenes se deben efectuar siguiendo los procedimientos contemplados en los documentos del proyecto puestos a consideración del interventor y aprobados por este. Su avance físico se debe ajustar al programa de trabajo. Cuando los documentos del proyecto no especifiquen procedimientos se deben entender como requisitos mínimos los dispuestos en esta especificación.

Si los trabajos de construcción o ampliación de terraplenes afectan el tránsito normal en la vía o en sus intersecciones y cruces con otras vías, el constructor es responsable de tomar las medidas para mantenerlo adecuadamente.
Cuando se haya programado la construcción de las obras de arte previamente a la elevación del cuerpo del terraplén, no se debe iniciar la construcción de este antes de que las alcantarillas y los muros de contención se terminen en un tramo no menor de quinientos metros (500 m) adelante del frente del trabajo, en cuyo caso se deben concluir también, en forma previa, los rellenos de protección que tales obras necesiten.

220.4.2 Preparación del terreno

Antes de iniciar la construcción de los terraplenes, deben estar terminadas las labores de desmonte y limpieza, según se especifica en el artículo 200, Desmonte y limpieza; y las demoliciones de estructuras que se requieran, según se especifica en el artículo 201, Demolición y remoción.

Se debe excavar y retirar la capa vegetal y todo material inadecuado, según el artículo 210, Excavación de la explanación, canales y préstamos. También se deben implementar las medidas de drenaje definitivo indicadas en los documentos del proyecto y de drenaje provisional contempladas por el constructor en su método constructivo. Si las condiciones del sitio requieren medidas adicionales para garantizar la estabilidad del terraplén, el interventor debe determinar los eventuales trabajos de descapote y retiro del material inadecuado, así como el drenaje del área base según los artículos 210, Excavación de la explanación, canales y préstamos; 600, Excavaciones varias; y 673, Subdrenes con geotextil y material granular.

Cuando el terreno base esté limpio y drenado satisfactoriamente, se debe escarificar, conformar y compactar, de acuerdo con las exigencias de compactación definidas en la presente especificación, en una profundidad de quince centímetros (15 cm). En el caso de terraplenes cimentados sobre afirmados o pavimentos existentes, se deben escarificar al menos diez centímetros (10 cm) del material, el cual se debe reducir hasta alcanzar tamaños máximos de diez centímetros (10 cm), para luego regarse, mezclarse y compactarse. Cuando el terreno de fun-

dación sea roca o terreno rocoso, se debe fundar el terraplén directamente sobre este, en su estado natural.

En las zonas de ensanche de terraplenes existentes o en la construcción de estos sobre terreno inclinado, el talud existente o el terreno natural se debe cortar en forma escalonada, de acuerdo con los documentos del proyecto o las instrucciones del interventor, para asegurar la estabilidad del terraplén nuevo. Este procedimiento es obligatorio en pendientes transversales mayores de veinte por ciento (20 %).

Dado que las operaciones de desbroce, escarificado y escalonado de las pendientes dejan la superficie de terreno fácilmente erosionable por los agentes atmosféricos, estos trabajos no se deben llevar a cabo sino hasta el momento previsto y en las condiciones oportunas, para reducir al mínimo el tiempo de exposición, salvo que se recurra a protecciones de la superficie.

Cuando lo señale los documentos del proyecto, la capa superficial de suelo existente que cumpla lo estipulado en el numeral 220.2, se debe mezclar con el material que se va a utilizar en el terraplén nuevo.
En general y especialmente en las medias laderas donde, a corto y largo plazo, se prevea la presencia de agua en la zona de contacto del terreno con el relleno, se deben ejecutar las obras necesarias, recogidas en el proyecto, para mantener drenado dicho contacto.

Si el terraplén debe ser construido sobre turba o suelos blandos, se debe asegurar la eliminación total o parcial de estos materiales. Si lo anterior fuera impráctico, se debe considerar su tratamiento previo y consolidación, o la utilización de otro medio indicado en los documentos del proyecto o propuesto por el constructor y autorizado por el interventor, que permita mejorar la calidad del soporte, con el fin de resistir los esfuerzos debidos al peso del terraplén terminado.

Si se encuentra considerado en los documentos del proyecto, la superficie de apoyo se puede preparar tendiendo directamente sobre el suelo blando uno o varios geosintéticos, encima de los cuales se debe construir el cuerpo del terraplén. La colocación de los geosintéticos se debe realizar de conformidad con los documentos del proyecto y siguiendo las disposiciones del artículo 232, Estabilización de suelos de subrasante con geotextil.

En casos especiales, cuando los terraplenes se deban construir en zonas pantanosas, se debe colocar material en una (1) sola capa hasta la elevación mínima a la cual pueda trabajar el equipo. Por encima de dicha elevación, el terraplén se debe construir por capas que se deben compactar con los niveles de densificación señalados en el numeral 220.5.2.2.2.

220.4.3 Cuerpo del terraplén

El interventor solo debe autorizar la colocación de materiales de terraplén cuando el terreno base esté adecuadamente preparado, según se indica en el numeral 220.4.2 de este artículo.

El constructor debe colocar estacas espaciadas a no más de veinte metros (20 m) entre sí, que delimiten el pie del terraplén, dejando puntos de referencia, tanto altimétricos como

planimétricos, que permitan en cualquier momento reponer las estacas que se pierdan o deterioren.

Los suelos de escasa o nula cohesión se pueden emplear en la construcción del cuerpo del terraplén, siempre que dicho material quede confinado lateralmente con suelos cohesivos y no erosionables, y que cumplan lo estipulado para suelos seleccionados o adecuados en el numeral 220.2.2, en un ancho mínimo de un metro (1 m) medido horizontalmente desde la línea de talud hacia el cuerpo del terraplén.

El material del terraplén se debe colocar en capas sensiblemente paralelas y de espesor uniforme, el cual debe ser lo suficientemente reducido para que, con los equipos disponibles, se obtenga el grado de compactación exigido. Este espesor no debe ser mayor a treinta centímetros (30 cm) antes de la compactación, salvo que se garantice alcanzar las densidades de diseño y el interventor autorice lo contrario. En todos los casos, el espesor de la capa debe ser superior a tres medios (3/2) del tamaño máximo del material a utilizar.

Los materiales de cada capa deben ser de características uniformes. No se debe extender ninguna capa, mientras no se haya comprobado que la subyacente cumple las condiciones de compactación exigidas. Se debe garantizar que las capas presenten adherencia y homogeneidad entre sí. Cuando se trate de terraplenes nuevos, cada capa debe ser extendida y compactada a todo lo ancho de la sección transversal.

Es responsabilidad del constructor asegurar un contenido de agua que garantice el grado de compactación exigido en todas las capas del cuerpo del terraplén. En los casos especiales en que el contenido de agua del material sea considerablemente mayor que el adecuado para obtener la compactación prevista, y el exceso de agua no pueda ser eliminado por el sistema de aireación, el constructor debe proponer y ejecutar los procedimientos más convenientes para reducirlo con previa autorización del interventor.

Obtenido el contenido de agua más conveniente, se debe compactar de manera mecánica la capa. En los cimientos y los núcleos de terraplenes, las densidades secas que alcancen no deben ser inferiores a las mínimas exigidas, de acuerdo con el numeral 220.5.2.2.2.

El trabajo se debe realizar comenzando desde los bordes del terraplén, avanzando hacia el centro con pasadas paralelas traslapadas en, por lo menos, la mitad del ancho de la unidad compactadora. En curvas peraltadas, la compactación debe comenzar en la parte baja y avanzar hacia la más alta.

Toda la superficie debe recibir el número suficiente de pasadas completas para obtener una compactación uniforme en todo el ancho del terraplén, y satisfactoria según las exigencias del numeral 220.5.2.2.2.

Se debe conseguir que todo el perfil del relleno tipo terraplén quede debidamente compactado, para lo cual, se puede dar un sobreancho a la capa del orden de un metro (1 m) que permita el acercamiento del compactador al borde para después recortar el talud. Estos sobreanchos no se deben considerar en la medición de volúmenes para el pago.

Durante la ejecución de las obras, la superficie de las capas debe tener la pendiente transversal necesaria, en general en torno al cuatro por ciento (4 %), para asegurar la evacuación de las aguas sin peligro de erosión y evitar empozamientos. En terraplenes de más de cinco metros (5 m) de altura, y en todos aquellos casos en que sea previsible una fuerte erosión de la superficie exterior del relleno, se deben construir estructuras de conducción que lleven las aguas hasta bajantes dispuestas para controlar las aguas de escorrentía. Se debe proceder asimismo a la adopción de las medidas protectoras del entorno, previstas en los documentos del proyecto o indicadas por el interventor, frente a la acción, erosiva o sedimentaria, del agua de escorrentía.

Las capas susceptibles de saturarse durante la vida del relleno tipo terraplén se deben construir, de acuerdo con los documentos del proyecto, con un material en el que la granulometría impida el arrastre de partículas y en el que las deformaciones que se puedan producir al saturarse sean aceptables para las condiciones de servicio definidas en dichos documentos.

Las zonas que, por su reducida extensión, su pendiente o su proximidad a obras de arte, no permitan el empleo del equipo que normalmente se esté utilizando para la compactación, se deben compactar con equipos apropiados para el caso, en tal forma que las densidades secas obtenidas no sean inferiores a las determinadas en esta especificación para la capa del terraplén que se esté compactando.

220.4.4 Corona del terraplén

Salvo que los documentos del proyecto o las especificaciones particulares establezcan algo diferente, la corona debe tener un espesor compacto de cincuenta centímetros (50 cm) construidos en, mínimo, dos capas, las cuales se conforman utilizando suelos seleccionados o adecuados, según lo establecido en el numeral 220.2.3. Los suelos se deben humedecer o airear según sea necesario, y se deben compactar mecánicamente hasta obtener los niveles señalados en el numeral 220.5.2.2.2.

Los terraplenes se deben construir hasta una cota superior a la indicada en los documentos del proyecto, en la dimensión suficiente para compensar los asentamientos producidos por efecto de la consolidación y obtener la rasante final a la cota proyectada, con las tolerancias establecidas en el numeral 220.5.2.2.2.

Si por causa de los asentamientos, las cotas de subrasante resultan inferiores a las proyectadas, incluidas las tolerancias indicadas en esta especificación, se debe escarificar la capa superior del terraplén en el espesor que apruebe el interventor y adicionar del mismo material utilizado para conformar la corona, efectuando la homogeneización, humedecimiento o secamiento y compactación requeridos hasta cumplir las cotas de subrasante.

Si las cotas finales de subrasante resultan superiores a las proyectadas, teniendo en cuenta las tolerancias de esta especificación, el constructor debe retirar, a sus expensas, el espesor en exceso. Este retiro no puede afectar desfavorablemente ni el grado de

compactación ni la pendiente transversal exigida a esta capa.

En la corona de terraplenes, la densidad seca que se alcance con el proceso de compactación no debe ser inferior a la mínima exigida en el numeral 220.5.2.2.2.

220.4.5 Acabado

Al terminar cada jornada, la superficie del terraplén debe estar compactada y bien nivelada, con declive suficiente que permita el escurrimiento de aguas lluvias sin peligro de erosión.

Con el fin de disminuir el efecto erosivo del agua sobre los taludes de los terraplenes, estos se deben proteger mediante su empradización, conforme lo establece el artículo 810, Protección vegetal de taludes, o el sistema que indiquen los documentos del proyecto y/o la especificación particular correspondiente.

220.4.6 Estabilidad

El constructor debe responder, hasta la aceptación final, por la estabilidad de los terraplenes construidos con cargo al contrato y debe sustituir, sin cargo para INVÍAS, cualquier tramo que, a criterio del interventor y por instrucción de este, presente defectos constructivos o deterioros atribuibles al descuido o negligencia del constructor o por causas distintas a las indicadas en el párrafo siguiente.

Si el trabajo se ha hecho adecuadamente conforme a las especificaciones, los documentos del proyecto y las instrucciones del interventor, y resultan daños causados exclusivamente por movimientos inevitables del suelo sobre el que se ha construido el terraplén, por lluvias copiosas que excedan cualquier máximo de lluvias de registros anteriores, derrumbes inevitables, terremotos, inundaciones que excedan la máxima cota de elevación de agua registrada o señalada en los planos, se deben reconocer al constructor los costos por las medidas correctivas, las excavaciones necesarias y la reconstrucción del terraplén. Estos costos no deben ser reconocidos cuando los derrumbes, hundimientos o inundaciones se deban a mala construcción de las obras de drenaje, falta de retiro oportuno de formaletas u obstrucciones derivadas de operaciones deficientes de construcción, imputables al constructor.

220.4.7 Limitaciones en la ejecución

La construcción de terraplenes solo se debe llevar a cabo cuando no haya lluvia o fundados temores de que ella ocurra y la temperatura ambiente no sea inferior a dos grados Celsius (2 °C). El interventor debe tener en cuenta la influencia de las lluvias antes de aprobar el extendido y compactación del relleno.

Se debe prohibir la acción de todo tipo de tránsito sobre las capas en ejecución, hasta que se haya completado su compactación. Si ello no resulta posible, se debe eliminar el espesor de las capas que, a criterio del interventor y por instrucción de este, haya sido afectado negativamente por el tránsito. No se debe permitir que, sobre las capas que han sido liberadas se acopie material fresco para ser trasladado a otras zonas del terraplén, en caso de que sea necesario, se deben extender plásticos para evitar saturación de la capa que ya ha sido recibida.

Los trabajos de construcción de terraplenes se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que sea aprobado por este. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

220.4.8 Manejo ambiental

En adición a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las determinaciones referentes a la construcción de terraplenes deben ser tomadas considerando la conservación del ambiente y los recursos naturales, y las normas y disposiciones vigentes sobre los particulares.

Especialmente, se debe prestar atención al correcto funcionamiento de los dispositivos de drenaje y a la protección vegetal de los taludes para evitar erosiones y arrastre de partículas sólidas.
Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades deben estar incluidas en los costos del proyecto, por tanto, no deben ser objeto de reconocimiento directo en el contrato.

220.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

220.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y el funcionamiento de todo el equipo de construcción.
- Supervisar la correcta aplicación de los métodos de trabajo aceptados.
- Vigilar el cumplimiento de los programas de trabajo.
- Comprobar que los materiales por emplear cumplan los requisitos de calidad exigidos en el numeral 220.2.
- Verificar la compactación de todas las capas del terraplén.
- Realizar medidas para determinar espesores, levantar perfiles y comprobar la uniformidad de la superficie.

220.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

220.5.2.1 Calidad de los materiales

De cada procedencia de los suelos empleados para la construcción de terraplenes y para cualquier volumen previsto, se deben tomar cuatro (4) muestras y de cada fracción de ellas se deben determinar los parámetros indicados en los numerales 220.2.2 y 220.2.3. La totalidad de los resultados debe satisfacer las exigencias señaladas en el texto, según el tipo de suelo, so pena de rechazo de los materiales deficientes.

Durante la etapa de producción, el interventor debe examinar las descargas de los materia-

les y debe ordenar el retiro de aquellas que, a simple vista, presenten restos de tierra vegetal, materia orgánica o tamaños superiores al máximo especificado.

Además, debe efectuar las verificaciones periódicas de la calidad del material que se indican en la Tabla 220 — 1.

debe ser de tres a dos (3:2) (H:V), salvo indicación distinta en los documentos del proyecto. El ancho de la plataforma del terraplén a nivel de subrasante se debe ajustar a las dimensiones establecidas en los perfiles tipo del proyecto. No obstante, se puede aceptar un sobreancho de hasta cero coma quince metros (0,15 m) respecto a la línea teórica del

Tabla 220 — 1. Verificaciones periódicas de calidad de los materiales

Característica	Norma de ensayo	Frecuencia
Granulometría	INV E-123	Una (1) vez por jornada
Contenido de materia orgánica	INV E-121/UNE 103204	Una (1) vez a la semana
Límite líquido	INV E-125	Una (1) vez por jornada
Índice de plasticidad	INV E-126	Una (1) vez por jornada
CBR de laboratorio, con expansión	INV E-148	Una (1) vez por semana
Ensayo de expansión libre en edómetro	ASTM D4546	Una (1) vez por semana (Nota)
Índice de colapso	INV E-157	Una (1) vez por mes
Densidad seca máxima	INV E-142	Una (1) vez por semana
Contenido de sales solubles	INV E-158	Una (1) vez a la semana

Nota: el ensayo de expansión libre se debe ejecutar semanalmente para caracterizar la expansión de los materiales marginales que se contemplen en el terraplén. En otros tipos de material su ejecución se puede reducir a una (1) vez al mes o suspender, previa aprobación del interventor.

220.5.2.2 Calidad del producto terminado

220.5.2.2.1 Acabado

Cada capa terminada de terraplén debe presentar una superficie uniforme y ajustada a la rasante y a las pendientes establecidas.

Los taludes terminados no deben acusar irregularidades a la vista.

Los taludes de los terraplenes deben tener una inclinación uniforme, la que en general

talud, medido perpendicularmente al plano de este. En el caso de terraplenes construidos con material rocoso, dicho sobreancho puede ser el doble del anteriormente señalado. Cuando el tamaño máximo del material rocoso no permita cumplir lo anterior, se acepta un sobreancho mayor que cero coma treinta metros (0,30 m), pero en ningún caso, superior a cero coma cincuenta metros (0,50 m). Los taludes terminados deben quedar libres de protuberancias y depresiones, deben presentar una superficie uniforme y estéticamente aceptable, y deben ser aprobados por el interventor. Los sobreanchos constructivos

necesarios no deben ser objeto de pagos adicionales y su ejecución se debe hacer por cuenta y riesgo del constructor.

La distancia entre el eje del proyecto y el borde del terraplén no debe ser menor que la distancia señalada en los documentos del proyecto.

La cota de cualquier punto de la subrasante en terraplenes, conformada y compactada, no debe variar en más de treinta milímetros (30 mm) de la cota proyectada, medida verticalmente hacia abajo, y en ningún caso la cota de subrasante puede superar la cota del proyecto.

No se tolera en las obras concluidas, ninguna irregularidad que impida el normal escurrimiento de las aguas.

En adición a lo anterior, se deben efectuar las siguientes comprobaciones.

220.5.2.2.2 Compactación

Para la verificación de la compactación de cada una de las capas del terraplén, se define como lote, que se acepta o rechaza en conjunto, el menor volumen que resulte de aplicar los siguientes criterios:

- Quinientos metros (500 m) de capa compactada en el ancho total del terraplén.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m^2) en el caso de las capas de la corona o cinco mil metros cuadrados (5 000 m^2) en el resto de las capas si el terraplén tiene menos de cinco metros (5 m) de altura y de diez mil metros cuadrados (10 000 m^2) en caso contrario.
- El volumen construido con el mismo material, del mismo corte o préstamo y colocado y compactado con los mismos equipos, en una jornada de trabajo.

Los sitios para la determinación de la densidad seca de cada capa de terraplén en el terreno se deben elegir al azar, según la norma de ensayo INV E-730, pero de manera que se realice al menos una (1) prueba por hectómetro. Se deben efectuar, como mínimo, cinco (5) ensayos por lote.

Para el control de la compactación de una capa de terraplén, se debe calcular su grado de compactación a partir de los resultados de los ensayos de densidad en el terreno y del ensayo de relaciones contenido de agua-peso unitario (ensayo de compactación), mediante la expresión que resulte aplicable entre las siguientes:

- Material sin sobretamaños:

$$GC_i = \frac{\gamma_{d,i}}{\gamma_{d,máx}} * 100 \qquad [220.1]$$

- Material con sobretamaños:

$$GC_i = \frac{\gamma_{d,i}}{C\gamma_{d,máx}} * 100 \qquad [220.2]$$

Donde:
GC_i, valor individual del grado de compactación, en porcentaje.

$\gamma_{d,i}$, valor individual del peso unitario seco del material en el terreno, determinado por cualquier método aplicable de los descritos en las normas de ensayo INV E-161, E-162 y E-164,

sin efectuar corrección por presencia de sobretamaños, de manera que corresponda a la muestra total.

$\gamma_{d,máx}$, valor del peso unitario seco máximo del material, obtenido sobre una muestra representativa del mismo, según las normas de ensayo INV E-141 (ensayo normal de compactación) o INV E-142 (ensayo modificado de compactación).

$C\gamma_{d,máx}$, valor del peso unitario seco máximo del material, obtenido sobre una muestra representativa del mismo según las normas de ensayo INV E-141 o INV E-142, y corregido por sobretamaños según la norma de ensayo INV E-143, numeral 3.1, de manera que corresponda a la muestra total.

Sobretamaños (fracción gruesa) (P_{FG}), porción de la muestra total retenida en el tamiz de control correspondiente al método utilizado para realizar el ensayo de compactación (normas INV E-141 o INV E-142).

El peso unitario seco máximo corregido del material ($C\gamma_{d,máx}$) que se use para calcular el grado de compactación individual (GC_i) se debe obtener, para cada sitio, a partir del contenido de sobretamaños (P_{FG}) presente en ese sitio.

Los documentos del proyecto, o en su defecto el interventor, deben definir el ensayo de referencia para obtener el peso unitario seco en las diferentes zonas del terraplén entre el ensayo INV E-141 y el INV E-142. En caso de omisión, se debe considerar como ensayo de referencia el INV E-142. Sin embargo, cuando se compacten suelos expansivos, se aconseja el uso del ensayo INV E-141.

Cuando se emplee el ensayo INV E-142 los criterios de aceptación deben ser los siguientes:

$$GC_l\ (90) \geq 90{,}0\ \%$$
(*Cimiento, espaldones y núcleo*) **[220.3]**

$$GC_l\ (90) \geq 95{,}0\ \%\ (Corona)$$ **[220.4]**

Cuando se emplee el ensayo INV E-141 los criterios de aceptación deben ser los siguientes:

$$GC_l\ (90) \geq 95{,}0\ \%$$
(*Cimiento, espaldones y núcleo*) **[220.5]**

$$GC_l\ (90) \geq 100{,}0\ \%\ (Corona)$$ **[220.6]**

Donde:

GC_l (90), límite inferior del intervalo de confianza en el que, con una probabilidad de noventa por ciento (90 %), se encuentra el valor promedio del grado de compactación del lote, en porcentaje. Se debe calcular según el numeral 107.3.1.3 del artículo 107, Control y aceptación de los trabajos, a partir de los valores individuales del grado de compactación (GC_i).

Las verificaciones de compactación se deben efectuar en todo el espesor de la capa que se está controlando.

Los lotes que no alcancen las condiciones mínimas de compactación se deben escarificar, homogenizar, llevar al contenido de agua adecuado y se deben compactar nuevamente hasta obtener el valor de la densidad seca especificada.

220.5.2.2.3 Irregularidades

Todas las irregularidades que excedan las tolerancias de la presente especificación deben ser corregidas por el constructor, a su costa, de acuerdo con las instrucciones del interventor y hasta ser aprobadas por este.

220.5.2.2.4 Protección de la corona del terraplén

La corona del terraplén no debe quedar expuesta a las condiciones atmosféricas. Por tanto, se debe construir en forma inmediata la capa superior proyectada una vez terminada su compactación y acabado final. Es responsabilidad del constructor la reparación de cualquier daño a la corona del terraplén, por la demora en la construcción de la capa siguiente.

De ser necesario, el constructor puede proteger la corona del terraplén mediante la compactación de treinta centímetros (30 cm) de material adicional sobre la corona, previa autorización del interventor, sin costo adicional para INVÍAS. Este material debe cumplir los mismos requisitos del material de la corona y debe ser provisto y removido por el constructor bajo su cuenta y riesgo.

220.6 Medida

La unidad de medida para los volúmenes de terraplenes debe ser el metro cúbico (m^3), aproximado a la décima (0,1), de material compactado, aceptado por el interventor, en su posición final. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

Todos los terraplenes se deben medir por los volúmenes determinados, con base en las áreas de las secciones transversales del proyecto localizado, verificadas por el interventor antes y después de ser ejecutados los trabajos de terraplenes. Dichas áreas deben estar limitadas por las siguientes líneas de pago:

- Las líneas del terreno (terreno natural descapotado, afirmado existente, cunetas y taludes existentes).
- Las líneas del proyecto (subrasante o límite inferior de la subbase, cunetas y taludes proyectados).

No debe haber medida ni pago para los terraplenes por fuera de las líneas del proyecto, efectuados por el constructor, ya sea por negligencia o por conveniencia para la operación de sus equipos.

Los rellenos con materiales sobrantes de excavación o de derrumbes que se coloquen sobre taludes de terraplenes terminados no se deben medir; su conformación y compactación debe ser cubierta con los artículos 210, Excavación de la explanación, canales y préstamos; y 211, Remoción de derrumbes. No se deben medir los terraplenes que se efectúen en trabajos de zonas laterales y las de préstamo y desecho.

No se deben medir los terraplenes que haga el constructor en sus caminos de construcción y obras auxiliares que no formen parte de las obras del proyecto.
Tampoco se deben medir, ni deben ser objeto de pago, los rellenos que sean necesarios para restituir la explanación a las cotas proyectadas, debido a un exceso de excavación.

220.7 Forma de pago

El trabajo de terraplenes se debe pagar al precio unitario del contrato, por toda obra ejecutada satisfactoriamente, de acuerdo con la presente especificación y aceptada por el interventor.

El precio unitario debe cubrir los costos de escarificación, nivelación, conformación, compactación y demás trabajos preparatorios de las áreas en donde se haya de construir un terraplén nuevo; debe cubrir, además, colocación, conformación, humedecimiento o secamiento y compactación de los materiales utilizados en la construcción de terraplenes y, en general, todo costo relacionado con la correcta construcción de los terraplenes, de acuerdo con esta especificación, los documentos del proyecto y las instrucciones del interventor.

El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

Debe haber pago separado para los diversos ítems relacionados con el desmonte y la limpieza, demolición y remoción, los cortes de los taludes en media ladera y de los terraplenes por ampliar y el drenaje de las áreas que reciben terraplenes, establecidos en los artículos 200, Desmonte y limpieza; 201, Demolición y remoción; 210, Excavación de la explanación, canales y préstamos; 600, Excavaciones varias; y 673, Subdrenes con geotextil y material granular.

También debe haber pago separado para los trabajos de empradización de los taludes de los terraplenes conforme se indica en el artículo 810, Protección vegetal de taludes, para los materiales estabilizados o mejorados con cemento o cal de acuerdo a lo dispuesto en los artículos 235 y 236, así como para el suministro y colocación de los geosintéticos a los cuales se hace referencia en el numeral 220.4.2, los cuales se pagan, de acuerdo con la especificación particular establecida para ello.

Los materiales para los terraplenes y su transporte se deben medir y pagar de acuerdo con lo indicado en los artículos 210, Excavación de la explanación, canales y préstamos; y 900, Transporte de materiales provenientes de excavaciones y derrumbes, respectivamente.

Salvo que los documentos del proyecto indiquen lo contrario, se debe aplicar el mismo precio unitario a todas las partes del terraplén.

220.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
220.1	Terraplenes	Metro cúbico (m^3)

Pedraplenes

Artículo 221 – 22

221.1 Descripción

221.1.1 Generalidades

Este trabajo consiste en la extensión y la compactación por capas, de los materiales cuyas características se definen en los numerales 221.2 y 221.4.3 de este artículo, en zonas de dimensiones controladas que permitan, de forma sistemática, la utilización de maquinaria pesada, con destino a crear una plataforma sobre la que se asiente la estructura de pavimento de una carretera de acuerdo con los documentos del proyecto.

Su ejecución comprende las siguientes operaciones, previa ejecución de las obras de desmonte y limpieza, descapote y retiro del material inadecuado, demolición, drenaje y subdrenaje:

- Preparación de la superficie de apoyo para el pedraplén.
- Extensión de los materiales adecuados de acuerdo con esta especificación para cada capa y zona del pedraplén.
- Conformación y compactación de cada capa del pedraplén.

221.1.2 Partes del pedraplén

En los pedraplenes se distinguen cuatro partes o zonas constitutivas:

- Transición: formada por la parte superior del pedraplén, cuyo espesor debe ser de dos (2) capas, por lo menos igual a un metro (1 m), salvo que los documentos del proyecto modifiquen dicha magnitud.
- Cimiento: parte inferior del pedraplén, en contacto con el terreno natural o superficie de apoyo. Su espesor debe ser como mínimo de un metro (1 m) o la máxima altura libre desde la superficie de apoyo hasta la zona de transición del pedraplén, cuando dicha altura libre sea inferior a un metro (1 m).
- Núcleo: parte del pedraplén comprendida entre el cimiento y la transición.
- Espaldón: parte exterior del relleno tipo pedraplén que, ocasionalmente constituye o forma parte de los taludes de este. El material del espaldón envuelve lateralmente el núcleo protegiéndolo de los agentes externos. No se consideran parte del espaldón los revestimientos sin misión estructural entre los cuales se consideran plantaciones, cubierta de tierra vegetal, protecciones antierosión, etc.

El núcleo y el cimiento constituyen el cuerpo del pedraplén.

221.1.3 Corona (capa subrasante)

Es la zona comprendida entre la transición del pedraplén y la superficie de la explanación. Sus dimensiones y características son las

mismas que se establecen para la corona de los terraplenes y están definidas en el artículo 220, Terraplenes.

221.2 Materiales

Los materiales por emplear en la construcción de pedraplenes pueden proceder de la excavación de la explanación o de fuentes aprobadas y deben provenir de cantos rodados o rocas sanas, compactas, resistentes y durables frente a la acción de agentes externos y, en particular, frente al agua.

Se consideran rocas estables frente al agua aquellas que, sumergidas en agua durante veinticuatro horas (24 h), con tamaños representativos de los de puesta en obra, no manifiestan fisuración alguna, y la pérdida de peso que sufren es igual o inferior al dos por ciento (2 %) (norma UNE 146510). También, se pueden realizar pruebas de ciclos de humedecimiento-secado para calificar la estabilidad de estas rocas, según lo defina el interventor (norma UNE 146510).

Deben cumplir los requisitos establecidos en los documentos del proyecto. Si dichos documentos no establecen estos requisitos, se deben utilizar los siguientes:

221.2.1 Distribución de tamaños de partícula

El material compactado debe cumplir con las siguientes condiciones:

- El tamaño máximo del agregado debe estar entre los cien y los novecientos milímetros (100 mm – 900 mm).
- El porcentaje en peso de partículas menores al tamiz de 19,0 mm (3/4 de pulgada), debe ser inferior al treinta por ciento (30 %).
- El porcentaje en peso de partículas que pasen el tamiz de 0,075 mm (nro. 200), debe ser inferior al diez por ciento (10 %).

La curva granulométrica total del material compactado debe estar dentro de la franja definida en la Tabla 221 — 1. Los documentos del proyecto pueden modificar esta franja, adaptándola a las características del material y al proceso que se apruebe para la ejecución de la obra.

Tabla 221 — 1. Otros requisitos granulométricos del material para pedraplenes

Abertura tamiz (mm)	Pasa tamiz (%)
220	90 — 100
55	45 — 60
14	15 — 35

Los requisitos de granulometría que se exigen en el presente numeral se refieren al material ya compactado. Las granulometrías obtenidas en otros instantes solamente deben tener valor orientativo, debido a las segregaciones y alteraciones inevitables durante la construcción.

221.2.2 Forma de las partículas

Se acepta un contenido en peso de partículas con forma inadecuada de hasta treinta por ciento (30 %). Para estos efectos se deben considerar partículas con forma inadecuada aquellas en que se verifique:

$$(L + G) / 2 \geq 4 * E \quad [221.1]$$

Donde:

L (longitud), separación máxima entre dos (2) planos paralelos tangentes a la partícula.

G (grosor), abertura de la malla cuadrada por la que puede pasar la partícula.

E (espesor), separación mínima entre dos (2) planos paralelos tangentes a la partícula.

Los valores de *L*, *G* y *E* no deben ser necesariamente medidos en tres direcciones perpendiculares entre sí. Cuando el contenido en peso de partículas de forma inadecuada sea igual o superior al treinta por ciento (30 %), solo se puede utilizar este material cuando se realice un estudio especial, aprobado por el interventor, que garantice la densificación y el comportamiento adecuado de la estructura.

221.2.3 Resistencia a la abrasión

Al ser sometido al ensayo de desgaste en la máquina de Los Ángeles, granulometría 1, según la norma de ensayo INV E-219, el material por utilizar en la construcción del pedraplén debe tener un desgaste inferior al cincuenta por ciento (50 %).

221.3 Equipo

El equipo empleado para la construcción de pedraplenes debe ser compatible con los procedimientos de ejecución adoptados y requiere aprobación previa del interventor, teniendo en cuenta que su capacidad y eficiencia se ajusten al programa de ejecución de los trabajos y al cumplimiento de las exigencias de la presente especificación.

El equipo que se utilice para la construcción de pedraplenes debe ser el adecuado para obtener la calidad especificada en los documentos del proyecto, en cantidad suficiente para producir el volumen establecido en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, conforme al programa de utilización de maquinaria, y en cumplimiento de las exigencias de la presente especificación; y es responsabilidad del constructor su selección. Dicho equipo se debe mantener en óptimas condiciones de operación durante el tiempo que dure la obra y debe ser operado por personal capacitado. Si en la ejecución del trabajo y a criterio del interventor y por instrucción de este, el equipo presenta deficiencias o no produce los resultados esperados, se debe suspender inmediatamente el trabajo en tanto que el constructor corrija las deficiencias, lo remplace o sustituya al operador. Los atrasos en el programa de ejecución, que por este motivo se ocasionen, son responsabilidad del constructor.

221.4 Ejecución de los trabajos

221.4.1 Generalidades

Los trabajos de construcción de pedraplenes se deben efectuar según los procedimientos

puestos a consideración del interventor y aprobados por este. Su avance físico se debe ajustar al programa de trabajo.

Si los trabajos de construcción de pedraplenes afectan el tránsito normal en la vía o en sus intersecciones con otras vías, el constructor es responsable de mantenerlo adecuadamente.

221.4.2 Preparación de la superficie de apoyo

Antes de proceder a la colocación y la compactación de los materiales del pedraplén, se debe realizar el desmonte, la limpieza y la excavación de la capa vegetal y el retiro de material inadecuado, de acuerdo con lo establecido en los artículos 200, Desmonte y limpieza, y 210, Excavación de la explanación, canales y préstamos, si ello está previsto en el proyecto; así como la demolición y remoción de estructuras y obstáculos existentes, conforme se indica en el artículo 201, Demolición y remoción.

Si el pedraplén debe ser construido sobre turba o suelos blandos, se debe asegurar la eliminación total o parcial de estos materiales. Si lo anterior fuera impráctico, se debe considerar su tratamiento previo y consolidación, el desplazamiento de las capas blandas mediante cargas sucesivas de material de pedraplén, o la utilización de otro medio indicado en los documentos del proyecto o propuesto por el constructor y autorizado por el interventor, que permita mejorar la calidad del soporte, con el fin de resistir los esfuerzos debidos al peso del pedraplén terminado.

Si se encuentra considerado en los documentos del proyecto, la superficie de apoyo se puede preparar tendiendo directamente sobre el suelo blando uno o varios geosintéticos, encima de los cuales se debe construir el cuerpo del pedraplén. La colocación de los geosintéticos se debe realizar de conformidad con los documentos del proyecto y siguiendo las disposiciones del artículo 232, Estabilización de suelos de subrasante con geotextil.

Cuando el terreno base esté satisfactoriamente limpio y drenado, se debe escarificar, conformar y compactar, de acuerdo con las exigencias de compactación definidas en la presente especificación, en una profundidad de quince centímetros (15 cm). En el caso de pedraplenes cimentados sobre afirmados o pavimentos existentes, se deben escarificar al menos diez centímetros (10 cm) del material, el cual se debe reducir hasta alcanzar tamaños máximos de diez centímetros (10 cm), para luego regarse, mezclarse y compactarse. Cuando el terreno de fundación sea roca o terreno rocoso, se debe fundar el pedraplén directamente sobre este, en su estado natural.

En las zonas de ensanche de pedraplenes existentes o en la construcción de estos sobre terreno inclinado, el talud existente o el terreno natural se debe cortar en forma escalonada, de acuerdo con los documentos del proyecto o las instrucciones del interventor, para asegurar la estabilidad del pedraplén nuevo. En terrenos inclinados se considera este procedimiento como obligatorio, cuando se tengan pendientes transversales mayores de veinte por ciento (20 %). Si el material cortado es del mismo tipo que el nuevo y cumple las condiciones exigidas para este, se puede reutilizar mezclándolo con el nuevo para su compactación simultánea. En caso contrario, debe ser trasladado a un sitio de disposición adecuado.

Dado que las operaciones de desbroce, escarificado y escalonado de las pendientes dejan la superficie de terreno fácilmente erosionable por los agentes atmosféricos, estos trabajos no se deben llevar a cabo hasta el momento previsto y en las condiciones oportunas para reducir al mínimo el tiempo de exposición, salvo que se recurra a protecciones de la superficie.

Cuando el relleno tipo pedraplén se deba colocar sobre un terreno en el que exista agua superficial, se debe conducir el agua fuera del área donde se vaya a construir, antes de comenzar su ejecución, mediante obras que pueden tener el carácter de accesorias, y que se deben ejecutar con arreglo a lo previsto para tal tipo de obras en los documentos del proyecto o, en su defecto, siguiendo las instrucciones del interventor.

221.4.3 Cuerpo y transición del pedraplén

El interventor solo debe autorizar la colocación de materiales de pedraplén cuando la superficie de apoyo esté adecuadamente preparada, según se indica en el numeral 221.4.2 de esta especificación. Se exceptúa de esta instrucción el caso en el cual la superficie de apoyo se obtenga por asentamiento de suelos blandos, mediante cargas sucesivas de material de pedraplén, tal como se indica en el mismo numeral.

El material de pedraplén se debe colocar en capas sensiblemente paralelas a la superficie de la explanación, de espesor uniforme y adecuado para que, con los medios disponibles, los vacíos entre los fragmentos más grandes se llenen con las partículas más pequeñas del mismo material, de modo que se obtenga el nivel de densificación deseado y sin evidencias visibles de que se requiera una mayor compactación en el material.

El espesor de las capas del pedraplén debe ser el adecuado para que, con los medios disponibles, se obtenga la compacidad deseada. A falta de otra especificación, dicho espesor debe ser superior a tres medios (3/2) del tamaño máximo del material a utilizar y al menos sesenta centímetros (60 cm). Salvo autorización expresa del interventor, a propuesta justificada del constructor, el espesor máximo de las capas, una vez compactadas, no debe ser nunca superior a uno coma treinta y cinco metros (1,35 m) ni a tres (3) veces el tamaño máximo del agregado.

El material de cada capa se debe descargar en obra sobre la parte ya extendida de dicha capa y cerca de su frente de avance. Desde esta posición se debe empujar hasta el frente de avance, extendido mediante un equipo provisto con pala de empuje. Se debe realizar la operación de forma que se corrijan las posibles segregaciones del material. En casos especiales se puede regar el pedraplén con agua a presión, siempre que el interventor lo considere conveniente.

Entre los materiales pétreos empleados en las capas sucesivas de la transición, se deben cumplir las siguientes condiciones:

$$\frac{I_{15}}{S_{85}} < 5 \quad ; \quad \frac{I_{50}}{S_{50}} < 25 \qquad [221.2]$$

Donde:

I_x, abertura del tamiz por el cual pasa el x por ciento en peso del material de la capa inferior.

S_x, abertura del tamiz por el cual pasa el *x* por ciento en peso de material de la capa superior.

El espesor total de la transición debe ser de un metro (1 m) o el que fije los documentos del proyecto o las especificaciones particulares, según se establece en el numeral 221.1.2.

El método que se apruebe para compactar las diferentes capas en que se construya el pedraplén debe garantizar la obtención de las compacidades deseadas y, para ello, se deben determinar en la fase de experimentación la granulometría del material, el espesor de cada capa, el equipo de compactación y su número de pasadas.

Durante la ejecución de las obras, la superficie de las capas debe tener la pendiente transversal necesaria, en general en torno al cuatro por ciento (4 %), para asegurar la evacuación de las aguas sin peligro de erosión y evitar la concentración de flujos. Se deben adelantar las obras de conducción necesarias para guiar las aguas hacia bajantes provisionales que controlen las aguas de escorrentía. Se debe proceder asimismo a la adopción de las medidas protectoras del entorno frente a la acción, erosiva o sedimentaria, del agua de escorrentía, previstas en los documentos del proyecto o indicadas por el interventor.

Si las cotas finales de la capa de transición resultan superiores a las proyectadas, teniendo en cuenta las tolerancias de esta especificación, el constructor debe retirar el espesor en exceso, mediante un procedimiento que sea aprobado por el interventor.

221.4.4 Fase de experimentación

Antes de iniciar los trabajos, el constructor debe proponer por escrito al interventor el método de construcción que considere más apropiado para cada tipo de material por emplear, con el fin de cumplir las exigencias de la presente especificación.

En dicha propuesta se deben especificar las características de la maquinaria por utilizar, los métodos de excavación, cargue y transporte de los materiales, el procedimiento de colocación, los espesores de las capas y el método para compactarlas. Además, se deben aducir experiencias similares con el método de ejecución propuesto, si las hubiere.

Salvo que el interventor considere que, con el método que se propone, existe suficiente experiencia satisfactoria, su aprobación debe quedar condicionada a un ensayo en la obra. Dicho ensayo debe consistir en la construcción de un tramo experimental, con un volumen representativo aprobado por el interventor, con el objeto de comprobar la idoneidad del método propuesto o proceder a adaptarlo al caso considerado. En el tramo experimental se deben realizar como mínimo dos (2) capas de al menos diez metros (10 m) de ancho.

Durante la construcción del pedraplén experimental se debe determinar la granulometría del material recién excavado, la del material extendido, y la granulometría y la densidad del material compactado. Para determinar estos valores se deben utilizar muestras representativas, de volumen no inferior a cuatro metros cúbicos (4 m^3). Se deben efectuar al menos tres (3) ensayos de cada tipo.

Así mismo, se deben efectuar apiques y trincheras sobre el material compactado, para verificar visualmente la uniformidad con la que quedan colocados los materiales de las diversas capas. Dichos apiques o trincheras deben afectar a todo el espesor de la capa y tener un volumen mínimo de cuatro metros cúbicos (4 m^3), una superficie mínima de cuatro metros cuadrados (4 m^2) y una dimensión mínima en planta superior a cinco (5) veces el tamaño máximo del agregado. Se deben controlar las deformaciones superficiales del pedraplén, mediante procedimientos topográficos, después de cada pasada del equipo de compactación, y la densidad media y la porosidad del material compactado.

La porosidad del pedraplén experimental compactado debe ser menor del treinta por ciento (n < 30 %). Las pasadas del equipo compactador deben ser como mínimo cuatro (4) y el asentamiento producido con la última pasada debe ser inferior al uno por ciento (1 %) del espesor de la capa a compactar, medido después de la primera pasada.

221.4.5 Corona del pedraplén

Su construcción se debe ceñir a lo establecido en el numeral 220.4.4 del artículo 220.

221.4.6 Limitaciones en la ejecución

La construcción de pedraplenes no se debe llevar a cabo en instantes de lluvia o cuando existan fundados temores de que ella ocurra. El interventor debe tener en cuenta la influencia de las lluvias antes de aprobar el extendido y compactación del relleno.

Los trabajos de construcción de pedraplenes se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que sea aprobado por este. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

221.4.7 Manejo ambiental

Rige lo indicado en el numeral 220.4.8 del artículo 220.

221.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

221.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y funcionamiento del equipo de construcción.
- Supervisar la correcta aplicación de los métodos de trabajo aceptados.
- Vigilar el cumplimiento de los programas de trabajo.
- Comprobar que los materiales que se empleen en la construcción del pedraplén cumplan los requisitos de calidad mencionados en los numerales 221.2 y 221.4.3.
- Controlar los espesores y demás requisitos exigidos a las capas compactadas del cuerpo y la transición del pedraplén.

Los controles referentes a la corona se deben realizar, de acuerdo con lo que se establece en el artículo 220.

221.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

221.5.2.1 Calidad de los materiales

De cada procedencia de los materiales empleados para la construcción de pedraplenes y para cualquier volumen previsto, se deben tomar cuatro (4) muestras y a cada una de ellas se le deben determinar:

- La granulometría, según las normas de ensayo INV E-213, para materiales con tamaños máximos nominales de hasta cinco (5) pulgadas, o ASTM D5519, para materiales con tamaños superiores a tres (3) pulgadas.
- El desgaste en la máquina de Los Ángeles, de acuerdo con la norma de ensayo INV E-219.

Los resultados de los ensayos anteriores deben satisfacer las exigencias indicadas en el numeral 221.2, so pena de rechazo de los materiales defectuosos.

Durante la etapa de producción, el interventor debe examinar las diferentes descargas de los materiales y ordenar el retiro de aquellos que, a simple vista, contengan tierra vegetal, materia orgánica o tamaños superiores al máximo especificado. Además, debe efectuar las verificaciones periódicas de calidad del material que se indican en la Tabla 221 — 2.

Tabla 221 — 2. Verificaciones periódicas de calidad de los materiales

Ensayo	Norma de ensayo	Frecuencia
Granulometría	INV E-213 ASTM D5519	Una (1) vez por jornada
Desgaste en la máquina de Los Ángeles	INV E-219	Una (1) vez al mes

El interventor puede autorizar el empleo de partículas con tamaño superior a los dos tercios (2/3) del espesor de la capa compactada en la construcción del cimiento y el núcleo, si considera que todos los vacíos son ocupados por material más fino, de tal modo que se forme una masa densa y compacta.

En la construcción de la transición, el interventor debe exigir que la gradación de los materiales empleados se ajuste totalmente a las indicaciones del numeral 221.4.3, sin tolerancia alguna.

221.5.2.2 Calidad del producto terminado

El interventor debe exigir que:

- Los taludes terminados no acusen irregularidades a la vista.
- La distancia entre el eje del proyecto y el borde del pedraplén no sea menor que la distancia señalada en los documentos del proyecto.
- Las cotas de terminación de la transición del pedraplén, conformado y compactado,

no varíen en más de cincuenta milímetros (50 mm) de las proyectadas, aceptándose solamente tolerancia hacia abajo.

Teniendo en cuenta que la densidad de las capas no se puede verificar por métodos convencionales, esta se debe considerar satisfactoria después de que el equipo de compactación pase sobre cada capa el número de veces definido en la fase de experimentación.

Todas las irregularidades que excedan las tolerancias de la presente especificación deben ser corregidas por el constructor, a su costa, de acuerdo con las instrucciones del interventor y hasta ser aprobadas por este.

221.6 Medida

La unidad de medida para los pedraplenes debe ser el metro cúbico (m^3), aproximado al metro cúbico entero, de material compactado, aceptado por el interventor, en su posición final. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

Los volúmenes de pedraplén deben ser medidos con base en las áreas de las secciones transversales del proyecto localizado, verificadas por el interventor antes y después de ser ejecutados los trabajos de pedraplenes. Dichas áreas deben estar limitadas por las siguientes líneas de pago:

- Las líneas del terreno (terreno natural o descapotado, afirmado existente, cunetas y taludes existentes).
- Las líneas del proyecto (línea inferior de la corona, cunetas y taludes proyectados).

En aquellas zonas en que el pedraplén se construya sobre terrenos inestables, mediante el proceso de desplazamiento, el volumen de pedraplén empleado hasta alcanzar el nivel del terreno original se debe medir en metros cúbicos sueltos (m^3), aproximados al metro cúbico entero, los cuales deben ser verificados por el interventor con base en el número de viajes vertidos.

No debe haber medida de pedraplenes por fuera de las líneas del proyecto, elaborados por el constructor por negligencia o conveniencia para la operación de sus equipos.

Los rellenos con materiales sobrantes de excavación o de derrumbes que se coloquen sobre taludes de pedraplenes terminados no se deben medir; su colocación y conformación deben ser cubiertas con los artículos 210, Excavación de la explanación, canales y préstamos y 211, Remoción de derrumbes, respectivamente.

221.7 Forma de pago

El trabajo de pedraplenes se debe pagar al precio unitario del contrato, por toda obra ejecutada satisfactoriamente de acuerdo con la presente especificación y aceptada por el interventor. El precio unitario debe cubrir los costos inherentes a los trabajos de preparación de la superficie de apoyo del pedraplén, la colocación, la conformación y la compactación de los materiales utilizados en la construcción de los pedraplenes y, en general, todo costo relacionado con su correcta construcción, de acuerdo con esta especificación, los documentos del proyecto y las instrucciones del interventor.

El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

Debe haber pago separado para los diversos ítems relacionados con el descapote, los cortes de los taludes de los pedraplenes por ampliar, el drenaje de las áreas que hayan de recibir los pedraplenes y la demolición y remoción de estructuras y obstáculos existentes, de acuerdo con los artículos 210, Excavación de la explanación, canales y préstamos; 600, Excavaciones varias; 673, Subdrenes con geotextil y material granular; y 201, Demolición y remoción.

Los materiales para pedraplén se deben pagar de acuerdo con lo indicado en el artículo 210, Excavación de la explanación, canales y préstamos.

El transporte de todos los materiales del pedraplén se debe pagar conforme se indica en el artículo 900, Transporte de materiales provenientes de excavaciones y derrumbes.

Si la preparación de la superficie de apoyo requiere la utilización de geosintéticos, estos se deben pagar con cargo a la especificación particular que se establezca para dicho trabajo. La corona del pedraplén se debe medir y pagar conforme se indica en el artículo 220, Terraplenes.

221.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
221.1	Pedraplén compacto	Metro cúbico (m^3)
221.2	Pedraplén suelto	Metro cúbico (m^3)

Terraplenes reforzados con geosintéticos

Artículo 223 – 22

223.1 Descripción

Este trabajo consiste en la construcción de terraplenes reforzados con geosintéticos, en los sitios y con las dimensiones señalados en los documentos del proyecto.

El sistema de terraplenes reforzados con geosintéticos es aplicable a taludes con inclinación máxima de setenta grados (70°).

223.2 Materiales

223.2.1 Geosintéticos

Los geosintéticos para el refuerzo de terraplenes pueden ser geotextiles o geomallas fabricados para aplicaciones de refuerzo. El tipo y las propiedades requeridas del geosintético deben ser los establecidos en los documentos del proyecto. Las propiedades de los geosintéticos relacionadas con los requisitos de diseño deben ser, como mínimo, las indicadas en la Tabla 223 — 1.

Las propiedades de los geosintéticos se expresan en general en términos de Valores Mínimos Promedio por Rollo (VMPR). El VMPR es una herramienta de control de la calidad, que le permite a los fabricantes establecer los valores en sus certificados, de manera que el comprador tenga un nivel de confianza del noventa y siete coma siete por ciento (97,7 %) de que las propiedades, medidas sobre el producto que compra, cumplen los valores certificados. Para datos que tengan una distribución normal, el VMPR se calcula como el valor típico menos dos (2) veces la desviación estándar, cuando se especifican valores mínimos, o más dos (2) veces la desviación estándar, cuando se especifican valores máximos.

Los valores promedio de los resultados de los ensayos practicados a cualquier rollo deben satisfacer los requisitos establecidos en este artículo.

Tabla 223 — 1. Propiedades de los geosintéticos relacionadas con los requisitos de diseño

Propiedad	Norma de ensayo	Requisito
Resistencia a la tensión última en la dirección del refuerzo, mínimo (kN/m): - Geotextiles - Geomallas	 ASTM D4595 ASTM D6637	Según lo establecido en los documentos del proyecto

Propiedad	Norma de ensayo	Requisito
Resistencia a la tensión a largo plazo del geosintético en la dirección del refuerzo, mínimo (kN/m).	Numeral 223.2.1.1	Según lo establecido en los documentos del proyecto
Resistencia de las uniones o nodos de las geomallas.	ASTM D7737	Según lo establecido en los documentos del proyecto
Coeficiente de interacción geosintético/suelo por extracción para el tipo de relleno contemplado en el proyecto, mínimo.	ASTM D6706	0,85
Coeficientes de deslizamiento pico y residual en la interfaz geosintético/suelo, para el tipo de relleno contemplado en el proyecto, mínimo.	ASTM D5321	Según lo establecido en los documentos del proyecto
Estabilidad ultravioleta: resistencia retenida después de quinientas horas (500 h) de exposición, valor mínimo (%).	ASTM D4355	70

223.2.1.1 Resistencia a largo plazo

Los valores de resistencia a largo plazo de los geosintéticos (T_{lp}) deben cumplir los requisitos establecidos en los documentos del proyecto. Estos valores se deben determinar a partir de la resistencia última (T_{ult}) (ecuación 223.1) y los factores de reducción (ecuación 223.2) determinados mediante ensayos o establecidos como valores por defecto, según las recomendaciones de las siguientes guías del *Geosynthetic Institute* (*GSI*):

- GRI GG4(a), *Determination of the Long-Term Design Strength of Stiff Geogrids*.
- GRI GG4(b), *Determination of the Long-Term Design Strength of Flexible Geogrids*.
- GRI GT7, *Determination of Long-Term Design Strength of Geotextiles*.

$$T_{lp} = T_{ult} / RF \quad [223.1]$$

$$\text{donde } RF = RF_{ID} \times RF_{CR} \times RF_{D} \quad [223.2]$$

Donde:

RF, factor de reducción de resistencia combinado, que tiene en cuenta el potencial de degradación a largo plazo debido a daños de instalación, fluencia y degradación química y biológica.

RF_{ID}, factor de reducción de resistencia para tener en cuenta los daños de instalación.

RF_{CR}, factor de reducción de resistencia para prevenir la rotura del refuerzo a largo plazo por fluencia (*creep*).

RF_{D}, factor de reducción de resistencia para prevenir la rotura del refuerzo por degradación química y biológica.

Así mismo, se deben tener en cuenta los criterios indicados en las siguientes publicaciones de la AASHTO y la FHWA:

- AASHTO LRFD *Bridge Design Specifications, Customary U.S. Units*.
- FHWA-NHI-10-024, *Design and Construction of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes – Volume I*.

- FHWA-NHI-10-025, *Design and Construction of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes – Volume II.*

El constructor debe entregar las certificaciones de los ensayos efectuados para determinar los factores de reducción específicos para las condiciones del proyecto, suministradas por el proveedor del geosintético. En ausencia de estos ensayos, se deben emplear los valores por defecto mencionados en las guías del *Geosynthetic Institute (GSI)* y de la FHWA.

Para la determinación de los factores de reducción se deben tener en cuenta, además, las consecuencias que pueda tener la falla o el comportamiento deficiente del geosintético, según los criterios establecidos en los documentos de la AASHTO y la FHWA citados anteriormente.

Algunas de las pautas que se deben tener en cuenta para la selección de los factores de reducción son las siguientes:

- Para geosintéticos que cuenten con todos los ensayos y pruebas específicas para el producto, relacionados con daños durante la instalación, fluencia (*creep*) y degradación (química y biológica), el valor de reducción de resistencia combinado (*RF*) debe estar típicamente entre tres (3) y seis (6). En ningún caso, este valor debe ser menor que dos (2).
- Para geosintéticos que no cuenten con todos los ensayos y las pruebas específicas para el producto, como soporte para la determinación de los factores de reducción, y sea necesario emplear valores por defecto, el valor de *RF*, no debe ser menor que siete (7).
- El período de diseño para la selección de los factores de reducción debe ser el definido en los documentos del proyecto, pero no debe ser menor de cien (100) años para obras permanentes.
- El factor de reducción por daños durante la instalación (RF_{ID}) se debe escoger en función del tipo de material de relleno por emplear.
- En cualquier caso, los valores del factor de reducción por daños durante la instalación (RF_{ID}) y el factor de reducción de resistencia para prevenir la rotura del refuerzo por degradación química y biológica (RF_D) no deben ser menores a uno coma uno (1,1).

223.2.1.2 Empalmes en la dirección del refuerzo

Si los documentos del proyecto contemplan la ejecución de empalmes en la dirección del refuerzo (costuras de geotextiles o empalmes mecánicos de geomallas), las resistencias últimas y a largo plazo a la tensión de esos empalmes, en la dirección perpendicular al empalme, deben cumplir los valores especificados en la Tabla 223 — 1. La medición de la resistencia última y el cálculo de la resistencia a largo plazo de los empalmes se deben realizar con los mismos procedimientos de ensayo y análisis que se utilizan para determinar las resistencias del geosintético.

223.2.1.3 Documentación de soporte de la resistencia a largo plazo

Para la aprobación de los geosintéticos de refuerzo, el fabricante o proveedor debe suministrar la información que se menciona en la Tabla 223 — 2, relacionada con la resistencia a largo plazo para diseño.

Tabla 223 — 2. Información de soporte para la determinación de la resistencia a largo plazo de los geosintéticos

Propiedad	Método o norma de ensayo
Comportamiento en fluencia para un rango de niveles de carga, para una duración mínima de diez mil horas (10 000 h).	ASTM D5262
Resultados de ensayos de laboratorio y metodología para la extrapolación de los datos de fluencia para setenta y cinco (75) años y cien (100) años.	FHWA-NHI-10-025 Vol II Apéndice D
Resistencia última a la tensión: - Geotextiles - Geomallas Los ensayos se deben ejecutar a una tasa de deformación de diez por ciento por minuto (10 %/min.).	 ASTM D4595 ASTM D6637
Resultados de ensayos de laboratorio y técnicas de extrapolación que documenten las siguientes características para todos los componentes del geosintético: - Resistencia a la hidrólisis del poliéster (PET). - Resistencia a la oxidación del polipropileno (PP) y polietileno de alta densidad (HDPE). - Resistencia al agrietamiento por esfuerzos del polietileno de alta densidad (HDPE). - Factores de seguridad parciales por degradación por envejecimiento para setenta y cinco (75) años y cien (100) años.	Métodos recomendados en el documento FHWA RD 97-144
Resultados de ensayos de campo y laboratorio, así como criterios utilizados de la literatura especializada, que soporten los factores de reducción por deterioro en la instalación en función de la gradación del material de relleno.	Guías del documento FHWA-NHI-10-025 Vol II
Resultados de ensayos de laboratorio y metodología para la extrapolación que documenten la resistencia a la degradación biológica de todos los materiales que componen el geosintético y los valores de reducción correspondientes (Nota).	Guías del documento FHWA-NHI-10-025 Vol II
Resistencia de las uniones o nodos de las geomallas.	ASTM D7737
Coeficientes de interacción geosintético/suelo por extracción para varios tipos de suelo.	ASTM D6706
Coeficientes de deslizamiento en las interfaces geosintético/suelo, para varios tipos de suelo, y geosintético/geosintético.	ASTM D5321
Información sobre la resina primaria usada en la fabricación del geostintético: - Resina tipo HDPE (polietileno de alta densidad): identificación de tipo, clase, grado y categoría. - Resina tipo PP (polipropileno): identificación de grupo, clase y grado. - Resina tipo PET (poliéster): • Viscosidad intrínseca mínima • Grupo carboxilo final máximo.	 ASTM D1248 ASTM D4101 ASTM D4603 ASTM D2455
Estabilidad ultravioleta mínima.	ASTM D4355

Nota: para proyectos con riesgo de que se presente degradación biológica.

223.2.1.4 Control de calidad de la producción

El fabricante de los geosintéticos debe tener un proceso de producción que cuente con un sistema de gestión de la calidad certificado bajo la norma ISO 9001. El laboratorio, propio o externo, que se use para realizar los ensayos de control de la calidad de la producción debe estar acreditado bajo la norma ISO/IEC 17025 o contar con una acreditación *GAI-LAP (Geosynthetic Accreditation Institute-Laboratory Accreditation Program)* del *Geosynthetic Institute (GSI).*

El fabricante o proveedor debe suministrar el programa de control de la calidad y los datos de soporte, donde se indiquen los requisitos de ensayos, los métodos de ensayo, la frecuencia de los ensayos, los criterios de aceptación en la fabricación y el tamaño del lote para evaluación de cada producto. Los criterios de aceptación contemplados en el programa de control de la calidad del fabricante deben incluir, como mínimo, las propiedades indicadas en la Tabla 223 — 3, evaluadas bajo las normas de ensayo allí citadas.

Tabla 223 — 3. Criterios mínimos de aceptación que debe contemplar el programa de control de la calidad del fabricante

Propiedad	Norma de ensayo ASTM
Resistencia a la tensión: - Geotextiles: resistencia en tira ancha - Geomallas: resistencia individual de las costillas	 D4595 D6637
Resistencia de las uniones o nodos de las geomallas	D7737
Productos de polietileno de alta densidad (HDPE): - Gravedad específica - Índice de fluidez	 D1505 D1238
Productos de polipropileno (PP): - Índice de fluidez	 D1238
Resina de poliéster (PET): - Viscosidad intrínseca - Grupo carboxilo final	 D4603 D2455

223.2.1.5 Geotextiles

En general, se deben emplear geotextiles tejidos elaborados a partir de polímeros sintéticos de cadena larga, compuestos por un porcentaje mínimo del noventa y cinco por ciento (95 %) en masa de poliolefinas o poliéster. Las fibras del geotextil deben conformar una red estable que mantenga la estabilidad dimensional entre ellas, incluyendo los bordes. El geotextil debe permitir el libre paso del agua en todo momento.

El geotextil debe ser fabricado con al menos un noventa y cinco por ciento (95 %) de resina virgen, complementado con un máximo de cinco (5 %) de material remolido en planta. La resina de poliéster debe tener una masa

molecular mínima de veinticinco mil gramos por mol (25 000 g/mol) (métodos de ensayo GRI GG6 y ASTM D4603) y un número de grupo carboxilo final máximo de treinta (30) (método de ensayo GRI GG7). Los productos de polietileno y polipropileno se deben estabilizar con antioxidantes de largo plazo.

Las propiedades mecánicas por supervivencia y las propiedades hidráulicas deben ser las establecidas en los documentos del proyecto. En el siguiente numeral se indican las propiedades mínimas que debe tener el geotextil.

223.2.1.5.1 Propiedades mecánicas por supervivencia a la instalación

Las propiedades mecánicas para condiciones normales de instalación se especifican en la Tabla 223 — 4, en términos de VMPR.

Tabla 223 — 4. Propiedades mecánicas del geotextil por supervivencia en términos de VMPR
(Medidas en el sentido más débil del geotextil)

Propiedad	Norma de ensayo ASTM	Requisito
Elongación, valor máximo (%)	D4632	50
Peso por unidad de área, mínimo (g/m^2)	D5261	270
Resistencia a la tensión Grab, valor mínimo (N)	D4632	1 400
Resistencia de la costura a tensión Grab, valor mínimo (N)	D4632	1 260
Resistencia a la penetración con pistón de cincuenta milímetros (50 mm) de diámetro, valor mínimo (N)	D6241	2 750
Resistencia al rasgado trapezoidal, valor mínimo (N). (Nota)	D4533	500

Nota: el VMPR para la resistencia al rasgado trapezoidal de los geotextiles tejidos monofilamento debe ser de doscientos cincuenta newtons (250 N).

223.2.1.5.2 Propiedades hidráulicas

El geotextil de refuerzo debe ser permeable y debe permitir el flujo libre del agua dentro del relleno, sin atraparla ni generar empozamientos. Salvo que los documentos del proyecto indiquen otra cosa, las propiedades hidráulicas que debe cumplir el geotextil se indican en la Tabla 223 — 5, en términos de VMPR.

Tabla 223 — 5. Propiedades hidráulicas del geotextil en términos de VMPR

Propiedad	Norma de ensayo ASTM	Requisito
Permitividad, valor mínimo (s^{-1})	D4491	0,5
Permeabilidad, valor mínimo (cm/s)	D4491	Según lo establecido en los documentos del proyecto. Debe ser mayor que la permeabilidad del suelo

223.2.1.6 Geomallas

La geomalla debe tener una geometría regular de elementos resistentes a la tensión interconectados, con apertura suficiente para permitir una adecuada trabazón mecánica con los materiales de relleno. La geomalla debe ser capaz de mantener su estabilidad dimensional durante su instalación y el tránsito normal de construcción que circule sobre la capa de relleno que se coloque sobre ella. Debe resistir el daño durante la construcción, la degradación ultravioleta y debe tener resistencia a largo plazo a la degradación química y biológica.

Se recomienda que la geomalla sea uniaxial.

La geomalla debe ser fabricada con por lo menos un noventa y cinco por ciento (95 %) en masa de resina virgen consistente en cadenas largas de polietileno, polipropileno o poliéster, complementada con un máximo de cinco por ciento (5 %) de material remolido en planta. La resina de poliéster debe tener una masa molecular mínima de veinticinco mil gramos por mol (25 000 g/mol) (métodos de ensayo GRI GG6 y ASTM D4603) y un número de grupo carboxilo final máximo de treinta (30) (método de ensayo GRI GG7). Los productos de polietileno y polipropileno deben ser estabilizados con antioxidantes de largo plazo.

El fabricante debe documentar la supervivencia de las uniones a la instalación, mediante pruebas a escala real, según la norma ASTM D5818, que demuestren su integridad, bajo las condiciones del proyecto (suelo de apoyo, espesor de capas, materiales de relleno, equipo de construcción). La geomalla se debe cubrir con una capa de material de relleno de quince centímetros (15 cm) de espesor mínimo y se debe someter al paso repetido de una volqueta cargada hasta producir un ahuellamiento de diez centímetros (10 cm). El informe de las pruebas debe incluir un registro fotográfico de la geomalla recuperada, que muestre claramente que las uniones no se han desplazado ni sufrido deterioro alguno durante el proceso de instalación.

223.2.1.7 Suministro y manejo de los geosintéticos

El geosintético que se suministre debe estar debidamente empacado. La identificación, el almacenamiento y el manejo de los rollos de geosintético se deben hacer atendiendo lo dispuesto en la norma ASTM D4873.

El vehículo en el que se transporten los rollos de geosintético debe tener la longitud necesaria para proporcionarles apoyo continuo y evitar que se flexionen y dañen durante el traslado.

En el transporte (carga y descarga) de los rollos de geosintético se debe evitar que se produzcan daños mecánicos en los rollos (pinchazos, cortes, etc.).

Los rollos de geosintético se deben almacenar horizontalmente, preferiblemente, en sitios cubiertos protegidos de la luz solar y la humedad. Adicionalmente, si el almacenamiento se hace a la intemperie, el empaque debe ser opaco e impermeable y los rollos de geosintético se deben colocar elevados sobre soportes o estantes y no sobre el piso. En todo caso, se deben evitar temperaturas superiores a setenta grados Celsius (70 °C).

Los rollos de geosintético deben ser almacenados preferiblemente en sitios cercanos al frente de trabajo, sobre superficies planas y libres de piedras u otros objetos que puedan dañarlos.

No se debe almacenar ningún rollo o fracción que haya resultado dañado o no esté debidamente identificado.

Los rollos de geosintético no deben ser arrastrados, izados por un extremo, levantados por medio de cables o cadenas o lanzados al piso.

En todo caso, se deben tener en cuenta las indicaciones adicionales consignadas en la ficha técnica del producto suministrada por el fabricante para el transporte y almacenamiento de los geosintéticos.

223.2.2 Material de relleno

Los documentos del proyecto deben definir los requisitos que debe cumplir el material de relleno, el cual puede ser: recebo (numeral 610.2.2 del artículo 610, Rellenos para estructuras), material granular tipo SBG (numeral 610.2.3 del artículo 610), material granular tipo BG (numeral 610.2.3 del artículo 610), o un material de características diferentes, definidas en los documentos del proyecto. El tamaño máximo del agregado debe ser de 19,0 mm (3/4 de pulgada).

El pH del material de relleno, determinado según la norma de ensayo AASHTO T 289, debe estar entre cinco (5) y nueve (9). El contenido de materia orgánica, determinado según la norma de ensayo INV E-121 o la UNE 103204 para la porción de material que pasa el tamiz de 2,00 mm (nro. 10), no debe ser mayor que uno por ciento (1 %).

223.2.3 Materiales accesorios

Los materiales accesorios, tales como grapas, arandelas, elementos de fijación y demás elementos necesarios para la instalación del geosintético, deben cumplir los requisitos establecidos por la ficha técnica del producto suministrada por el fabricante.

223.3 Equipo

Se debe disponer de los equipos necesarios para instalar los geosintéticos correctamente, así como de elementos de corte y costura y, además, de todos aquellos que se requieran para explotar, procesar, cargar, transportar, extender y compactar el material de relleno, de conformidad con esta especificación y los documentos del proyecto.

El equipo que se use para compactar las capas de relleno sobre el geosintético debe ser acorde con la clase del geosintético, el espesor de capa y las características de los materiales de apoyo y de relleno.

223.4 Ejecución de los trabajos

223.4.1 Generalidades

Durante el transporte y el almacenamiento, los geosintéticos deben tener empaques que los protejan de la acción de los rayos ultravioleta, agua, barro, polvo y otros materiales que puedan afectar sus propiedades.

El constructor debe presentar al interventor, para su aprobación, los planos detallados de

disposición de los geosintéticos, secuencias y procedimientos constructivos, con los detalles de los empalmes (traslapos, empalmes mecánicos, etc.), con anticipación no menor a siete días (7 d), con respecto a la iniciación de la instalación del geosintético.

La colocación del geosintético y la colocación, la conformación y la compactación del material de cobertura se debe realizar, de manera que el geosintético quede expuesto el menor tiempo posible.

223.4.2 Preparación del terreno

Antes de iniciar la construcción de los terraplenes reforzados con geosintéticos, el terreno de apoyo debe ser preparado como se indica en el numeral 220.4.2 del artículo 220, Terraplenes.

La superficie debe quedar nivelada y debe ser firme. La firmeza se debe comprobar por medio del paso de una volqueta completamente cargada. Toda zona débil debe ser excavada y reemplazada con un suelo adecuado y compactado. La superficie preparada del terreno debe ser inspeccionada y aprobada por el interventor.

La superficie del terreno de apoyo preparado debe estar libre de rocas, piedras grandes u otros elementos que puedan deteriorar el geosintético.

223.4.3 Colocación de los geosintéticos

223.4.3.1 Extensión

El geosintético de refuerzo se debe instalar de acuerdo con las recomendaciones consignadas en la ficha técnica del producto suministrada por el fabricante. Se debe colocar entre las capas de relleno compactado, según lo indicado en los documentos del proyecto, con los ajustes y las modificaciones que apruebe el interventor.

Los rollos se deben extender en la dirección del refuerzo principal, perpendiculares al talud (vista en planta), sobre la superficie compactada y aceptada del terreno de apoyo o de la capa subyacente de relleno, sin arrugas o dobleces. No se deben permitir empalmes en la dirección del refuerzo, a no ser que estos se muestren en los planos. Los geosintéticos se deben instalar, según las cotas de los planos, sin que difieran de estas en más de setenta y cinco milímetros (75 mm), y en una longitud nunca menor que la señalada en ellos.

El geosintético se debe templar manualmente y asegurar a la superficie para mantener la tensión y prevenir movimientos durante la colocación del relleno. La sujeción a la superficie se debe hacer según las recomendaciones consignadas en la ficha técnica del producto, por medio de grapas o elementos similares.

Los rollos adyacentes se deben colocar sin traslapo entre ellos, a no ser que los documentos del proyecto indiquen otra cosa. Estos pueden indicar, también, que se deje una separación entre rollos, sin que esta sea mayor que un metro (1,0 m). El traslapo (mínimo de quince centímetros (15 cm)) o conexión mecánica entre rollos adyacentes es indispensable cuando los documentos del proyecto indiquen que el geosintético debe envolver la superficie del talud. Las conexiones mecánicas (costuras de geotextiles o ganchos

en geomallas, etc.) se deben hacer usando los materiales y siguiendo las recomendaciones consignadas en la ficha técnica del producto.

No se debe permitir que el geosintético quede expuesto, sin cubrir, por un lapso mayor a tres días (3 d).

En ninguna circunstancia se debe permitir la circulación de equipos sobre el geosintético antes de que esté cubierto con una capa de relleno de por lo menos quince centímetros (15 cm) de espesor. Se debe evitar el frenado brusco o los giros cerrados que ocasionen algún desplazamiento del material de relleno.

223.4.3.2 Empalmes

No se deben permitir los empalmes de geosintéticos en la dirección del refuerzo, a no ser que su uso esté expresamente indicado en los documentos del proyecto.

En caso de que estén contemplados en los documentos del proyecto, los empalmes (costuras de geotextiles o empalmes mecánicos de geomallas) se deben realizar según las recomendaciones consignadas en la ficha técnica del producto y deben cumplir los requisitos de capacidad última y a largo plazo establecidos en el numeral 223.2.1.2.

El color de la costura debe ser preferiblemente de un color que contraste con el geotextil.

223.4.3.3 Construcción de la cara del talud

Si los documentos del proyecto muestran que los geosintéticos no envuelven la superficie del talud, lo cual puede ser factible para taludes con inclinación no mayor de uno a uno (1:1) (H:V) construidos con una separación pequeña entre niveles de geosintético (cada capa o cada dos capas de relleno, pero no mayor que cuarenta centímetros (40 cm)), el geosintético se debe extender hasta la cara del talud.

Si los documentos del proyecto indican que la superficie del talud debe ser envuelta por los geosintéticos, las tiras de geosintético de refuerzo deben dar vuelta y regresar al terraplén en una longitud no menor de uno coma veinticinco metros (1,25 m), o la mostrada en los documentos del proyecto, debajo del siguiente nivel de refuerzo, cubriendo completamente la cara del talud. La longitud de retorno del geosintético de envoltura que debe servir como anclaje se debe enterrar dentro del relleno, para que no quede en contacto directo con el geosintético del siguiente nivel. Para taludes con fuerte pendiente, se requiere de una formaleta para soportar la cara durante su construcción.

En el caso de refuerzo con geomallas, los planos deben indicar la colocación de un geotextil detrás de la geomalla que envuelve la cara del talud para retener el material de relleno.

223.4.4 Colocación del material de relleno

El relleno se debe efectuar por capas sensiblemente horizontales. La operación de extensión del material de relleno sobre el geosintético se debe realizar cuidadosamente, empleando un método que no dé lugar a daños en el mismo. No se debe permitir el tránsito de maquinaria sobre el geosintético hasta que se conforme y se compacte adecuadamente la primera capa de relleno sobre el mismo. En el caso de geotextiles, no se debe permitir el giro de maquinaria sobre la primera capa de relleno sobre él.

El espesor de la primera capa compactada de material de cobertura sobre el geosintético debe estar definido en los documentos del proyecto, en función de la granulometría del material, de las características del geosintético y del equipo de construcción. En general, para materiales pétreos de tamaño máximo igual o mayor a treinta milímetros (≥ 30 mm), el espesor de la primera capa compactada de material de cobertura debe ser de veinte centímetros como mínimo (≥ 20 cm); para materiales pétreos de tamaño máximo menor de treinta milímetros (< 30 mm), el espesor de la primera capa compactada debe ser de quince centímetros como mínimo (≥ 15 cm).

El material de relleno se debe compactar con el equipo adecuado, hasta lograr el grado de compactación definido en el numeral 223.5.2.3.2, antes de comenzar las labores de colocación de la siguiente capa. El relleno se debe llevar a cabo hasta la cota indicada en los documentos del proyecto.

En la cercanía al talud de un metro o de un metro y medio (1,0 m o 1,5 m), se deben utilizar equipos manuales para garantizar la adecuada compactación de esta zona. En este caso, el espesor de capas se debe reducir para que los equipos manuales permitan alcanzar el grado de compactación especificado.

223.4.5 Protección de la cara del talud

Los documentos del proyecto pueden indicar algún sistema de protección de la cara del talud. En ningún caso, los geosintéticos que envuelven la cara del talud deben quedar expuestos a la luz solar, para evitar su deterioro con el tiempo.

223.4.5.1 Empradización de la cara del talud con bloques de césped

Los documentos del proyecto pueden requerir que la fachada sea empradizada mediante la instalación de bloques de césped contra los geosintéticos de fachada, que en este caso deben ser geomallas para que permitan que el césped atraviese sus espacios libres.

Los bloques de césped deben cumplir los requisitos establecidos en el numeral 810.2.1 del artículo 810, Protección vegetal de taludes, y se deben instalar, regar y conservar, según lo indicado en los numerales 810.4.3 y 810.4.7 del mismo artículo.

223.4.5.2 Protección de la cara del talud con productos enrollados para control de erosión

Si los documentos del proyecto indican que la cara del talud se debe proteger con algún tipo de producto enrollado para control de erosión, el trabajo correspondiente se debe ejecutar según el artículo 811, Protección de taludes con productos enrollados para control de erosión.

223.4.5.3 Protección de la cara del talud con malla y mortero

Si los documentos del proyecto indican que la cara del talud se debe proteger con malla de alambre de acero y mortero de cemento hidráulico, el trabajo correspondiente se debe ejecutar, según el artículo 812, Recubrimiento de taludes con malla y mortero.

223.4.5.4 Otros tipos de protección de la carta del talud

La construcción de otros tipos de protección de la cara del talud, que se especifiquen en los documentos del proyecto, se debe realizar de acuerdo con la especificación particular correspondiente.

223.4.6 Protección de la superficie superior del terraplén

Si la superficie final del terraplén reforzado con geosintéticos no va a ser la superficie definitiva, aquella no debe quedar expuesta a las condiciones atmosféricas. Por tanto, la capa superior proyectada se debe construir en forma inmediata una vez terminada la compactación y el acabado final de aquella. Debe ser responsabilidad del constructor reparar cualquier daño que ocurra en el terraplén por la demora en la construcción de la capa siguiente.

223.4.7 Control del tránsito

El constructor debe instalar todos los elementos de señalización preventiva en la zona de los trabajos, los cuales deben garantizar la seguridad permanente, tanto del personal y de los equipos de construcción, como de usuarios y transeúntes.

223.4.8 Limitaciones en la ejecución

No se debe permitir adelantar los trabajos objeto del presente artículo, cuando la temperatura ambiente a la sombra y la de la superficie sean inferiores a dos grados Celsius (2 °C) o haya lluvia o fundado temor de que ella ocurra.

Los trabajos de construcción se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que sea aprobado por este. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

223.4.9 Manejo ambiental

En adición a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las labores requeridas para la construcción de terraplenes reforzados con geosintéticos se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en las normas y disposiciones vigentes sobre la conservación del ambiente y los recursos naturales.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades deben estar incluidas en los costos del proyecto, por tanto, no deben ser objeto de reconocimiento directo en el contrato.

223.4.10 Reparaciones

Antes de ser cubierto, el geotextil colocado debe ser inspeccionado en busca de posibles daños de instalación. En caso de que

los hubiese, estos se deben reparar inmediatamente, cubriéndolos con un paño de geotextil que se extienda como mínimo setenta y cinco centímetros (75 cm) alrededor de toda la zona dañada.

Todos los defectos que se presenten en la extensión, en los traslapos, en las costuras, en los cortes o en los dobleces del geosintético, en la extensión y compactación del material de relleno, así como los que se deriven de un incorrecto control del tránsito recién terminados los trabajos, deben ser corregidos por el constructor, de acuerdo con las instrucciones del interventor, sin costo alguno para INVÍAS.

223.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

223.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles:

- Verificar el estado y el funcionamiento de todo el equipo de construcción.
- Verificar que cada rollo de geosintético tenga en forma clara la información del fabricante, el número del lote y la referencia del producto, así como su composición química.
- Comprobar que, durante el transporte y el almacenamiento, los geosintéticos tengan los empaques que los protejan de la acción de los rayos ultravioleta, agua, barro, polvo y otros materiales que puedan afectar sus propiedades.
- Verificar que el sistema de almacenamiento garantice la protección de los geosintéticos contra cualquier tipo de deterioro.
- Supervisar la correcta aplicación del método aceptado en cuanto a la colocación del geosintético y la construcción de las capas de relleno.
- Verificar que los diferentes niveles de geosintéticos para la construcción del terraplén reforzado sean colocados con las separaciones definidas en los documentos del proyecto.
- Efectuar ensayos de control sobre el geosintético, en un laboratorio independiente al del fabricante o del proveedor, y los ensayos pertinentes al material de cobertura.
- Efectuar ensayos de control de calidad sobre el material de relleno.
- Comprobar la compactación de las capas de relleno.

El interventor debe medir, para efectos de pago, el trabajo correctamente ejecutado.

223.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

223.5.2.1 Calidad del geosintético

Por cada lote de rollos que llegue a la obra, el constructor debe entregar al interventor una certificación expedida por el fabricante del geosintético, donde se establezca el nombre del producto, la composición química y toda la información que lo describa, así como los resultados de los ensayos de calidad efectuados sobre muestras representativas de la entrega, los cuales deben satisfacer todas las condiciones establecidas en los documentos del proyecto o en las Tablas 223 — 1, 223 — 4 y 223 — 5, según los que prevalezcan. El interventor no debe aceptar el empleo de suministros de geosintéticos que no se encuentren respaldados por la certificación

del fabricante. Dicha constancia no debe evitar, en ningún caso, la ejecución de ensayos de comprobación por parte del interventor, ni implica necesariamente la aceptación de la entrega.

Además, el interventor debe escoger al azar un número de rollos equivalente a la raíz cúbica del número total de rollos que conformen el lote. Se deben evaluar rollos estándar con un área entre cuatrocientos y seiscientos metros cuadrados (400 m^2 – 600 m^2) cada uno. En el caso de rollos con áreas diferentes, el total de metros cuadrados se debe convertir a unidades de rollos equivalentes de quinientos metros cuadrados (500 m^2).

De cada rollo se deben descartar las dos primeras vueltas de geosintético para el muestreo. Posteriormente, se debe tomar una muestra, como mínimo de un metro (1 m) por el ancho correspondiente al rollo, verificando que esté totalmente seca y limpia.

Para la evaluación de las costuras en los geotextiles, se deben tomar muestras de juntas cosidas cuyo largo sea al menos dos metros (2,0 m) en el sentido de la costura, y cuyo ancho sea al menos uno coma cinco metros (1,5 m).

El número de especímenes para ensayo y la conformidad con las especificaciones se debe determinar según las normas de ensayo ASTM D4354 y ASTM D4759. Los especímenes, debidamente identificados (número de lote, referencia del producto, etc.), se deben empacar y enviar a un laboratorio distinto al del fabricante, para realizar las pruebas especificadas en los documentos del proyecto o las Tablas 223 — 6 y 223 — 7, según corresponda.

Tabla 223 — 6. Pruebas de verificación de la calidad del geotextil

Propiedad	Norma de ensayo
Propiedades de refuerzo	
Resistencia última a la tensión en prueba de tira ancha (kN/m)	ASTM D4595
Resistencia última a la tensión de las costuras, medida perpendicularmente al empalme (kN/m)	ASTM D4884
Área abierta, como porcentaje (%) del área total	Medido
Tamaño de abertura (mm)	Medido
Propiedades de supervivencia	
Elongación (%)	ASTM D4632
Masa por unidad de área (g/m^2)	ASTM D5261
Resistencia a la tensión Grab (N)	ASTM D4632
Resistencia de la costura a tensión Grab (N)	ASTM D4632
Resistencia a la penetración con pistón de cincuenta milímetros (50 mm) de diámetro (N)	ASTM D6241
Resistencia al rasgado trapezoidal (N)	ASTM D4533
Estabilidad ultravioleta: resistencia retenida después de quinientas horas (500 h) de exposición (%)	ASTM D4355

Propiedad	Norma de ensayo
Propiedades hidráulicas	
Permitividad (s^{-1})	ASTM D4491
Permeabilidad (cm/s)	ASTM D4491

Tabla 223 — 7. Pruebas de verificación de la calidad de la geomalla

Propiedad	Norma de ensayo
Propiedades de refuerzo	
Resistencia última a la tensión del geosintético en prueba con costillas múltiples (kN/m)	ASTM D6637
Resistencia última a la tensión de los empalmes mecánicos, medida perpendicularmente al empalme (kN/m)	ASTM D6637
Área abierta, como porcentaje (%) del área total	Medido
Tamaño de abertura (mm)	Medido
Propiedades de supervivencia	
Resistencia de las uniones o nodos (N)	ASTM D7737
Estabilidad ultravioleta: resistencia retenida después de quinientas horas (500 h) de exposición (%)	ASTM D4355

En relación con los resultados de las pruebas, no se debe admitir ninguna tolerancia sobre los límites establecidos en las Tablas 223 — 1, 223 — 4 y 223 — 5, o los que establezcan en los documentos del proyecto, según los que prevalezcan. No se deben aceptar geosintéticos rasgados o usados, en el caso de los geotextiles, no se debe aceptar la presencia de agujeros en ellos.

No se deben emplear geosintéticos o productos relacionados acopiados cuando las condiciones de almacenamiento no hayan sido adecuadas.

223.5.2.2 Calidad del material de relleno

La calidad del material de relleno se debe evaluar en función de sus características y de los requisitos aplicables de las presentes especificaciones, según sea el tipo de material por utilizar, de acuerdo con lo señalado en el numeral 223.2.2.

223.5.2.3 Calidad del producto terminado

223.5.2.3.1 Acabado

El geosintético instalado debe tener las dimensiones establecidas y debe estar libre de dobleces y arrugas; debe estar templado y sujeto a la superficie de apoyo, según lo indicado en el numeral 223.4.3. Los empalmes deben tener las características y las dimensiones definidas para el proyecto, según se establece en el numeral 223.4.3.2.

Cada capa terminada de relleno debe presentar una superficie uniforme, ajustada a la rasante y a las pendientes establecidas.

Los taludes terminados no deben acusar irregularidades a la vista.

La distancia entre el eje del proyecto y el borde del relleno no debe ser menor que la distancia señalada en los documentos del proyecto.

La cota de cualquier punto de la capa final del relleno, conformada y compactada, no debe variar en más de treinta milímetros (30 mm) de la cota proyectada, medida verticalmente hacia abajo. Si la capa final del relleno corresponde a la subrasante del pavimento, en ningún caso la cota de subrasante puede superar la cota del proyecto.

No se debe aceptar la presencia de irregularidades que impidan el normal escurrimiento de las aguas en las obras concluidas.

Todas las irregularidades que excedan las tolerancias de la presente especificación deben ser corregidas por el constructor, a su costa, de acuerdo con las instrucciones del interventor y hasta contar con su aprobación.

223.5.2.3.2 Compactación del relleno

Para efectos de la verificación de la compactación de cada una de las capas del relleno, se define como lote, que se acepta o rechaza en conjunto, el menor volumen que resulte de aplicar los siguientes criterios:

- Quinientos metros (500 m) de capa compactada en el ancho total del relleno.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m^2).
- El volumen de relleno colocado y compactado en una jornada de trabajo.

Los sitios para la determinación de la densidad seca de cada capa en el terreno se deben elegir al azar, según la norma de ensayo INV E-730, pero de manera que se realice al menos una (1) prueba por hectómetro. Se deben efectuar, como mínimo, cinco (5) ensayos por lote.

Para el control de la compactación de una capa de relleno, se debe calcular su grado de compactación a partir de los resultados de los ensayos de densidad en el terreno y del ensayo de relaciones contenido de agua-peso unitario, mediante la expresión que resulte aplicable entre las siguientes:

- Material sin sobretamaños:

$$GC_i = \frac{\gamma_{d,i}}{\gamma_{d,máx}} * 100 \quad [223.3]$$

- Material con sobretamaños:

$$GC_i = \frac{\gamma_{d,i}}{C\gamma_{d,máx}} * 100 \quad [223.4]$$

Donde:

GC_i, valor individual del grado de compactación, en porcentaje.

$\gamma_{d,i}$, valor individual del peso unitario seco del material en el terreno, determinado por cualquier método aplicable de los descritos en las normas de ensayo INV E-161, E-162 y E-164, sin efectuar corrección por presencia de sobretamaños, de manera que corresponda a la muestra total.

$\gamma_{d,máx}$, valor del peso unitario seco máximo del material, obtenido según la norma de ensayo

INV E-142 (ensayo modificado de compactación) sobre una muestra representativa del mismo.

$C\gamma_{d,máx}$, valor del peso unitario seco máximo del material, obtenido según la norma de ensayo INV E-142 sobre una muestra representativa del mismo, y corregido por sobretamaños según la norma de ensayo INV E-143, numeral 3.1, de manera que corresponda a la muestra total.

Sobretamaños (fracción gruesa) (P_{FG}), porción de la muestra total retenida en el tamiz de control correspondiente al método utilizado para realizar el ensayo de compactación (norma INV E-142).

El peso unitario seco máximo corregido del material ($C\gamma_{d,máx}$) que se use para calcular el grado de compactación individual (GC_i) se obtiene, para cada sitio, a partir del contenido de sobretamaños (P_{FG}) presente en ese sitio.

Para la aceptación del lote se aplican los siguientes criterios:

GC_l (90) ≥ 95,0 % *se acepta el lote* [223.5]

GC_l (90) < 95,0 % *se rechaza el lote* [223.6]

Donde:

GC_l (90), límite inferior del intervalo de confianza en el que, con una probabilidad del noventa por ciento (90 %), se encuentra el valor promedio del grado de compactación del lote, en porcentaje. Se calcula según el numeral 107.3.1.3 del artículo 107, Control y aceptación de los trabajos, a partir de los valores individuales del grado de compactación (GC_i).

Las verificaciones de compactación se deben efectuar en todo el espesor de la capa que se controla.

Los terraplenes de los lotes que no alcancen las condiciones mínimas de compactación se deben escarificar, homogenizar, llevar al contenido de agua adecuado y compactar nuevamente hasta obtener el valor de la densidad seca especificada. Este procedimiento deber ser adelantado por el constructor de manera que no se afecte el geosintético subyacente. Si el geosintético sufre algún deterioro, se debe remover la capa de terraplén correspondiente al lote rechazado, se debe reemplazar el geosintético por uno nuevo y se debe colocar de nuevo la capa de terraplén hasta lograr el grado de compactación especificado.

223.6 Medida

223.6.1 Geosintéticos

La unidad de medida de los geosintéticos debe ser el metro cuadrado (m^2), aproximado al entero, de geosintético colocado; aprobado por el interventor, de acuerdo con lo exigido por la presente especificación. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

No se debe medir ningún área por fuera de los límites indicados en los documentos del proyecto, ni se deben considerar, para efecto del pago, los traslapos.

223.6.2 Relleno

La unidad de medida del relleno debe ser el metro cúbico (m^3), aproximado al entero, de

material suministrado, colocado, compactado y terminado de acuerdo con los documentos del proyecto y debidamente aceptado por el interventor. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

No se deben medir cantidades en exceso de las indicadas en los documentos del proyecto.

223.7 Forma de pago

223.7.1 Geosintéticos

El pago de los geosintéticos se debe hacer al respectivo precio unitario del contrato, por metro cuadrado (m^2), para toda obra ejecutada de acuerdo con la presente especificación y aceptada por el interventor.

El precio unitario debe incluir el suministro, almacenamiento, transporte y colocación del geosintético. La ejecución de los traslapos, las costuras, los empalmes mecánicos y las sujeciones, incluyendo el suministro de todos los elementos para tales labores. Todo equipo y mano de obra requeridos para ejecutar esta labor y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución del trabajo especificado. Además, debe cubrir los costos por concepto de desperdicios.

El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

223.7.2 Relleno

El precio unitario debe cubrir los costos de extracción, preparación y suministro de los materiales en el sitio de la obra; la obtención de los permisos y derechos de explotación, la construcción o adecuación de las vías de acceso a las zonas de préstamo; la adecuación de dichas zonas una vez extraído el material, para recuperar las características hidrológicas superficiales; los cargues, los transportes, la compactación y la conformación del relleno; los costos de los desvíos que fuese necesario construir con motivo de la ejecución de las obras; la señalización preventiva de la vía y el ordenamiento de todo tipo de tránsito durante la ejecución de los trabajos y el período posterior en que se deba impedir o controlar, de acuerdo con las instrucciones del interventor; todo equipo y mano de obra requeridos para ejecutar esta labor y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución del trabajo especificado. Además, debe cubrir los costos por concepto de desperdicios.

El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

Se deben pagar por aparte las excavaciones y rellenos requeridos para la preparación de la fundación y los elementos de fachada diferentes a los geosintéticos, de acuerdo con los siguientes artículos:

- Excavaciones: artículo 600, Excavaciones varias.
- Rellenos: artículo 610, Rellenos para estructuras.
- Protección de la fachada del muro con malla y mortero: artículo 812, Recubrimiento de taludes con malla y mortero.
- Empradización de la fachada con bloques de césped: artículo 810, Protección vegetal de taludes.

223.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
223.1	Geotextil de refuerzo tipo ____ para terraplenes reforzados con geosintéticos	Metro cuadrado (m^2)
223.2	Geomalla de refuerzo tipo ____ para terraplenes reforzados con geosintéticos	Metro cuadrado (m^2)
223.3	Relleno tipo ____ para terraplenes reforzados con geosintéticos	Metro cúbico (m^3)

Nota: se debe establecer un ítem de pago para cada tipo de geosintético y cada tipo de relleno que se especifique en el contrato.

Mejoramiento de la subrasante con adición de materiales

Artículo 230 – 22

230.1 Descripción

Este trabajo consiste en la disgregación del material de la subrasante existente, el eventual retiro de parte de este material, la adición de materiales, la mezcla, el humedecimiento o la aireación, la compactación y el perfilado final, de acuerdo con la presente especificación, y con las dimensiones, los alineamientos y las pendientes señalados en los documentos del proyecto.

230.2 Materiales

Los materiales de adición deben presentar una calidad tal, que la capa de subrasante mejorada cumpla los requisitos exigidos para los suelos seleccionados en el numeral 220.2 del artículo 220, Terraplenes.

230.3 Equipo

El equipo empleado para la ejecución de los trabajos de mejoramiento de la subrasante con adición de materiales debe ser compatible con los procedimientos de ejecución adoptados y requiere aprobación previa del interventor, teniendo en cuenta que su capacidad y eficiencia se ajusten al programa de ejecución de los trabajos y al cumplimiento de las exigencias de la presente especificación.

230.4 Ejecución de los trabajos

230.4.1 Generalidades

Los trabajos de mejoramiento de subrasante se deben efectuar según los procedimientos puestos a consideración del interventor y aprobados por este. Su avance físico se debe ajustar al programa de trabajo.

Si los trabajos de mejoramiento de la subrasante afectan el tránsito normal en la vía o en sus intersecciones y cruces con otras vías, el constructor es el responsable de tomar las medidas para mantenerlo adecuadamente.

La subrasante existente se debe escarificar y disgregar en el espesor indicado en los documentos del proyecto, empleando procedimientos aprobados por el interventor.

Si el proceso implica el retiro de parte del material existente, el material producto del retiro se debe tratar como residuo de construcción y demolición (RCD) y es de propiedad del constructor, quien debe dar el tratamiento final correspondiente, según la legislación ambiental vigente. Este material se debe cargar y transportar a las zonas aprobadas de disposición de sobrantes, donde se debe descargar y disponer previa aprobación del interventor.

El suelo de aporte para el mejoramiento se debe aplicar en los sitios indicados en los documentos del proyecto, en cantidad tal, que se garantice que la mezcla con el suelo existente cumple las exigencias del numeral 230.2, en el espesor señalado en los documentos del proyecto.

La mezcla del material existente disgregado y el de adición se debe humedecer o airear hasta alcanzar el contenido de agua apropiado y, previa la eliminación de partículas mayores de setenta y cinco milímetros (75 mm), si las hay, se debe compactar hasta obtener los niveles de densidad establecidos en el numeral 230.5.2.2.1.

230.4.2 Limitaciones en la ejecución

Los trabajos de mejoramiento de subrasante solo se deben efectuar cuando no haya lluvia o fundados temores de que ella ocurra y la temperatura ambiente, a la sombra, sea superior a cinco grados Celsius (5 °C).

Los trabajos de mejoramiento de la subrasante se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que sea aprobado por este. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

Se debe prohibir la acción de todo tipo de tránsito sobre las capas en ejecución, hasta que se haya completado su compactación. Si ello no resulta posible, el tránsito que necesariamente deba pasar sobre ellas se debe distribuir de manera que no se concentren huellas de rodadas en la superficie.

230.4.3 Manejo ambiental

En adición a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las labores requeridas para la ejecución de las obras de mejoramiento de la subrasante se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en los estudios o las evaluaciones ambientales del proyecto y las normas y disposiciones vigentes sobre la conservación del ambiente y los recursos naturales. Algunos de los cuidados relevantes en relación con la protección ambiental se describen a continuación, sin perjuicio de los que exijan los documentos de cada proyecto en particular o la legislación ambiental vigente:

- Se debe evitar el tránsito desordenado de equipos de construcción por fuera del área de los trabajos, con el fin de evitar perjuicios innecesarios a la flora y a la fauna, así como interferencias al drenaje natural.
- Los dispositivos de drenaje superficial y la pendiente transversal de la calzada se deben mantener correctamente durante la ejecución de los trabajos, con el fin de prevenir erosiones y arrastres innecesarios de partículas sólidas.
- El manejo y la aplicación de materiales de adición se deben realizar con las precauciones que exijan las autoridades ambientales.

- El constructor debe especificar los métodos de control de emisiones atmosféricas y de ruido que deben ser utilizados en la ejecución de los trabajos. Estos métodos se deben presentar al interventor y ser aprobados por este antes de cada jornada.

Además, se deben considerar aplicables las recomendaciones del numeral 220.4.8 del artículo 220.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades deben estar incluidas en los costos del proyecto, por tanto, no deben ser objeto de reconocimiento directo en el contrato.

230.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

230.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos, se deben efectuar los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y el funcionamiento de todo el equipo de construcción.
- Supervisar la correcta aplicación de los métodos de trabajo aceptados.
- Vigilar el cumplimiento de los programas de trabajo.
- Comprobar que los materiales por emplear cumplan los requisitos de calidad exigidos.
- Verificar la compactación de todas las capas de suelo que forman parte de la actividad especificada.
- Realizar medidas para determinar espesores, levantar perfiles y comprobar la uniformidad de la superficie.

230.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

230.5.2.1 Calidad de los materiales

Al respecto resulta aplicable lo descrito en el numeral 220.5.2.1 del artículo 220, teniendo en cuenta que el producto que en definitiva constituya la subrasante mejorada debe cumplir los requisitos exigidos en el numeral 220.2, del mismo artículo, para los denominados suelos seleccionados.

230.5.2.2 Calidad del producto terminado

La subrasante mejorada debe presentar una superficie uniforme y ajustarse a las rasantes y pendientes establecidas. El interventor debe verificar, además, que:

- La distancia entre el eje del proyecto y el borde de la capa no sea inferior a la señalada en los documentos del proyecto.
- La cota de cualquier punto de la subrasante mejorada, conformada y compactada no varíe en más de treinta milímetros (30 mm) de la cota proyectada; se acepta tolerancia solamente por abajo.

Así mismo, se deben adelantar las siguientes comprobaciones:

230.5.2.2.1 Compactación

Para efectos de la verificación de la compactación de la subrasante mejorada, se define como lote, que se acepta o rechaza en conjunto, la menor área que resulte de aplicar los siguientes criterios:

- Quinientos metros (500 m) de subrasante compactada en su ancho total.

- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m²) de subrasante compactada.
- El volumen construido con el mismo material, proveniente del mismo corte o préstamo y colocado y compactado con los mismos equipos, en una jornada de trabajo.

Los sitios para la determinación de la densidad seca en el terreno de cada capa se deben elegir al azar, según la norma de ensayo INV E-730, pero de manera que se realicen, como mínimo, cinco (5) ensayos por lote.

Para el control de la compactación de la subrasante mejorada, se debe calcular su grado de compactación, a partir de los resultados de los ensayos de densidad en el terreno y del ensayo de relaciones contenido de agua-peso unitario (INV E-142), mediante la expresión que resulte aplicable entre las siguientes:

- Material sin sobretamaños:

$$GC_i = \frac{\gamma_{d,i}}{\gamma_{d,máx}} * 100 \quad [230.1]$$

- Material con sobretamaños:

$$GC_i = \frac{\gamma_{d,i}}{C\gamma_{d,máx}} * 100 \quad [230.2]$$

Donde:

GC_i, valor individual del grado de compactación, en porcentaje.

$\gamma_{d,i}$, valor individual del peso unitario seco del material en el terreno, determinado por cualquier método aplicable de los descritos en las normas de ensayo INV E-161, E-162 y E-164, sin efectuar corrección por presencia de sobretamaños, de manera que corresponda a la muestra total.

$\gamma_{d,máx}$, valor del peso unitario seco máximo del material, obtenido según la norma de ensayo INV E-142 sobre una muestra representativa del mismo.

$C\gamma_{d,máx}$, valor del peso unitario seco máximo del material, obtenido según la norma de ensayo INV E-142 sobre una muestra representativa del mismo, y corregido por sobretamaños, según la norma de ensayo INV E-143, numeral 3.1, de manera que corresponda a la muestra total.

Sobretamaños (fracción gruesa) (P_{FG}), porción de la muestra total retenida en el tamiz de control correspondiente al método utilizado para realizar el ensayo de compactación (norma INV E-142).

El peso unitario seco máximo corregido del material ($C\gamma_{d,máx}$) que se use para calcular el grado de compactación individual (GC_i) se debe obtener, para cada sitio, a partir del contenido de sobretamaños (P_{FG}) presente en ese sitio.

Para la aceptación del lote se deben aplicar los siguientes criterios:

GC_l (90) ≥ 95,0 % se acepta el lote [230.3]

GC_l (90) < 95,0 % se rechaza el lote [230.4]

Donde:

GC_l (90), límite inferior del intervalo de confianza en el que, con una probabilidad del noventa por ciento (90 %), se encuentra el

valor promedio del grado de compactación del lote, en porcentaje. Este se calcula según el numeral 107.3.1.3 del artículo 107, Control y aceptación de los trabajos, a partir de los valores individuales del grado de compactación (GC_i).

Las verificaciones de compactación se deben efectuar en todo el espesor de la capa que se está controlando.

Los lotes que no alcancen las condiciones mínimas de compactación se deben escarificar, homogenizar, llevar al contenido de agua adecuado y compactar nuevamente hasta obtener el valor de la densidad seca especificada.

230.5.2.2.2 Espesor

Sobre la base del lote escogido para el control de la compactación y en los mismos puntos de verificación, se debe determinar el espesor promedio de la capa compactada (e_m), el cual no puede ser inferior al espesor de diseño (e_d).

$$e_m \geq e_d \quad [230.5]$$

Además, el valor obtenido en cada determinación individual (e_i) debe ser, como mínimo, igual al noventa por ciento (90 %) del espesor de diseño (e_d); se admite un (1) solo valor por debajo de dicho límite, siempre que este último valor sea igual o mayor al ochenta y cinco por ciento (85 %) del espesor de diseño.

$$e_i \geq 0{,}90 * e_d \quad [230.6]$$

Si estos requisitos no se cumplen, el constructor debe escarificar la capa en un espesor mínimo de cien milímetros (100 mm), añadir el material necesario de las mismas características, recompactar y terminar la capa conforme lo exige el presente artículo.

Si el espesor medio (e_m) resulta inferior al espesor de diseño (e_d), pero ningún valor individual es inferior al noventa por ciento (90 %) del espesor de diseño, el interventor puede admitir el espesor construido, siempre que el constructor se comprometa, por escrito, a compensar la disminución con el espesor adicional necesario de la capa superior, sin que ello implique ningún incremento en los costos para INVÍAS. Si el constructor no suscribe este compromiso, se debe proceder como en el párrafo anterior.

230.5.2.2.3 Planicidad

El interventor debe comprobar la uniformidad de la superficie de la obra ejecutada, en todos los sitios que considere conveniente hacerlo, empleando para ello una regla de tres metros (3 m) de longitud, colocada tanto paralela como perpendicularmente al eje de la vía, en los sitios que este escoja, los cuales no pueden estar afectados por cambios de pendiente.

La superficie acabada no puede presentar variaciones superiores a quince milímetros (15 mm). Cualquier área donde se detecten irregularidades que excedan esta tolerancia debe ser delimitada por el interventor, y el constructor debe corregirla con reducción o adición de material en capas de poco espesor, en cuyo caso, para asegurar buena adherencia, debe ser obligatorio escarificar la capa existente y compactar nuevamente la zona afectada, hasta alcanzar los niveles de compactación exigidos en el presente artículo, sin costo adicional para INVÍAS.

230.5.2.2.4 Protección de la subrasante mejorada

El constructor debe responder por la conservación de la subrasante mejorada hasta que se coloque la capa superior y debe corregir, a su costa, cualquier daño que ocurra en ella después de terminada, no atribuible a fuerza mayor o caso fortuito.

Todas las áreas de subrasante mejorada donde los defectos de calidad y terminación excedan las tolerancias de la presente especificación, deben ser corregidas por el constructor, sin costo adicional para INVÍAS, de acuerdo con las instrucciones del interventor y hasta ser aprobadas por este.

230.6 Medida

La unidad de medida debe ser el metro cuadrado (m^2), aproximado a la décima (0,1), de subrasante mejorada con adición de materiales en las áreas y espesores señalados en los documentos del proyecto y aprobados por el interventor.

El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

No debe haber medida ni pago para los mejoramientos de subrasante, por fuera de las líneas del proyecto, que haya efectuado el constructor por negligencia, o por conveniencia para la operación de sus equipos.

230.7 Forma de pago

El trabajo de mejoramiento de la subrasante con adición de materiales se debe pagar al precio unitario pactado en el contrato, por toda obra ejecutada satisfactoriamente de acuerdo con la presente especificación y aceptada por el interventor.

El precio unitario debe cubrir los costos de escarificación de la subrasante en el espesor requerido, disgregación del material, la extracción y la disposición del material inadecuado, la adición del material necesario para obtener las cotas proyectadas de subrasante y cunetas, su humedecimiento o aireación, compactación y perfilado final y, en general, todos los costos relacionados con la correcta ejecución de los trabajos especificados; herramientas, equipo, mano de obra, cargues, descargues, tanto de material de adición como de los materiales removidos que no sean utilizables y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución de los trabajos especificados.

Además, debe incluir los costos de la señalización preventiva de la vía y el control del tránsito automotor durante la ejecución de los trabajos, los de la conservación de la capa terminada y, en general, todo costo relacionado con la correcta construcción de la capa respectiva.

El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

Debe haber pago separado para el suministro y transporte del material de adición, así como para el transporte del material inadecuado, de acuerdo con los artículos 210, Excavación de la explanación, canales y préstamos y 900, Transporte de materiales provenientes de excavaciones y derrumbes.

230.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
230.1	Mejoramiento de la subrasante con adición de materiales	Metro cuadrado (m^2)

Separación de suelos de subrasante y capas granulares con geotextil

Artículo 231 – 22

231.1 Descripción

Este trabajo consiste en el suministro y la instalación de geotextiles para prevenir la mezcla entre los suelos de subrasante y los materiales que conforman las capas granulares del pavimento, de conformidad con los documentos del proyecto.

Para que la función de separación por parte del geotextil sea efectiva, el suelo de subrasante debe presentar un valor de CBR mayor o igual a tres por ciento (CBR ≥ 3 %), determinado con el ensayo descrito en la norma INV E-169 o tener un valor de resistencia al corte igual o mayor a noventa kilopascales (≥ 90 kPa). La determinación de la resistencia al corte se puede realizar con cualquiera de los siguientes ensayos: norma INV E-152 o INV E-170. Los sitios para hacer las determinaciones deben ser los previstos en los documentos del proyecto o los indicados por el interventor. Adicionalmente a lo anterior, el suelo de subrasante no se puede encontrar en condición saturada.

231.2 Materiales

231.2.1 Geotextil

El tipo y las propiedades requeridas del geotextil deben ser los establecidos en los documentos del proyecto, en función de las condiciones y los procedimientos de instalación, de las condiciones geomecánicas del suelo de subrasante, de la granulometría y demás características del material de cobertura y de las cargas impuestas por los equipos durante la ejecución de los trabajos. En este numeral se indican las propiedades mínimas que debe tener el geotextil.

En general, se pueden emplear geotextiles tejidos o no tejidos, elaborados a partir de polímeros sintéticos de cadena larga, compuestos con un porcentaje mínimo del noventa y cinco por ciento (95 %) en masa de poliolefinas o poliéster. El geotextil debe permitir en todo momento el libre paso del agua.

Las propiedades de los geotextiles se expresan en términos de Valores Mínimos Promedio por Rollo (VMPR). El VMPR es una herramienta de control de la calidad, que le permite a los fabricantes establecer los valores en sus certificados de manera que el comprador tenga un nivel de confianza del noventa y siete coma siete por ciento (97,7 %) en que las propiedades, medidas sobre el producto que compra, cumplen los valores certificados. Para datos que tengan una distribución normal, el VMPR se debe calcular como el valor típico menos dos (2) veces la desviación estándar, cuando se especifican valores mínimos; o más dos

(2) veces la desviación estándar, cuando se especifican valores máximos.

Los valores promedio de los resultados de los ensayos practicados a cualquier rollo deben satisfacer los requisitos establecidos en este artículo.

231.2.1.1 Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas del geotextil se deben establecer en los documentos del proyecto, según las condiciones particulares del mismo y la clase de supervivencia que se defina en ellos. Las propiedades mecánicas para su supervivencia en condiciones normales de instalación se especifican en la Tabla 231 — 1, en términos de VMPR.

231.2.1.2 Propiedades hidráulicas

Las propiedades hidráulicas que debe cumplir el geotextil, salvo que los documentos del proyecto especifiquen otros requisitos, son las que se indican en la Tabla 231 — 2, en términos de VMPR.

Adicionalmente a los requisitos de permitividad, los documentos del proyecto pueden especificar requisitos de permeabilidad, determinada según la norma de ensayo ASTM D4491 (por ejemplo, que sea una o varias veces superior a la permeabilidad del suelo).

Tabla 231 — 1. Propiedades mecánicas del geotextil en términos de VMPR
(Medidas en la dirección principal más débil del geotextil)

Propiedad	Norma de ensayo ASTM	Geotextiles tejidos	Geotextiles no tejidos
Elongación (%)	D4632	< 50	≥ 50
Resistencia a la tensión Grab, valor mínimo (N)	D4632	1 100	700
Resistencia de la costura a la tensión Grab, valor mínimo (N)	D4632	990	630
Resistencia a la penetración con pistón de cincuenta milímetros (50 mm) de diámetro, valor mínimo (N)	D6241	2 200	1 375
Resistencia al rasgado trapezoidal, valor mínimo (N). (Nota)	D4533	400	250

Nota: el VMPR para la resistencia al rasgado trapezoidal de los geotextiles tejidos monofilamento debe ser de doscientos cincuenta newtons (250 N).

Tabla 231 — 2. Propiedades hidráulicas del geotextil en términos de VMPR

Característica	Norma de ensayo ASTM	VMPR
Permitividad, valor mínimo (s^{-1}). (Nota 1)	D4491	0,02
Tamaño de abertura aparente (TAA), valor máximo (mm). (Nota 2)	D4751	0,60
Estabilidad ultravioleta después de quinientas horas (500 h) de exposición, valor mínimo (%)	D4355	50

Nota 1: la permitividad del geotextil debe ser mayor que la permitividad del suelo ($\psi_g > \psi_s$).

Nota 2: el valor del tamaño de abertura aparente (TAA) representa el valor máximo promedio por rollo.

231.2.1.3 Control de calidad de la producción

El fabricante de los geotextiles debe tener un proceso de producción que cuente con un sistema de gestión de la calidad certificado bajo la norma ISO 9001. El laboratorio, propio o externo, que se use para realizar los ensayos de control de la calidad de la producción, debe estar acreditado bajo la norma ISO/IEC 17025 o contar con una acreditación *GAI-LAP (Geosynthetic Accreditation Institute-Laboratory Accreditation Program)* del *Geosynthetic Institute (GSI)*.

El fabricante o proveedor debe suministrar el programa de control de calidad y los datos de soporte, donde se indiquen los requisitos de ensayos, los métodos de ensayo, la frecuencia de los ensayos, los criterios de aceptación en la fabricación y el tamaño del lote para evaluación de cada producto.

231.2.2 Material de cobertura

Este material debe cumplir todo lo especificado en los artículos 311, Afirmado; 320, Subbase granular; y 330, Base granular, según sea el caso, de acuerdo con los documentos del proyecto.

231.2.3 Materiales accesorios

Los materiales accesorios, tales como grapas, arandelas, elementos de fijación y demás elementos necesarios para la instalación del geotextil deben cumplir los requisitos establecidos en la ficha técnica del producto suministrada por el fabricante del geotextil.

231.3 Equipo

Se debe disponer de los equipos necesarios para instalar el geotextil correctamente, así como de elementos de corte y costura y, además, de todos aquellos que se requieran para explotar, procesar, transportar, extender y compactar el material que se deba colocar sobre el geotextil, de conformidad con la especificación correspondiente y los documentos del proyecto.

231.4 Ejecución de los trabajos

231.4.1 Generalidades

El interventor debe exigir al constructor que los trabajos se efectúen con una adecuada coordinación entre las actividades de preparación de la subrasante, la colocación del geotextil y la colocación, la conformación y la compactación del material de cobertura, de manera que el geotextil quede expuesto el menor tiempo posible.

Durante el transporte y el almacenamiento, los geotextiles deben tener empaques que los protejan de la acción de los rayos ultravioleta, agua, barro, polvo, y otros materiales que puedan afectar sus propiedades. Los empaques se deben mantener hasta que el material sea utilizado en obra. El geotextil debe ser almacenado en lugares protegidos del sol, libres de humedad y alta temperatura.

231.4.2 Suministro y manejo de los geotextiles

El geotextil que se suministre debe estar debidamente empacado. La identificación,

el almacenamiento y el manejo de los rollos de geotextil se debe hacer atendiendo lo dispuesto en la norma ASTM D4873.

El vehículo en el que se transporten los rollos de geotextil debe tener la longitud necesaria para proporcionarles apoyo continuo y evitar que se flexionen y dañen durante el traslado.

En el transporte (carga y descarga) de los rollos de geotextil se debe evitar que se produzcan daños mecánicos en los rollos (pinchazos, cortes, etc.).

Los rollos de geotextil se deben almacenar horizontalmente, preferiblemente, en sitios cubiertos protegidos de la luz solar y la humedad. Adicionalmente, si el almacenamiento se hace a la intemperie, el empaque debe ser opaco e impermeable y los rollos de geotextil se deben colocar elevados sobre soportes o estantes y no sobre el piso. En todo caso se deben evitar temperaturas superiores a setenta grados Celsius (70 °C).

Los rollos de geotextil deben ser almacenados preferiblemente en sitios cercanos al frente de trabajo, sobre superficies planas y libres de piedras u otros objetos que puedan dañarlo.

No se debe almacenar ningún rollo o fracción que haya resultado dañado o no esté debidamente identificado.

Los rollos de geotextil no deben ser arrastrados, izados por un extremo, levantados por medio de cables o cadenas o lanzados al piso.

En todo caso se deben tener en cuenta las indicaciones adicionales consignadas en la ficha técnica del producto suministrada por el fabricante para el transporte y almacenamiento de los geotextiles.

231.4.3 Preparación de la subrasante

La colocación del geotextil solo debe ser autorizada por el interventor cuando la subrasante se haya preparado adecuadamente, de acuerdo con las indicaciones del numeral 210.4.1.4 del artículo 210, Excavación de la explanación, canales y préstamos.

La superficie debe ser uniforme, compactada de ser posible y libre de elementos punzantes y cortantes.

231.4.4 Colocación del geotextil

231.4.4.1 Extensión

El geotextil se debe extender en la dirección de avance de la construcción, directamente sobre la superficie preparada, sin arrugas o dobleces. Si es necesario colocar rollos adyacentes de geotextil, estos se deben traslapar o unir mediante la realización de una costura de acuerdo con lo establecido en el numeral 231.4.4.2.

Los traslapos deben ser los recomendados en la ficha técnica del producto suministrada por el fabricante y aceptados por el interventor, y dependen tanto del CBR de la subrasante como del tránsito que vaya a circular sobre la vía durante la construcción, pero no deben ser inferiores a los indicados en la Tabla 231 — 3.

Tabla 231 — 3. Traslapo mínimo

Condición	Traslapo mínimo
CBR ≥ 3 %	30 cm o costura
Todo final de rollo	1 m o costura

Las costuras que se usen en reemplazo de los traslapos deben cumplir las condiciones descritas en el numeral 231.4.4.2, con los requisitos adicionales que se señalen en la ficha técnica del producto.

En las curvas, para desarrollar su geometría, el geotextil puede ser cortado con sus correspondientes traslapos o costuras, o doblado, según sea el caso.

El geotextil se puede mantener en su posición mediante estacas, pequeños montículos de agregados o cualquier medio mecánico que no lo dañe.

No se debe permitir que el geotextil quede expuesto, sin cubrir, por un lapso mayor a tres días (3 d).

231.4.4.2 Elaboración de costuras

Las costuras deben cumplir los siguientes requisitos mínimos:

- El tipo de hilo debe ser poliéster o polipropileno. No se deben permitir hilos elaborados totalmente con fibras naturales, ni hilos de nylon. Cuando se propongan hilos compuestos por fibras sintéticas y fibras naturales, no se deben permitir aquellos que tengan diez por ciento (10 %) o más, en masa, de fibras naturales. Tampoco se deben permitir costuras elaboradas con alambres.
- El tipo de puntada puede ser simple (Tipo 101) o de doble hilo, también llamada de seguridad (Tipo 401).
- La densidad de la puntada debe ser, como mínimo, de ciento cincuenta a doscientas (150 – 200) puntadas por metro.
- La tensión del hilo se debe ajustar en el campo, de tal forma que no corte el geotextil, pero que sea suficiente para asegurar una unión permanente entre las superficies que se van a coser. Si se hace la costura a mano, se deben tener los cuidados necesarios para que, al pasar el hilo, el rozamiento no debilite las fibras del geotextil.
- Dependiendo del tipo de geotextil y del nivel de esfuerzos a que se va a solicitar, el tipo de costura se puede realizar en diferentes configuraciones y con una o varias líneas de costura, siempre y cuando se asegure la correcta transferencia de la tensión.
- La resistencia a la tensión de la unión, de acuerdo con la norma ASTM D4632, debe ser, como mínimo, el noventa por ciento (90 %) de la resistencia a la tensión Grab del geotextil que se está cosiendo, medida de acuerdo con la misma norma de ensayo.
- Los paños de geotextil se deben unir mediante costurado de un color que contraste con el del geotextil, de forma tal que se identifiquen fácilmente las zonas de traslapo o de reparación.
- Se debe entregar al interventor una descripción y muestra del tipo de costura que se va a emplear, como mínimo catorce

días (14 d) antes de iniciar la instalación del geotextil. Se debe presentar el tipo de puntada y la densidad, junto con la información relevante. La muestra debe ser de por lo menos uno coma ocho metros (1,8 m) de costura en uno coma cinco metros (1,5 m) de ancho, realizada con el equipo con el que se va a llevar a cabo el trabajo en campo.

231.4.5 Colocación del material de cobertura

El material de cobertura se debe descargar en un lugar previamente escogido y aprobado por el interventor. Luego, el material se debe extender cuidadosamente, empleando un método que no dé lugar a daños en el geotextil. No se debe permitir el tránsito de maquinaria sobre el geotextil hasta que se conforme y compacte adecuadamente la primera capa del material de cobertura. No se debe permitir el giro de maquinaria sobre la primera capa de dicho material de cobertura.

El espesor de la primera capa compactada de material de cobertura sobre el geotextil debe estar definido en los documentos del proyecto, en función de la granulometría del material, de las características del geotextil y del equipo de construcción. En general, para materiales pétreos de tamaño máximo mayor o igual a treinta milímetros (≥ 30 mm), el espesor de la primera capa compactada de material de cobertura debe ser de veinte centímetros como mínimo (≥ 20 cm). Para materiales pétreos de tamaño máximo menor de treinta milímetros (< 30 mm), el espesor de la primera capa compactada debe ser de quince centímetros como mínimo (≥ 15 cm).

El material de cobertura se debe compactar con el equipo adecuado, hasta lograr el grado de compactación exigido para el material en la especificación respectiva, antes de dar paso al tránsito temporal sobre la vía o comenzar las labores de colocación de la siguiente capa. No se debe permitir el uso de equipo vibratorio o de equipos que puedan punzonar el geotextil para la compactación de la primera capa. Los equipos deben ser operados a velocidades inferiores a los quince kilómetros por hora (15 km/h). El relleno se debe llevar a cabo hasta la cota indicada en los documentos del proyecto.

Las obras de colocación y relleno se deben ejecutar por tramos, los cuales deben quedar terminados en lo posible al final de la jornada, a no ser que el interventor lo autorice de otra manera.

Los documentos del proyecto deben definir el ensayo de referencia para la compactación. Sin embargo, cuando no se defina, el material de cobertura se debe compactar a, por lo menos, el noventa y cinco por ciento (95 %) de los ensayos de compactación (INV E-142), teniendo una variación inferior a quince milímetros (15 mm) respecto a los niveles establecidos en el diseño.

231.4.6 Plan de Manejo de Tránsito (PMT)

El constructor debe contar con un PMT e instalar todos los elementos de señalización preventiva en la zona de los trabajos, los cuales deben garantizar la seguridad permanente, tanto del personal y de los equipos de construcción, como de usuarios y transeúntes.

231.4.7 Limitaciones en la ejecución

Por ningún motivo se debe permitir adelantar los trabajos objeto del presente artículo cuando la temperatura ambiente a la sombra y la de la superficie sean inferiores a cinco grados Celsius (5 °C) o haya lluvia o fundado temor de que ella ocurra.

Los trabajos se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que sea aprobado por este. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

231.4.8 Manejo ambiental

En adición a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a la presente especificación se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en las normas y disposiciones vigentes sobre la conservación del ambiente y los recursos naturales. De esta manera, dichas actividades deben estar incluidas en los costos del proyecto, por tanto, no deben ser objeto de reconocimiento directo en el contrato.

231.4.9 Reparaciones

Antes de ser cubierto, el geotextil colocado debe ser inspeccionado en busca de posibles daños de instalación. En caso de que los hubiese, estos se deben reparar inmediatamente, cubriéndolos con un paño de geotextil que se extienda como mínimo setenta y cinco centímetros (75 cm) alrededor de toda la zona dañada. Se deben seguir las consideraciones adicionales para la reparación, consignadas en la ficha técnica del geotextil suministrada por el fabricante.

Todos los defectos que se presenten en la extensión, en los traslapos, en las costuras, en los cortes o en los dobleces del geotextil; en la extensión y la compactación del material de cobertura, así como los que se deriven de un incorrecto PMT recién terminados los trabajos, deben ser corregidos por el constructor, de acuerdo con las instrucciones del interventor, sin costo alguno para el INVÍAS.

231.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

231.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles:

- Verificar el estado y el funcionamiento de todo el equipo de construcción.
- Verificar que la subrasante esté preparada adecuadamente y que se cumplan las dimensiones y cotas señaladas en los documentos del proyecto, antes de autorizar la colocación del geotextil.

- Verificar que cada rollo de geotextil tenga en forma clara la información del fabricante, el número del lote y la referencia del producto, así como la composición química del mismo.
- Comprobar que, durante el transporte y el almacenamiento, los geotextiles tengan los empaques que los protejan de la acción de los rayos ultravioleta, agua, barro, polvo, y otros materiales que puedan afectar sus propiedades.
- Verificar que el sistema de almacenamiento garantice la protección de los geotextiles contra cualquier tipo de deterioro.
- Supervisar la correcta aplicación del método aceptado, en cuanto a la preparación de la subrasante, la colocación del geotextil y la construcción de las capas de material de cobertura.
- Efectuar ensayos de control sobre el geotextil, en un laboratorio independiente al del fabricante o proveedor, y los ensayos pertinentes al material de cobertura. Los ensayos de control relacionados con el geotextil se deben hacer de conformidad con lo establecido en las normas de ensayo ASTM D4354 y ASTM D4759.

Para efectos del pago, el interventor debe medir el trabajo correctamente ejecutado.

231.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

231.5.2.1 Calidad del geotextil

Por cada lote de rollos que llegue a la obra, el constructor debe entregar al interventor una certificación expedida por el fabricante del geotextil, donde se establezca el nombre del producto, la composición química relevante de los filamentos o cintas y toda la información que describa al geotextil, así como los resultados de los ensayos de calidad efectuados sobre muestras representativas de la entrega, los cuales deben satisfacer todos los requisitos establecidos en las Tablas 231 — 1 y 231 — 2 del presente artículo, o los que se establezcan en los documentos del proyecto, según los que prevalezcan.

Cada rollo de geotextil debe ser identificado con etiquetas que indiquen como mínimo el nombre del producto, la razón social o símbolo del fabricante, el tipo de geotextil, polímero geosintético del que está compuesto el geotextil, número de lote, número de rollo, peso, ancho y longitud del rollo, lugar de origen y fecha de fabricación.

El interventor no debe aceptar el empleo de suministros de geotextil que no se encuentren respaldados por la certificación del fabricante. Dicha constancia no evita, en ningún caso, la ejecución de ensayos de comprobación por parte del interventor, ni implica necesariamente la aceptación de la entrega.

Además, el interventor debe escoger al azar un número de rollos equivalente a la raíz cúbica del número total de rollos que conformen el lote. Se deben evaluar rollos estándar con un área entre cuatrocientos y seiscientos metros cuadrados (400 m^2 – 600 m^2) cada uno. En el caso de rollos con áreas diferentes, el total de metros cuadrados se debe convertir a unidades de rollos equivalentes de quinientos metros cuadrados (500 m^2).

De cada rollo se deben descartar las dos primeras vueltas de geotextil para el muestreo. Posteriormente, se debe tomar una muestra,

como mínimo de un metro (1 m) por el ancho correspondiente al rollo, verificando que esté totalmente seca y limpia. El número de especímenes se debe terminar de conformidad con las normas de ensayo ASTM D4354 y ASTM D4759. Tales especímenes, debidamente identificados (número de lote, referencia del producto, etc.), se deben empacar y enviar a un laboratorio distinto al del fabricante o proveedor, para que les sean realizadas las pruebas especificadas en las Tablas 231 — 1 y 231 — 2.

En relación con los resultados de las pruebas, no se debe admitir ninguna tolerancia sobre los límites establecidos en las Tablas 231 — 1 y 231 — 2, o los que se establezcan en los documentos del proyecto, según los que prevalezcan. No se deben aceptar geotextiles rasgados, agujereados o usados.

231.5.2.2 Calidad del producto terminado

El geotextil colocado debe presentar una superficie uniforme, sin arrugas ni dobleces. Se debe verificar, además, que:

- La distancia entre el eje del proyecto y el borde del geotextil no sea inferior a la señalada en los documentos del proyecto.
- Los traslapos y las costuras cumplan los requisitos establecidos en este artículo.

231.6 Medida

La unidad de medida debe ser el metro cuadrado (m^2), aproximado al entero, de geotextil colocado; aprobado por el interventor, de acuerdo con lo exigido por la presente especificación. El área se debe determinar multiplicando la longitud real, medida a lo largo del eje de la vía, por el ancho especificado en los documentos del proyecto. Para efecto del pago, no se debe medir ningún área por fuera de tales límites, ni se deben considerar los traslapos.

El resultado de la medida se debe informar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

231.7 Forma de pago

El pago se debe hacer al respectivo precio unitario del contrato, por metro cuadrado (m^2), para todo trabajo ejecutado de acuerdo con la presente especificación y aprobado por el interventor.

El precio unitario debe incluir el suministro, el almacenamiento y el transporte del geotextil; la colocación del geotextil; los traslapos y costuras; los desperdicios; los costos de los desvíos que fuese necesario construir con motivo de la ejecución de las obras; la señalización preventiva de la vía y el ordenamiento de todo tipo de tránsito durante la ejecución de los trabajos y el período posterior en que se deba impedir o controlar, de acuerdo con las instrucciones del interventor; así como toda labor, mano de obra, equipo o material necesario para la correcta ejecución de los trabajos especificados.

El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

El material de cobertura y su colocación se debe pagar de acuerdo con la especificación que corresponda al material utilizado, según se indica en el numeral 231.2.2.

231.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
231.1	Geotextil para separación de suelos de subrasante y capas granulares	Metro cuadrado (m^2)

Nota: se debe elaborar un ítem de pago diferente para cada tipo de geotextil que se especifique en el contrato.

Estabilización de suelos de subrasante con geotextil

Artículo 232 – 22

232.1 Descripción

Este trabajo consiste en el suministro y la instalación de geotextiles sobre una subrasante blanda y muy húmeda, de conformidad con los documentos del proyecto, para desempeñar las funciones de separación, filtración y, en algunos casos, refuerzo.

La función de estabilización es apropiada para suelos de subrasante con CBR entre uno y tres por ciento (1 % ≤ CBR < 3 %), determinado con el ensayo descrito en la norma INV E-169 o tener un valor de resistencia al corte no drenado entre treinta y noventa kilopascales (30 kPa – 90 kPa). La determinación de la resistencia al corte no drenado se puede realizar con cualquiera de los siguientes ensayos: norma INV E-152 o INV E-170. Los sitios para hacer las determinaciones deben ser los previstos en los documentos del proyecto o los indicados por el interventor.

Esta especificación no es aplicable al refuerzo de terraplenes donde las condiciones de esfuerzos puedan causar fallas globales de la fundación o del cuerpo del terraplén.

232.2 Materiales

232.2.1 Geotextil

El tipo y las propiedades requeridas del geotextil deben ser los establecidos en los documentos del proyecto, en función de las condiciones y los procedimientos de instalación, de las condiciones geomecánicas del suelo de subrasante, de la granulometría y demás características del material de cobertura y de las cargas impuestas por los equipos durante la ejecución de los trabajos. En este numeral se indican las propiedades mínimas que debe tener el geotextil.

En general, se pueden emplear geotextiles tejidos o no tejidos, elaborados a partir de polímeros sintéticos de cadena larga, compuestos con un porcentaje mínimo del noventa y cinco por ciento (95 %) en masa de poliolefinas o poliéster. El geotextil debe permitir en todo momento el libre paso del agua.

Las propiedades de los geotextiles se expresan en términos de Valores Mínimos Promedio por Rollo (VMPR). El VMPR es una herramienta de control de la calidad que le permite a los fabricantes establecer los valores en sus certificados, de manera que el comprador tenga un nivel de confianza del noventa y siete coma siete por ciento (97,7 %) de que las propiedades, medidas sobre el producto que compra, cumplen los valores certificados. Para datos que tengan una distribución normal, el VMPR se calcula como el valor típico menos dos (2) veces la desviación estándar, cuando se especifican valores mínimos, o más de dos (2) veces la desviación estándar, cuando se especifican valores máximos.

Los valores promedio de los resultados de los ensayos practicados a cualquier rollo deben satisfacer los requisitos establecidos en este artículo.

232.2.1.1 Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas del geotextil deben ser las establecidas en los documentos del proyecto, según las condiciones particulares del mismo y la clase de supervivencia que se defina en ellos. Las propiedades mecánicas para su supervivencia en condiciones normales de instalación se especifican en la Tabla 232 — 1, en términos de VMPR.

232.2.1.2 Propiedades hidráulicas

Las propiedades hidráulicas que debe cumplir el geotextil, salvo que los documentos del proyecto especifiquen otros requisitos, son las que se indican en la Tabla 232 — 2, en términos de VMPR.

Adicionalmente a los requisitos de permitividad, los documentos del proyecto pueden especificar requisitos de permeabilidad, determinada, según la norma de ensayo ASTM D4491 (por ejemplo, que sea una o varias veces superior a la permeabilidad del suelo).

Tabla 232 – 1. Propiedades mecánicas del geotextil en términos de VMPR
(Medidas en la dirección más débil del geotextil)

Propiedad	Norma de ensayo ASTM	Requisito	
		Geotextiles tejidos	Geotextiles no tejidos
Elongación (%)	D4632	< 50	≥ 50
Resistencia a la tensión Grab, valor mínimo (N)	D4632	1 400	900
Resistencia de la costura a la tensión Grab, valor mínimo (N)	D4632	1 260	810
Resistencia a la penetración con pistón de 50 mm de diámetro, valor mínimo (N)	D6241	2 750	1 925
Resistencia al rasgado trapezoidal, valor mínimo (N). (Nota)	D4533	500	350

Nota: el VMPR para la resistencia al rasgado trapezoidal de los geotextiles tejidos monofilamento debe ser de doscientos cincuenta newtons (250 N).

Tabla 232 — 2. Propiedades hidráulicas del geotextil en términos de VMPR

Característica	Norma de ensayo ASTM	VMPR
Permitividad, valor mínimo (s^{-1}). (Nota 1)	D4491	0,05
Tamaño de abertura aparente (TAA), valor máximo (mm). (Nota 2)	D4751	0,43
Estabilidad ultravioleta después de quinientas horas (500 h) de exposición, valor mínimo (%)	D4355	50

Nota 1. la permitividad del geotextil debe ser mayor que la permitividad del suelo ($\psi_g > \psi_s$).

Nota 2: el valor del tamaño de abertura aparente (TAA) representa el valor máximo promedio por rollo.

232.2.1.3 Control de calidad de la producción

El fabricante de los geotextiles debe tener un proceso de producción que cuente con un sistema de gestión de la calidad certificado bajo la norma ISO 9001. El laboratorio, propio o externo, que se use para realizar los ensayos de control de la calidad de la producción, debe estar acreditado bajo la norma ISO/IEC 17025 o contar con una acreditación *GAI-LAP (Geosynthetic Accreditation Institute-Laboratory Accreditation Program)* del *Geosynthetic Institute (GSI).*

El fabricante o proveedor debe suministrar el programa de control de la calidad y los datos de soporte, donde se indiquen los requisitos de ensayos, los métodos de ensayo, la frecuencia de los ensayos, los criterios de aceptación en la fabricación y el tamaño del lote para evaluación de cada producto.

232.2.2 Material de cobertura

Este material debe cumplir todo lo especificado en los artículos 311, Afirmado; 320, Subbase granular; y 330, Base granular, según sea el caso, de acuerdo con los documentos del proyecto.

232.2.3 Materiales accesorios

Los materiales accesorios, tales como grapas, arandelas, elementos de fijación y demás elementos necesarios para la instalación del geotextil deben cumplir los requisitos establecidos en la ficha técnica del producto suministrada por el fabricante del geotextil.

232.3 Equipo

Se debe disponer de los equipos necesarios para instalar el geotextil correctamente, así como de elementos de corte y costura y, además, de todos aquellos que se requieran para explotar, procesar, transportar, extender y compactar el material que se deba colocar sobre el geotextil, de conformidad con la especificación correspondiente y los documentos del proyecto.

232.4 Ejecución de los trabajos

232.4.1 Generalidades

El interventor debe exigir al constructor que los trabajos se efectúen con una adecuada coordinación entre las actividades de preparación de la subrasante y de las capas inferiores del pavimento, si es el caso, la colocación del geotextil y la colocación, conformación y compactación del material de cobertura, de manera que el geotextil quede expuesto el menor tiempo posible.

Durante el transporte y el almacenamiento, los geotextiles deben tener empaques que los protejan de la acción de los rayos ultravioleta, agua, barro, polvo y otros materiales que puedan afectar sus propiedades. Los empaques se deben mantener hasta que el material sea utilizado en obra. El geotextil debe ser almacenado en lugares protegidos del sol, libres de humedad y alta temperatura.

232.4.2 Suministro y manejo de los geotextiles

El geotextil que se suministre debe estar debidamente empacado. La identificación, el

almacenamiento y el manejo de los rollos de geotextil se deben hacer atendiendo lo dispuesto en la norma ASTM D4873.

El vehículo en el que se transporten los rollos de geotextil debe tener la longitud necesaria para proporcionarles apoyo continuo y evitar que se flexionen y dañen durante el traslado.

En el transporte (carga y descarga) de los rollos de geotextil se debe evitar que se produzcan daños mecánicos en los rollos (pinchazos, cortes, etc.).

Los rollos de geotextil se deben almacenar horizontalmente, preferiblemente, en sitios cubiertos protegidos de la luz solar y la humedad. Adicionalmente, si el almacenamiento se hace a la intemperie, el empaque debe ser opaco e impermeable y los rollos de geotextil se deben colocar elevados sobre soportes o estantes y no sobre el piso. En todo caso se deben evitar temperaturas superiores a setenta grados Celsius (70 °C).

Los rollos de geotextil deben ser almacenados preferiblemente en sitios cercanos al frente de trabajo, sobre superficies planas y libres de piedras u otros objetos que puedan dañarlo.

No se debe almacenar ningún rollo o fracción que haya resultado dañado o no esté debidamente identificado.

Los rollos de geotextil no deben ser arrastrados, izados por un extremo, levantados por medio de cables o cadenas o lanzados al piso.

En todo caso, se deben tener en cuenta las indicaciones adicionales consignadas en la ficha técnica del producto suministrada por el fabricante para el transporte y el almacenamiento de los geotextiles.

232.4.3 Preparación de la subrasante

La colocación del geotextil solo debe ser autorizada por el interventor cuando la subrasante se haya preparado adecuadamente. En el caso de la subrasante natural, su preparación debe estar de acuerdo con las indicaciones del artículo 210, Excavación de la explanación, canales y préstamos.

La superficie debe ser uniforme, compactada si es viable según las condiciones geotécnicas del suelo de subrasante y libre de elementos punzantes y cortantes.

232.4.4 Colocación del geotextil

232.4.4.1 Extensión

El geotextil se debe extender en la dirección de avance de la construcción, directamente sobre la superficie preparada, sin arrugas o dobleces. Si es necesario colocar rollos adyacentes de geotextil, estos se deben traslapar o unir mediante la realización de una costura, de acuerdo con numeral 232.4.4.2.

Los traslapos deben ser los recomendados en la ficha técnica del producto suministrada por el fabricante y aceptados por el interventor y dependen tanto del CBR de la subrasante, cuando se coloque sobre esta, como del tránsito que vaya a circular sobre la vía durante la construcción, pero no deben ser inferiores a los indicados en la Tabla 232 — 3.

Tabla 232 — 3. Traslapo mínimo

Condición	Traslapo mínimo
1 ≤ CBR < 3%	60 cm o costura
Todo final de rollo	1 m o costura

Las costuras que se usen en reemplazo de los traslapos deben cumplir las condiciones descritas en el numeral 232.4.4.2 y con los requisitos adicionales que se señalen en la ficha técnica del producto.

En las curvas, para desarrollar su geometría, el geotextil puede ser cortado con sus correspondientes traslapos o costuras, o doblado, según sea el caso.

El geotextil se puede mantener en su posición mediante estacas, pequeños montículos de agregados o cualquier medio mecánico que no lo dañe.

No se debe permitir que el geotextil quede expuesto, sin cubrir, por un lapso mayor a tres días (3 d).

232.4.4.2 Elaboración de costuras

Las costuras deben cumplir los siguientes requisitos mínimos:

- El tipo de hilo debe ser, poliéster o polipropileno. No se deben permitir hilos elaborados totalmente con fibras naturales, ni hilos de nylon. Cuando se propongan hilos compuestos por fibras sintéticas y fibras naturales, no se deben permitir aquellos que tengan diez por ciento (10 %) o más, en masa, de fibras naturales. Tampoco se deben permitir costuras elaboradas con alambres.
- El tipo de puntada puede ser simple (Tipo 101) o de doble hilo, también llamada de seguridad (Tipo 401).
- La densidad de la puntada debe ser, como mínimo, de ciento cincuenta a doscientas (150 – 200) puntadas por metro.
- La tensión del hilo se debe ajustar en el campo de tal forma que no corte el geotextil, pero que sea suficiente para asegurar una unión permanente entre las superficies por coser. Si se hace la costura a mano, se deben tener los cuidados necesarios para que, al pasar el hilo, el rozamiento no debilite las fibras del geotextil.
- De acuerdo con el tipo de geotextil y del nivel de esfuerzos a que se va a solicitar, el tipo de costura se puede realizar en diferentes configuraciones y con una o varias líneas de costura, siempre y cuando se asegure la correcta transferencia de la tensión.
- La resistencia a la tensión de la unión, de acuerdo con la norma ASTM D4632, debe ser, como mínimo, el noventa por ciento (90 %) de la resistencia a la tensión Grab del geotextil que se está cosiendo, medida de acuerdo con la misma norma de ensayo.
- Los paños de geotextil deben unirse mediante costurado, de un color que contraste con el del geotextil, de forma tal que se identifiquen fácilmente las zonas de traslapo o de reparación.
- Se debe entregar al interventor una descripción y muestra del tipo de costura que se va a emplear, como mínimo catorce

días (14 d) antes de iniciar la instalación del geotextil. Se debe presentar el tipo de puntada, y la densidad, junto con la información relevante. La muestra debe ser de por lo menos uno coma ocho metros (1,8 m) de costura en uno coma cinco metros (1,5 m) de ancho, realizada con el equipo con el que se va a llevar a cabo el trabajo en campo.

232.4.5 Colocación del material de cobertura

El material de cobertura se debe descargar en un lugar previamente escogido y aprobado por el interventor. Luego, el material se debe extender cuidadosamente, empleando un método que no dé lugar a daños en el geotextil. No se debe permitir el tránsito de maquinaria sobre el geotextil, hasta que se conforme y compacte adecuadamente la primera capa del material de cobertura. No se debe permitir el giro de maquinaria sobre la primera capa de dicho material de cobertura.

El espesor de la primera capa compactada de material de cobertura sobre el geotextil debe estar definido en los documentos del proyecto, en función de la granulometría del material, de las características del geotextil y del equipo de construcción. En general, para materiales pétreos de tamaño máximo mayor o igual a treinta milímetros (≥ 30 mm), el espesor de la primera capa compactada de material de cobertura debe ser de veinte centímetros como mínimo (≥ 20 cm). Para materiales pétreos de tamaño máximo menor de treinta milímetros (< 30 mm), el espesor de la primera capa compactada debe ser de quince centímetros como mínimo (≥ 15 cm).

El material de cobertura se debe compactar con el equipo adecuado, hasta lograr el grado de compactación exigido para el material en la especificación respectiva, antes de dar paso al tránsito temporal sobre la vía o comenzar las labores de colocación de la siguiente capa. No se debe permitir el uso de equipo vibratorio o de equipos que puedan punzonar el geotextil para la compactación de la primera capa. Los equipos deben ser operados a velocidades inferiores a los quince kilómetros por hora (15 km/h). El relleno se debe llevar a cabo hasta la cota indicada en los documentos del proyecto.

Las obras de colocación y relleno se deben ejecutar por tramos, los cuales deben quedar terminados en lo posible al final de la jornada, a no ser que el interventor lo autorice de otra manera.

Los documentos del proyecto deben definir el ensayo de referencia para la compactación. Sin embargo, cuando no se defina, el material de cobertura se debe compactar a, por lo menos, el noventa y cinco por ciento (95 %) de los ensayos de compactación (INV E-142), teniendo una variación inferior a quince milímetros (15 mm) respecto a los niveles establecidos en el diseño.

232.4.6 Plan de Manejo de Tránsito (PMT)

El constructor debe contar con un PMT e instalar todos los elementos de señalización preventiva en la zona de los trabajos, los cuales deben garantizar la permanente seguridad, tanto del personal y de los equipos de construcción, como de usuarios y transeúntes.

232.4.7 Limitaciones en la ejecución

Por ningún motivo se debe permitir adelantar los trabajos objeto del presente artículo cuando la temperatura ambiente a la sombra y la de la superficie sean inferiores a cinco grados Celsius (5 °C) o haya lluvia o fundado temor de que ella ocurra.

Los trabajos se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por por el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que sea aprobado por este. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

232.4.8 Manejo ambiental

En adición a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a la presente especificación se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en las normas y disposiciones vigentes sobre la conservación del ambiente y los recursos naturales. De esta manera, dichas actividades deben estar incluidas en los costos del proyecto, por tanto, no deben ser objeto de reconocimiento directo en el contrato.

232.4.9 Reparaciones

Antes de ser cubierto, el geotextil colocado debe ser inspeccionado en busca de posibles daños de instalación. En caso de que los hubiese, estos se deben reparar inmediatamente, cubriéndolos con un paño de geotextil del mismo tipo y con las mismas características del geotextil por reparar, que se extienda como mínimo setenta y cinco centímetros (75 cm) alrededor de toda la zona dañada. Se deben seguir las consideraciones adicionales para la reparación consignadas en la ficha técnica del geotextil suministrada por el fabricante.

Todos los defectos que se presenten en la extensión, en los traslapos, en las costuras, en los cortes o en los dobleces del geotextil; en la extensión y la compactación del material de cobertura; así como los que se deriven de un incorrecto PMT recién terminados los trabajos, deben ser corregidos por el constructor, de acuerdo con las instrucciones del interventor, sin costo alguno para el INVÍAS.

232.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

232.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles:

- Verificar el estado y el funcionamiento de todo el equipo de construcción.
- Verificar que la subrasante o la capa de apoyo estén preparadas adecuadamente y que se cumplan las dimensiones y las cotas señaladas en los documentos del proyecto, antes de autorizar la colocación del geotextil.
- Verificar que cada rollo de geotextil tenga en forma clara la información del fabricante, el número del lote y la referencia del producto, así como la composición química del mismo.

- Comprobar que, durante el transporte y el almacenamiento, los geotextiles tengan los empaques que los protejan de la acción de los rayos ultravioleta, agua, barro, polvo, y otros materiales que puedan afectar sus propiedades.
- Verificar que el sistema de almacenamiento garantice la protección de los geotextiles contra cualquier tipo de deterioro.
- Supervisar la correcta aplicación del método aceptado, en cuanto a la preparación de la subrasante, la colocación del geotextil y la construcción de las capas de material de cobertura.
- Efectuar ensayos de control sobre el geotextil, en un laboratorio independiente al del fabricante o proveedor, y los ensayos pertinentes al material de cobertura. Los ensayos de control relacionados con el geotextil se deben hacer de conformidad con lo establecido en las normas de ensayo ASTM D4354 y ASTM D4759.

Para efectos de pago, el interventor debe medir el trabajo ejecutado correctamente.

232.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

232.5.2.1 Calidad del geotextil

Por cada lote de rollos que llegue a la obra, el constructor debe entregar al interventor una certificación expedida por el fabricante del geotextil, donde se establezca el nombre del producto, la composición química relevante de los filamentos o cintas y toda la información que describa al geotextil, así como los resultados de los ensayos de calidad efectuados sobre muestras representativas de la entrega, los cuales deben satisfacer todas los requisitos establecidos en las Tablas 232 — 1 y 232 — 2 del presente artículo, o los que se establezcan en los documentos técnicos del proyecto, según los que prevalezcan.

Cada rollo de geotextil debe ser identificado con etiquetas que indiquen como mínimo el nombre del producto, la razón social o símbolo del fabricante, el tipo de geotextil, polímero geosintético del que está compuesto el geotextil, número de lote, número de rollo, peso, ancho y longitud del rollo, lugar de origen y fecha de fabricación.

El interventor se debe abstener de aceptar el empleo de suministros de geotextil que no se encuentren respaldados por la certificación del fabricante. Dicha constancia no evita, en ningún caso, la ejecución de ensayos de comprobación por parte del interventor, ni implica necesariamente la aceptación de la entrega.

Además, el interventor debe escoger al azar un número de rollos equivalente a la raíz cúbica del número total de rollos que conformen el lote. Se deben evaluar rollos estándar con un área entre cuatrocientos y seiscientos metros cuadrados (400 m^2 – 600 m^2) cada uno. En el caso de rollos con áreas diferentes, el total de metros cuadrados se debe convertir a unidades de rollos equivalentes de quinientos metros cuadrados (500 m^2).

De cada rollo se deben descartar las dos primeras vueltas de geotextil para el muestreo. Posteriormente, se debe tomar una muestra, como mínimo de un metro (1 m) por el ancho correspondiente al rollo, verificando que esté totalmente seca y limpia. El número de especímenes se debe terminar de conformidad con las normas de ensayo ASTM D4354 y ASTM D4759. Tales especímenes, debidamente identificados (número de lote, referencia del producto, etc.), se

deben empacar y enviar a un laboratorio distinto al del fabricante o proveedor, para que les sean realizadas las pruebas especificadas en las Tablas 232 — 1 y 232 — 2.

En relación con los resultados de las pruebas, no se debe admitir ninguna tolerancia sobre los límites establecidos en las Tablas 232 — 1 y 232 — 2, o los que se establezcan en los documentos del proyecto, según los que prevalezcan. No se deben aceptar geotextiles rasgados, agujereados o usados.

232.5.2.2 Calidad del producto terminado

El geotextil colocado debe presentar una superficie uniforme, sin arrugas ni dobleces. Se debe verificar, además, que:

- La distancia entre el eje del proyecto y el borde del geotextil no sea inferior a la señalada en los documentos del proyecto.
- Los traslapos y las costuras cumplan los requisitos establecidos en este artículo.

232.6 Medida

La unidad de medida debe ser el metro cuadrado (m^2), aproximado al entero, de geotextil colocado; aprobado por el interventor, de acuerdo con lo exigido por la presente especificación. El área se debe determinar multiplicando la longitud real, medida a lo largo del eje de la vía, por el ancho especificado en los documentos del proyecto. No se debe medir ningún área por fuera de tales límites, ni se deben considerar, para efecto del pago, los traslapos.

El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

232.7 Forma de pago

El pago se debe hacer al respectivo precio unitario del contrato, por metro cuadrado (m^2), para todo trabajo ejecutado de acuerdo con la presente especificación y aprobado por el interventor.

El precio unitario debe incluir el suministro, almacenamiento y transporte del geotextil; la colocación del geotextil; los traslapos y costuras; los desperdicios; los costos de los desvíos que fuese necesario construir con motivo de la ejecución de las obras; la señalización preventiva de la vía y el ordenamiento de todo tipo de tránsito durante la ejecución de los trabajos y el período posterior en que se deba impedir o controlar, de acuerdo con las instrucciones del interventor; así como toda labor, mano de obra, equipo o material necesario para la correcta ejecución de los trabajos especificados.

El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

El material de cobertura se debe pagar de acuerdo con la especificación que corresponda al material utilizado, según se indica en el numeral 232.2.2.

232.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
232.1	Geotextil para estabilización de la subrasante	Metro cuadrado (m^2)

Nota: se debe elaborar un ítem de pago diferente para cada tipo de geotextil que se especifique en el contrato.

Estabilización de suelos de subrasante y refuerzo de capas granulares con geomallas

Artículo 233 – 22

233.1 Descripción

Este trabajo consiste en el suministro y la instalación de geomallas sobre la subrasante o entre capas granulares del pavimento, en los sitios y con las dimensiones señalados en los documentos del proyecto.

La función de estabilización es apropiada para suelos de subrasante con CBR entre uno y tres por ciento (1 ≤ CBR < 3 %), determinado con el ensayo descrito en la norma INV E-169, o tener un valor de resistencia al corte no drenado entre treinta kilopascales y noventa kilopascales (30 kPa – 90 kPa). La determinación de la resistencia al corte no drenado se debe realizar con cualquiera de los siguientes ensayos: norma INV E-152 o INV E-170. Los sitios para hacer las determinaciones deben ser los previstos en los documentos del proyecto o los indicados por el interventor. Para validar el funcionamiento de las geomallas se deben realizar tramos de prueba. Para subrasantes con CBR inferior a uno por ciento (CBR < 1 %), se debe evaluar la viabilidad de su uso mediante tramos de prueba.

En el caso de estabilización de suelos de subrasante con geomallas, los documentos del proyecto pueden indicar que se coloque un geotextil de separación entre la subrasante y la geomalla. En este caso, la instalación del geotextil de separación debe estar cubierta por el artículo 231, Separación de suelos de subrasante y capas granulares con geotextil.

Esta especificación no es aplicable para el refuerzo de terraplenes donde las condiciones de esfuerzos puedan causar fallas globales de la fundación o del cuerpo del terraplén.

233.2 Materiales

233.2.1 Geomalla

La geomalla debe ser biaxial o multiaxial y debe ser capaz de mantener su estabilidad dimensional durante su instalación y el tránsito normal de construcción.

La geomalla debe resistir el daño durante la construcción, incluyendo la degradación ultravioleta y debe tener resistencia a largo plazo a la degradación química y biológica.

El tipo y las propiedades requeridas de la geomalla deben ser los establecidos en los documentos del proyecto, en función de las condiciones y los procedimientos de instalación, de las condiciones geomecánicas del suelo de subrasante, de la granulometría y demás características del material de cobertura y de las cargas impuestas por los equipos durante la ejecución de los trabajos. En este numeral se indican las propiedades mínimas que debe tener la geomalla.

Varias de las propiedades de las geomallas se expresan en términos de Valores Mínimos Promedio por Rollo (VMPR). El VMPR es una herramienta de control de calidad que le permite a los fabricantes establecer los valores en sus certificados, de manera que el comprador tenga un nivel de confianza del noventa y siete coma siete por ciento (97,7 %) de que las propiedades, medidas sobre el producto que compra, cumplen con los valores certificados. Para datos que tengan una distribución normal, el VMPR se calcula como el valor típico menos dos (2) veces la desviación estándar, cuando se especifican valores mínimos, o más dos (2) veces la desviación estándar, cuando se especifican valores máximos.

Los valores promedio de los resultados de los ensayos practicados a cualquier rollo deben satisfacer los requisitos establecidos en este artículo.

233.2.1.1 Propiedades mecánicas

Las propiedades de la geomalla deben ser las establecidas en los documentos del proyecto, según las condiciones particulares del mismo y la clase de supervivencia que en ellos se defina, a partir de la siguiente guía de la FHWA:

- FHWA-NHI-07-092, *Geosynthetic Design and Construction Guidelines*.

En las Tablas 233 — 1 y 233 — 2 se indican las propiedades mínimas que debe tener la geomalla, para las aplicaciones de estabilización de subrasante y refuerzo de las capas granulares, respectivamente.

Tabla 233 — 1. Propiedades mecánicas de la geomalla para estabilización de la subrasante

Propiedad	Norma de ensayo	Requisito según la clase por supervivencia		
		Clase 1 (Alta)	Clase 2 (Moderada-1)	Clase 3 (Moderada-2)
Propiedades de refuerzo				
Resistencia última a la tensión en prueba con costillas múltiples, VMPR (kN/m).	ASTM D6637	Según lo establecido en los documentos del proyecto, para cada una de las direcciones principales		
Área abierta, como porcentaje (%) del área total.	Medido	50 – 90		
Tamaño de abertura, (mm). (Notas 1 y 2).	Medido	12,5 mm – 75 mm		
		≥ D_{50} del agregado encima de la geomalla		
		≤ 2 * D_{85} del agregado encima de la geomalla		

Propiedad	Norma de ensayo	Requisito según la clase por supervivencia		
		Clase 1 (Alta)	Clase 2 (Moderada-1)	Clase 3 (Moderada-2)
Propiedades de supervivencia (Nota 3)				
Resistencia última a la tensión en prueba de con costillas múltiples, VMPR (kN/m).	ASTM D6637	18	12	12
Resistencia de las uniones o nodos, VMPR (N).	ASTM D7737	110	110	35
Estabilidad ultravioleta: resistencia retenida después de quinientas horas (500 h) de exposición, valor mínimo (%).	ASTM D4355	50		

Nota 1: la abertura de la geomalla se debe medir con un calibrador tipo Vernier, con precisión de cero coma cero un milímetro (0,01 mm). Se deben medir las dimensiones internas (entre costillas) en cada dirección principal, en cinco (5) sitios escogidos aleatoriamente.

Nota 2: D_{50} corresponde al diámetro del tamiz de menor abertura por el cual pasa el cincuenta por ciento (50 %) del material, en masa, con respecto a la masa total del mismo. D_{85} corresponde al diámetro del tamiz de menor abertura por el cual pasa el ochenta y cinco por ciento (85 %) del material, en masa, con respecto a la masa total del mismo.

Nota 3: los requisitos para las propiedades de resistencia por supervivencia representan el sentido principal más débil de la geomalla.

Tabla 233 — 2. Propiedades mecánicas de la geomalla para refuerzo de capas granulares

Propiedad	Norma de ensayo	Requisito según la clase por supervivencia		
		Clase 1 (Alta)	Clase 2 (Moderada-1)	Clase 3 (Moderada-2)
Propiedades de refuerzo				
Resistencia última a la tensión en prueba con costillas múltiples, VMPR (kN/m).	ASTM D6637	Según lo establecido en los documentos del proyecto, para cada una de las direcciones principales		
Módulos secantes a la tensión para el dos y el cinco por ciento (2 % y 5 %) de elongación, VMPR (kN/m).	ASTM D6637	Según lo establecido en los documentos del proyecto, para cada una de las direcciones principales		
Coeficiente de interacción geosintético/ suelo por extracción para el tipo de relleno contemplado en el proyecto, mínimo.	ASTM D6706	Según lo establecido en los documentos del proyecto, para cada una de las direcciones principales		
Coeficientes de deslizamiento pico y residual en la interfaz geosintético/suelo, para el tipo de relleno contemplado en el proyecto, mínimo.	ASTM D5321	Según lo establecido en los documentos del proyecto, para cada una de las direcciones principales		
Área abierta, como porcentaje (%) del área total.	Medido	50 – 90		
Tamaño de abertura, (mm). (Nota 1).	Medido	Según lo establecido en los documentos del proyecto		

Propiedad	Norma de ensayo	Requisito según la clase por supervivencia		
		Clase 1 (Alta)	Clase 2 (Moderada-1)	Clase 3 (Moderada-2)
Propiedades de supervivencia (Nota 2)				
Resistencia última a la tensión en prueba de costillas múltiples, VMPR (kN/m).	ASTM D6637	18	12	12
Resistencia de las uniones o nodos, VMPR (N).	ASTM D7737	110	110	35
Estabilidad ultravioleta: resistencia retenida después de quinientas horas (500 h) de exposición, valor mínimo (%).	ASTM D4355	50		

Nota 1: la abertura de la geomalla se debe medir con un calibrador tipo Vernier, con precisión de cero coma cero un milímetro (0,01 mm). Se deben medir las dimensiones internas (entre costillas) en cada dirección principal, en cinco (5) sitios escogidos aleatoriamente.

Nota 2: los requisitos para las propiedades de resistencia por supervivencia representan el sentido principal más débil de la geomalla.

En reemplazo del requisito de resistencia de las uniones o nodos, el fabricante puede documentar la supervivencia de las uniones a la instalación, mediante pruebas a escala real, según la norma ASTM D5818, que demuestren su integridad, en las condiciones del proyecto (suelo de apoyo, espesor de capas, materiales de relleno, equipo de construcción). La geomalla se debe cubrir con una capa de material de relleno de quince centímetros (15 cm) de espesor mínimo y debe ser sometida al paso repetido de una volqueta cargada, hasta producir un ahuellamiento de diez centímetros (10 cm). El informe de las pruebas debe incluir un registro fotográfico de la geomalla recuperada, que muestre claramente que las uniones no se han desplazado ni sufrido deterioro alguno durante el proceso de instalación.

233.2.1.2 Control de calidad de la producción

El fabricante de las geomallas debe contar con un proceso de producción que cuente con un sistema de gestión de la calidad certificado bajo la norma ISO 9001. El laboratorio, propio o externo, que se use para realizar los ensayos de control de la calidad de la producción, debe estar acreditado bajo la norma ISO/IEC 17025 o contar con una acreditación *GAI-LAP (Geosynthetic Accreditation Institute-Laboratory Accreditation Program)* del *Geosynthetic Institute (GSI).*

El fabricante o proveedor debe suministrar el programa de control de la calidad y los datos de soporte, donde se indiquen los requisitos de ensayos, los métodos de ensayo, la frecuencia de los ensayos, los criterios de aceptación en la fabricación y el tamaño del lote para evaluación de cada producto.

233.2.2 Geotextil de separación

En el caso de estabilización de suelos de subrasante, si los documentos del proyecto indican que se debe colocar un geotextil de

separación entre la subrasante y la geomalla, sus propiedades deben cumplir los requisitos establecidos en el numeral 231.2 del artículo 231.

Normalmente se requiere un geotextil de separación cuando no se cumple con el siguiente requisito:

D_{85} de agregado sobre la geomalla < $5 * D_{85}$ del suelo de subrasante [233.1]

Donde:

D_{85}, diámetro del tamiz de menor abertura por el cual pasa el ochenta y cinco por ciento (85 %) del material, en masa, con respecto a la masa total del mismo.

233.2.3 Material de cobertura

Este material debe cumplir todo lo especificado en los artículos 311, Afirmado; 320, Subbase granular; y 330, Base granular, según sea el caso, de acuerdo con los documentos del proyecto.

233.2.4 Materiales accesorios

Los materiales accesorios, tales como grapas, arandelas, elementos de fijación y demás elementos necesarios para la instalación de la geomalla deben cumplir los requisitos establecidos en la ficha técnica del producto suministrada por el fabricante de la geomalla.

233.3 Equipo

Se debe disponer de los equipos necesarios para instalar la geomalla correctamente, así como de elementos de corte y costura y, además, de todos aquellos que se requieran para explotar, procesar, transportar, extender y compactar el material que se deba colocar sobre la geomalla, de conformidad con la especificación correspondiente y los documentos del proyecto.

233.4 Ejecución de los trabajos

233.4.1 Generalidades

Los trabajos se deben efectuar con la adecuada coordinación entre las actividades de preparación de la subrasante y de las capas inferiores del pavimento si es el caso, la colocación de la geomalla y la colocación, la conformación y la compactación del material de cobertura, de manera que la geomalla quede expuesta el menor tiempo posible.

Durante el transporte y el almacenamiento, las geomallas deben tener empaques que las protejan de la acción de los rayos ultravioleta, agua, barro, polvo y otros materiales que puedan afectar sus propiedades.

233.4.2 Suministro y manejo de las geomallas

Las geomallas que se suministren deben estar empacadas. La identificación, el almacenamiento y el manejo de los rollos de geomallas se deben hacer atendiendo lo dispuesto en la norma ASTM D4873.

El vehículo en el que se transporten los rollos de geomallas debe tener la longitud necesaria para proporcionarles apoyo continuo y evitar que se flexionen y dañen durante el traslado.

En el transporte (carga y descarga) de los rollos de geomallas se debe evitar que se produzcan daños mecánicos en los rollos (pinchazos, cortes, etc.).

Los rollos de geomallas se deben almacenar horizontalmente, preferiblemente, en sitios cubiertos protegidos de la luz solar y la humedad. Adicionalmente, si el almacenamiento se hace a la intemperie, el empaque debe ser opaco e impermeable y los rollos de geomallas se deben colocar elevados sobre soportes o estantes y no sobre el piso. En todo caso se deben evitar temperaturas superiores a setenta grados Celsius (70 °C).

Los rollos de geomallas deben ser almacenados preferiblemente en sitios cercanos al frente de trabajo, sobre superficies planas y libres de piedras u otros objetos que puedan dañarlo.

No se debe almacenar ningún rollo o fracción que haya resultado dañado o no esté identificado.

Los rollos de geomallas no deben ser arrastrados, izados por un extremo, levantados por medio de cables o cadenas o ser lanzados al piso.

En todo caso se deben tener en cuenta las indicaciones adicionales consignadas en la ficha técnica del producto suministrada por el fabricante, para el transporte y el almacenamiento de las geomallas.

233.4.3 Preparación de la subrasante o de la capa granular de apoyo

La colocación de la geomalla solo debe ser autorizada por el interventor cuando la subrasante o la capa granular de apoyo se haya preparado adecuadamente. En el caso de la subrasante natural, se debe preparar de acuerdo con las indicaciones del artículo 210, Excavación de la explanación, canales y préstamos.

233.4.4 Colocación de la geomalla

233.4.4.1 Extensión

La geomalla se debe extender en la dirección de avance de la construcción, directamente sobre la superficie preparada. La geomalla se debe alinear, templar manualmente y asegurar a la superficie para mantener la tensión. La sujeción a la superficie se debe hacer según las recomendaciones consignadas en la ficha técnica del producto suministrada por el fabricante, por medio de grapas o pequeñas pilas de agregado de cobertura.

Si es necesario colocar rollos adyacentes de geomalla, estos se deben traslapar de acuerdo con las recomendaciones consignadas en la ficha técnica del producto.

En el caso de subrasantes muy blandas (CBR < 1 %), la geomalla se debe extender en forma perpendicular a la vía, salvo que los documentos del proyecto indiquen otra cosa.

La geomalla no debe estar expuesta, sin cubrir, por más de tres días (3 d).

233.4.4.2 Empalmes

Las geomallas pueden ser traslapadas o pueden ser conectadas por medio de sujetadores mecánicos.

Los traslapos deben ser los recomendados en la ficha técnica del producto y aceptados por el interventor y dependen tanto del CBR de la subrasante, cuando se coloque sobre esta, como del tránsito que vaya a circular sobre la vía durante la construcción, pero no deben ser inferiores a los indicados en la Tabla 233 — 3.

Tabla 233 — 3. Traslapo mínimo

Condición	Traslapo mínimo
CBR ≥ 3%	30 cm
1 % < CBR < 3 %	60 cm
0,5 % < CBR ≤ 1 %	90 cm
CBR ≤ 0,5 %	Unión mecánica
Todo final de rollo	0,90 m

Los traslapos se deben asegurar con uniones plásticas, según las recomendaciones consignadas en la ficha técnica del producto, separadas no más de seis metros (6 m) en las uniones longitudinales o uno coma cinco metros (1,5 m) en las uniones transversales. En el caso de subrasantes muy blandas (CBR < 1 %), los traslapos se deben amarrar con cable de nylon para mantener sus dimensiones.

En el caso de conexiones mecánicas, los elementos que se usen y los procedimientos de instalación se deben acoger a las recomendaciones consignadas en la ficha técnica del producto suministrada por el fabricante de la geomalla. La durabilidad de estos elementos debe ser, como mínimo, igual a la durabilidad de la geomalla.

Salvo que los documentos del proyecto indiquen otra cosa, la resistencia última a la tensión de las uniones mecánicas, medida en la dirección perpendicular al empalme, debe ser, como mínimo, igual a la resistencia última de la geomalla a la tensión en prueba con costillas múltiples especificada en la Tabla 233 — 1. La medición de la resistencia de la unión se debe realizar con el mismo procedimiento de ensayo que se utiliza para medir la resistencia última a la tensión en prueba con costillas múltiples de la geomalla.

233.4.5 Colocación del material de cobertura

El material de cobertura se debe descargar en un lugar previamente escogido y autorizado por el interventor. Luego, el material se debe extender cuidadosamente, empleando un método que no dé lugar a daños en la geomalla.

Sobre la geomalla no deben transitar directamente los equipos de construcción de orugas. Debe haber una cobertura mínima de quince centímetros (15 cm) para permitir su circulación. Los equipos de llantas pueden transitar sobre la geomalla, siempre y cuando el material de apoyo lo permita, a una velocidad máxima de cinco kilómetros por hora (5 km/h).

No se debe permitir el giro de maquinaria sobre la primera capa de dicho material de cobertura.

El espesor de la primera capa compactada de material de cobertura sobre la geomalla debe estar definido en los documentos del proyecto, en función de la granulometría del material, de las características de la geomalla y del equipo de construcción. En general, para materiales pétreos de tamaño máximo igual o mayor a treinta milímetros (≥ 30 mm), el espesor de la primera capa compactada

de material de cobertura debe ser de veinte centímetros como mínimo (≥ 20 cm). Para materiales pétreos de tamaño máximo menor de treinta milímetros (< 30 mm), el espesor de la primera capa compactada debe ser de quince centímetros como mínimo (≥ 15 cm).

El material de cobertura se debe compactar con el equipo adecuado, hasta lograr el grado de compactación exigido para el material en la especificación respectiva, antes de dar paso al tránsito temporal sobre la vía o comenzar las labores de colocación de la siguiente capa. El relleno se debe llevar a cabo hasta la cota indicada en los documentos del proyecto.

233.4.6 Plan de Manejo de Tránsito (PMT)

El constructor debe contar con un PMT e instalar todos los elementos de señalización preventiva en la zona de los trabajos, los cuales deben garantizar la permanente seguridad, tanto del personal y de los equipos de construcción, como de usuarios y de transeúntes.

233.4.7 Limitaciones en la ejecución

Por ningún motivo se debe permitir adelantar los trabajos objeto del presente artículo, cuando la temperatura ambiente a la sombra y la de la superficie sean inferiores a dos grados Celsius (2 °C) o haya lluvia o fundado temor de que ella ocurra.

Los trabajos se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que sea aprobado por este. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

233.4.8 Manejo ambiental

En adición a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a la presente especificación se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en las normas y disposiciones vigentes sobre la conservación del ambiente y los recursos naturales. De esta manera, dichas actividades deben estar incluidas en los costos del proyecto, por tanto, no deben ser objeto de reconocimiento directo en el contrato.

233.4.9 Reparaciones

Todos los defectos que se presenten en la extensión, en los traslapos, en las uniones, en los elementos de sujeción, en los cortes de la geomalla, en la extensión y la compactación del material de cobertura, así como los que se deriven de un incorrecto control del tránsito recién terminados los trabajos, deben ser corregidos por el constructor, de acuerdo con las instrucciones del interventor, sin costo alguno para INVÍAS.

233.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

233.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles:

- Verificar el estado y el funcionamiento de todo el equipo de construcción.
- Verificar que la subrasante o la capa de apoyo estén preparadas adecuadamente y que se cumplan las dimensiones y las cotas señaladas en los documentos del proyecto, antes de autorizar la colocación de la geomalla.
- Verificar que cada rollo de geomalla presente, en forma clara, la información del fabricante, el número del lote y la referencia del producto, así como la composición química del mismo.
- Comprobar que, durante el transporte y el almacenamiento, las geomallas tengan los empaques que las protejan de la acción de los rayos ultravioleta, agua, barro, polvo, y otros materiales que puedan afectar sus propiedades.
- Verificar que el sistema de almacenamiento garantice la protección de las geomallas contra cualquier tipo de deterioro.
- Supervisar la correcta aplicación del método aceptado, en cuanto a la preparación de la subrasante o capa granular de apoyo, la colocación de la geomalla y la construcción de las capas de material de cobertura.
- Efectuar ensayos de control sobre la geomalla, en un laboratorio independiente al del fabricante o proveedor, y los ensayos pertinentes al material de cobertura.

Para efectos de pago, el interventor debe medir las cantidades de obra ejecutadas a satisfacción.

233.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

233.5.2.1 Calidad de la geomalla

Por cada lote de rollos que llegue a la obra, el constructor debe entregar al interventor una certificación expedida por el fabricante de la geomalla, donde se establezca el nombre del producto, la composición química y toda la información que describa la geomalla, así como los resultados de los ensayos de calidad efectuados sobre muestras representativas de la entrega, los cuales deben satisfacer todas las condiciones establecidas en los documentos del proyecto o en las Tablas 233 — 1 y 233 — 2, según los que prevalezcan. El interventor no debe aceptar el empleo de suministros de geomalla que no se encuentren respaldados por la certificación del fabricante. Dicha constancia no evita, en ningún caso, la ejecución de ensayos de comprobación por parte del interventor, ni implica necesariamente la aceptación de la entrega.

Además, el interventor debe escoger al azar un número de rollos equivalente a la raíz cúbica del número total de rollos que conformen el lote. Se deben evaluar rollos estándar con un área entre cuatrocientos y seiscientos metros cuadrados (400 m^2 — 600 m^2) cada uno. En el caso de rollos con áreas diferentes, el total de metros cuadrados se debe convertir a unidades de rollos equivalentes de quinientos metros cuadrados (500 m^2).

De cada rollo se deben descartar las dos primeras vueltas de geomalla para el muestreo. Posteriormente, se debe tomar una muestra, como mínimo de un metro (1 m) por el ancho correspondiente al rollo, verificando que esté totalmente seca y limpia. Tales especímenes, debidamente identificados (número de lote, referencia del producto, etc.), se deben empacar y enviar a un laboratorio distinto al del fabricante o proveedor, para que les sean realizadas las pruebas especificadas en los documentos del proyecto o en la Tabla 233 — 4, según lo que prevalezca.

En relación con los resultados de las pruebas, no se debe admitir ninguna tolerancia sobre los límites establecidos.

Tabla 233 — 4. Pruebas de verificación de la calidad de la geomalla

Propiedad	Norma de ensayo
Propiedades de refuerzo	
Resistencia última a la tensión en prueba con costillas múltiples (kN/m). (Nota 1).	ASTM D6637
Módulos secantes a la tensión para el dos y el cinco por ciento (2 % y 5 %) de elongación (kN/m).	ASTM D6637
Área abierta, como porcentaje (%) del área total.	Medido
Tamaño de abertura (mm). (Nota 2).	Medido
Propiedades de supervivencia	
Resistencia de las uniones o nodos, VMPR (N).	ASTM D7737
Estabilidad ultravioleta: resistencia retenida después de quinientas horas (500 h) de exposición (%).	ASTM D4355

Nota 1: para aplicaciones de refuerzo de capas granulares.

Nota 2: la abertura de la geomalla se debe medir con un calibrador tipo Vernier, con precisión de cero coma cero un milímetro (0,01 mm). Se deben medir las dimensiones internas (entre costillas) en cada dirección principal, en cinco (5) sitios escogidos aleatoriamente.

233.5.2.2 Calidad del producto terminado

La geomalla colocada debe presentar una superficie uniforme y templada. Se debe verificar, además, que:

- La distancia entre el eje del proyecto y el borde de la geomalla no sea inferior a la señalada en los documentos del proyecto.
- Los traslapos, las uniones y las sujeciones cumplan con los requisitos establecidos en este artículo.

233.6 Medida

La unidad de medida debe ser el metro cuadrado (m^2), aproximado al entero, de geomalla colocada; aprobada por el interventor, de acuerdo con lo exigido por la presente

especificación. El área se debe determinar multiplicando la longitud real, medida a lo largo del eje de la vía, por el ancho especificado en los documentos del proyecto. No se debe medir ningún área por fuera de tales límites, ni se debe considerar, para efecto del pago, los traslapos.

El resultado de la medida se debe informar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

233.7 Forma de pago

El pago se debe hacer al respectivo precio unitario del contrato, por metro cuadrado (m^2), para todo trabajo ejecutado, de acuerdo con la presente especificación y aprobado por el interventor.

El precio unitario debe incluir el suministro, el almacenamiento y el transporte de la geomalla; la colocación de la geomalla, con sus uniones y elementos de fijación; los traslapos; los desperdicios; la señalización preventiva de la vía y el ordenamiento de todo tipo de tránsito durante la ejecución de los trabajos y el período posterior en que se deba impedir o controlar, de acuerdo con las instrucciones del interventor; así como toda labor, mano de obra, equipo o material necesario para la correcta ejecución de los trabajos especificados.

El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

El material de cobertura se debe pagar de acuerdo con la especificación que corresponda al material utilizado, según se indica en el numeral 233.2.3.

La instalación del geotextil de separación, si se requiere, se debe pagar según el artículo 231, Separación de suelos de subrasante y capas granulares con geotextil.

233.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
233.1	Geomalla para estabilización de suelos de subrasante	Metro cuadrado (m^2)
233.10	Geomalla para refuerzo de capas granulares	Metro cuadrado (m^2)

Nota: se debe elaborar un ítem de pago para cada tipo de geomalla que se especifique en el contrato.

Conformación de taludes existentes

Artículo 234 – 22

234.1 Descripción

Este trabajo consiste en las operaciones necesarias para mejorar geométricamente superficies irregulares o deterioradas de taludes existentes de excavaciones, terraplenes y pedraplenes que así lo requieran, de acuerdo con los documentos del proyecto.

La ejecución de las labores de acabado geométrico de taludes nuevos, que se construyan como parte del proyecto está incluida en las respectivas unidades de obra: artículos 210, Excavación de la explanación, canales y préstamos; 220, Terraplenes; y 221, Pedraplenes, según corresponda.

234.2 Materiales

Los materiales requeridos para las operaciones de relleno descritas en el numeral 234.4, deben ser los que autorice el interventor. Los materiales por emplear deben ser preferiblemente provenientes de las obras de la explanación. El uso de materiales de préstamo debe ser justificado por el constructor y aprobado por el interventor.

234.3 Equipo

El equipo que se utilice para el perfilado debe ser el adecuado para obtener la calidad especificada en el proyecto, en la cantidad suficiente para producir el rendimiento y para garantizar el avance físico de ejecución, según el programa de trabajo. Su selección es responsabilidad del constructor. Dicho equipo se debe mantener en óptimas condiciones de operación, durante el tiempo que dure la ejecución de la obra y debe ser operado por personal capacitado. Si durante el trabajo y a criterio del interventor y por instrucción de este, el equipo presenta deficiencias o no produce los resultados esperados, se debe suspender inmediatamente el trabajo, en tanto que el constructor corrija las deficiencias. Los atrasos en el programa de ejecución, que se ocasionen por este motivo, son responsabilidad del constructor.

Los equipos y los procedimientos constructivos deben garantizar la conservación de obras elaboradas previamente, árboles u otros elementos existentes.

234.4 Ejecución de los trabajos

En lo posible, las obras de conformación de taludes se deben realizar con posterioridad a la explanación y después de construir los drenajes y obras de arte que no interfieran con la operación.

Se debe eliminar de la superficie de los taludes, cualquier material inadecuado o inestable que no se pueda compactar debidamente o que el interventor considere que no sirva a los fines previstos. Los huecos resultantes se deben rellenar con materiales

adecuados, preferiblemente provenientes de la misma explanación, de acuerdo con las indicaciones del interventor.

En caso de que se produzca un deslizamiento o un proceso de inestabilidad en el talud de un terraplén, se debe retirar y sustituir el material afectado por el movimiento, y reparar el daño producido en la obra. El contacto entre el material sustituido y el remanente en el talud se debe escalonar para asegurar la estabilidad del primero. A continuación, la superficie final del talud se debe perfilar, de acuerdo con los criterios definidos en este artículo.

Los taludes deben quedar conformados de acuerdo con los documentos del proyecto y las instrucciones complementarias del interventor, y se debe mantener en perfecto estado hasta el recibo definitivo de las obras, tanto en lo que se refiere a los aspectos funcionales como a los estéticos.

Los perfilados de taludes que se efectúen para armonizar con el paisaje circundante se deben hacer con una transición gradual, cuidando especialmente las transiciones entre taludes de distinta inclinación. En los tramos de paso de excavación a terraplén y viceversa, los taludes se curvan gradualmente para unirse entre sí y con la superficie natural del terreno, sin originar una discontinuidad visible.

El vértice inferior y superior de la cara de cada talud se debe redondear, excepto en aquellos sobre roca dura, ajustándose a los documentos del proyecto e instrucciones del interventor. Del mismo modo, se deben redondear los recubrimientos de tierra sobre masas de roca.

El acabado de los taludes debe ser suave, uniforme y totalmente acorde con la superficie del terreno y la carretera, sin grandes contrastes, y ajustándose al proyecto, procurando evitar daños a árboles existentes o rocas que tengan pátina (cualquier superficie expuesta donde sea evidente la alteración, física o química, de los minerales de la roca *in situ*), para lo cual se deben hacer los ajustes necesarios.

Los materiales que no se utilicen se deben retirar del sitio de los trabajos, y se deben depositar en las Zonas de Disposición de Materiales de Excavación (ZODME) o zonas de disposición autorizadas, en la forma que indique el proyecto o apruebe el interventor. Con esto se busca evitar alteraciones a la funcionalidad de la carretera, al paisaje y a cuerpos de agua, así como para no obstaculizar el drenaje natural. Se debe seguir, en todo caso, lo dispuesto en la legislación vigente en materia ambiental, de seguridad y salud, y de almacenamiento y transporte de productos de construcción.

Cualquier daño no previsto a una estructura o construcción existente causado por la ejecución de los trabajos de excavación debe ser asumido por el constructor, quien debe reponer el bien a entera satisfacción de su propietario sin costo para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS).

234.4.1 Limitaciones en la ejecución

No se deben adelantar los trabajos objeto del presente artículo cuando la temperatura ambiente a la sombra y la de la superficie sean inferiores a dos grados Celsius (2 °C) o haya lluvia o fundado temor de que ella ocurra.

Los trabajos de conformación de taludes existentes se deben realizar en condiciones de luz

solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que sea aprobado por este. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

De cualquier modo, a pesar de las limitaciones en la ejecución de las labores, estas se deben considerar en la planeación del trabajo para su realización.

234.4.2 Manejo ambiental

En adición a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a la presente especificación se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en las normas y disposiciones vigentes sobre la conservación del ambiente y los recursos naturales. De esta manera, dichas actividades deben estar incluidas en los costos del proyecto, por tanto, no deben ser objeto de reconocimiento directo en el contrato.

234.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

234.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Comprobar el estado y funcionamiento del equipo de construcción.
- Verificar la eficiencia y la seguridad de los procedimientos de construcción.
- Vigilar el cumplimiento de los programas de trabajo.
- Verificar el alineamiento, perfil y sección de las áreas conformadas.
- Comprobar que se cumplen las exigencias de la ejecución de los trabajos y las tolerancias definidas en el presente artículo.

Para efectos de pago, el interventor debe medir las unidades de trabajo ejecutado por el constructor, de acuerdo con la presente especificación.

234.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

Los taludes deben ser perfilados, de acuerdo con las pendientes establecidas en los documentos del proyecto. Ningún punto de su superficie se debe alejar más de diez centímetros (10 cm) del plano teórico de dicho talud. Si el material del talud es conglomerado o roca, la tolerancia debe ser de treinta centímetros (30 cm).

La medida se debe hacer en la dirección perpendicular al plano del talud. Se exceptúan de estos requisitos las áreas con afloramientos rocosos, cuya permanencia haya sido aprobada por el interventor.

234.6 Medida

La conformación de taludes existentes se debe pagar por metro cuadrado (m^2), aproximado a la décima (0,1), medido sobre el plano del talud. El resultado de la medida se

debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

No debe haber medición para efectos de pago por la construcción de escalones, ni por los redondeos de los bordes superiores de los cortes. Las sobreexcavaciones y los cortes no autorizados por el interventor, deben ser a cargo del constructor, incluso sus rellenos, cuando corresponda.

234.7 Forma de pago

El trabajo de conformación de taludes existentes, se debe pagar al respectivo precio unitario del contrato, por toda obra ejecutada, de acuerdo con este artículo y aprobada por el interventor.

El precio unitario para la conformación de taludes existentes debe cubrir todos los costos por concepto de excavación, remoción, cargue, acarreo libre, y descargue de los materiales en la zona de utilización o desecho, así como toda labor, mano de obra, equipo o material necesarios para la correcta ejecución de los trabajos especificados.

El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

El pago de este ítem se debe realizar cuando, por la naturaleza del proyecto, se haya contemplado como actividad independiente. De otra forma, se debe considerar incluido en las unidades de obra definidas por los artículos: artículos 210, Excavación de la explanación, canales y préstamos; 220, Terraplenes; y 221, Pedraplenes, según corresponda.

234.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
234.1	Conformación de taludes existentes	Metro cuadrado (m^2)

Estabilización de suelos de subrasante y terraplén con cemento

Artículo 235 – 22

235.1 Descripción

Este trabajo consiste en la estabilización, en sitio o en planta, de los suelos de subrasante y terraplén, mediante su mezcla homogénea con cemento hidráulico, de acuerdo con las dimensiones, los alineamientos y las secciones indicados en los documentos del proyecto.

Para la estabilización de suelos, se deben definir tramos homogéneos que permitan garantizar los diseños de mezcla, los procesos constructivos y el control de calidad de la obra.

235.2 Materiales

235.2.1 Suelos

Los suelos que se van a estabilizar con cemento hidráulico pueden resultar de la combinación de gravas, arenas, limos y arcillas, existentes o provenientes de zonas de préstamo, siempre y cuando estos no presenten altos contenidos de materia orgánica o sales en cantidades perjudiciales que afecten su desempeño.

La caracterización del suelo debe tener como objetivo obtener una mezcla económica y un buen desempeño estructural, en términos de la cantidad de cemento.

Los suelos, para su estabilización con cemento, deben cumplir los requisitos generales que se indican en la Tabla 235 — 1. Los documentos del proyecto pueden establecer requisitos adicionales para los suelos por estabilizar con cemento.

Tabla 235 — 1. Requisitos de suelos para la estabilización de suelos con cemento

Característica	Norma de ensayo	Requisito
Composición (F)		
Material que pasa el tamiz de 4,75 mm (nro. 4) (%)	INV E-213	Reportar
Material que pasa el tamiz de 0,075 mm (nro. 200) (%)	INV E-214	Reportar
Limpieza (F)		
Límite líquido (%)	INV E-125	Reportar
Límite plástico (%)	INV E-126	Reportar
Contenido de materia orgánica, máximo (%). (Nota 1)	INV E-121/UNE 103204	2

Característica	Norma de ensayo	Requisito
Características químicas (O)		
Proporción de sulfatos, expresada como $SO_4^=$, máximo (%)	INV E-233/UNE 103201	0,9 (Nota 2)

Nota 1: se pueden estabilizar suelos con contenido de materia orgánica entre dos y tres por ciento (2 % – 3 %) cuando la viabilidad de su estabilización sea demostrada mediante un estudio específico aprobado por el interventor y validado en la fase experimental. El ensayo de contenido de materia orgánica se puede realizar mediante la norma INV E-121 o la UNE 103204.

Nota 2: la utilización de suelos con sulfatos solubles puede dar lugar a hinchamientos por la formación de ettringita secundaria y otros compuestos. Cuando en las características geológicas de la zona, hayan dificultades para disponer de suelos o materiales locales con contenidos de sulfatos solubles iguales o superiores a cero coma nueve por ciento (0,9 %), se requiere la realización de un estudio específico de aptitud de uso:

- El valor de expansión volumétrica de suelo estabilizado después de siete días (7 d) de inmersión en agua, debe ser inferior al cinco por ciento (5 %), de acuerdo con la norma UNE-EN 13286-49.
- Se debe cumplir, además, que la resistencia a la tracción indirecta, norma UNE-EN 13286-42 (o NTC 722), sea mayor o igual a cero coma dos megapascales (0,2 MPa).

235.2.2 Cemento

Los documentos del proyecto deben establecer el tipo de cemento por utilizar, teniendo en cuenta las recomendaciones del artículo 501, Suministro de cemento hidráulico, o de la NTC 4050. La selección se debe acompañar de la definición de los procesos de colocación y compactación que garanticen la adecuada disposición y curado de las capas, los cuales deben ser confirmados y aprobados por el interventor en la fase experimental.

El constructor debe presentar los resultados de todos los ensayos físicos y químicos relacionados con el cemento, como parte del diseño de la mezcla.

Si por alguna razón el cemento ha fraguado parcialmente o contiene terrones del producto endurecido, no debe ser utilizado. Tampoco se debe permitir emplear cemento extraído de bolsas usadas en jornadas anteriores.

235.2.3 Agua

El agua que se requiera para la estabilización con cemento debe ser limpia y libre de cantidades apreciables de aceites, ácidos, álcalis, azúcares, materia orgánica y cualquier otra sustancia perjudicial que pueda afectar al cemento. Así mismo, el agua no debe afectar negativamente el fraguado, el endurecimiento y el comportamiento de la mezcla. El agua utilizada en la mezcla debe cumplir los requisitos que se indican en la Tabla 235 — 2.

Tabla 235 — 2. Requisitos del agua no potable para la estabilización de suelos con cemento

Característica	Norma de ensayo ASTM	Requisito
pH, mínimo	D1293	5,5
Contenido de sulfatos, expresado como $SO_4^=$, máximo (kg/m^3)	D516	1,0

235.2.4 Aditivos

Los documentos del proyecto pueden establecer el uso de aditivos para obtener la trabajabilidad adecuada, mejorar las características de la mezcla o mejorar el comportamiento esperado de la mezcla; para su uso, se recomienda una especificación particular para el aditivo que tenga en cuenta:

1. Establecimiento de las condiciones de humedad relativa, temperatura media y viento de la zona de los trabajos.

2. Clasificación del aditivo según el tipo de procesos de estabilización; los tipos de procesos de estabilización son:

   - Sistemas de transporte coloidal (STC)
   - Estabilización suelo-polvo de roca (SPR)
   - Estabilización por medio de enzimas (ENZ)
   - Estabilización electromecánica de suelos (EQS)
   - Estabilización a través de bases orgánicas (BO)
   - Estabilizaciones con adiciones a suelos cemento (ASC)

3. Ejecución de ensayos (laboratorio y/o in situ) y análisis de resultados que demuestren que los aditivos cumplen la función prevista con los materiales.

4. Determinación de las dosificaciones de la fórmula de trabajo y metodología de puesta en obra.

5. Con base en los resultados de laboratorio de la fase exploratoria, determinación del módulo de rigidez estimado (*Ee*) de la capa estabilizada.

El empleo de aditivos retardadores de fraguado es obligatorio cuando se prevea que la temperatura ambiente durante la construcción de la capa estabilizada sea mayor a treinta grados Celsius (30 °C), salvo que el interventor, con base en los resultados de ensayos realizados para obtener la fórmula de trabajo, apruebe la construcción convencional sin uso de aditivos.

Para la ejecución de los trabajos, el constructor debe constatar y establecer la fecha de vencimiento de los aditivos. Por ningún motivo se pueden aplicar aditivos que se encuentren vencidos.

Luego de ejecutados los trabajos, se deben realizar ensayos a muestras extraídas *in-situ* de la capa estabilizada que determinen el módulo de rigidez obtenido (*Eo*) de la capa estabilizada, con el propósito de verificar y documentar el grado de mejora logrado.

235.2.5 Del suelo estabilizado para rellenos de terraplén

En los documentos del proyecto o durante la ejecución de la obra se puede determinar la necesidad de estabilización de materiales usados para la formación de rellenos tipo terraplén cuando, como resultado de la caracterización de los materiales efectuada, se incumpla con alguno de los criterios establecidos en el artículo 220, Terraplenes, pero se cumplan los establecidos en la Tabla 235 — 3. En este caso, la estabilización debe tener alguno de los siguientes objetivos:

- Disminución del potencial expansivo y de contracción del suelo a nivel medio para cuerpo de terraplén y nivel bajo para corona respectivamente, de acuerdo con los requerimientos de la norma INV E-132.
- Aumento de la resistencia medida a través del CBR y reducción del potencial de expansión, a través de la norma INV E-148.
- Reducción del potencial de colapso del suelo medido a través de la norma INV E-157.

En tal caso, deben ser aplicables, la definición de las partes de un terraplén, los requisitos de acabado y las demás descritas en el artículo 220.

Cuando así se determine, los materiales estabilizados con cemento que se empleen en la construcción de los terraplenes deben cumplir los requisitos indicados en la Tabla 235 — 3.

Tabla 235 — 3. Características del material para terraplén estabilizado con cemento

Característica	Norma de ensayo	Cimiento y núcleo	Espaldones y corona
Valor de azul de metileno, máximo (g/kg).	INV E-235	40	40
Límite líquido, máximo (%). (Nota 1).	INV E-125	40	40
Límite de contracción, Método de Parafina, mínimo (%).	INV E-129	13	13
Contenido mínimo de cemento (%). (Nota 2).	INV E-617	2	2
Característica	**Norma de ensayo**	**Cimiento y núcleo**	**Espaldones y corona**
CBR de laboratorio cuatro días (4 d) sumergido, mínimo (%). Los valores de CBR indicados corresponden a la densidad mínima exigida en el numeral 235.5.3.1 de esta especificación.	INV E-148	6	6
Expansión libre en edómetro, máximo (%).	ASTM D4546	1,5	No expansivo
Índice de colapso, máximo (%). El espécimen se debe fabricar con la densidad mínima exigida en el numeral 235.5.3.1. de esta especificación y con el contenido de agua correspondiente en el lado seco de la curva de compactación.	INV E-157/ ASTM D4546	0,5	No colapsable

Nota 1: cuando el límite líquido sea mayor al treinta por ciento (30 %) el índice de plasticidad debe ser mayor a cuatro (4).

Nota 2: el contenido mínimo de cemento se puede disminuir hasta uno coma cinco por ciento (1,5 %) siempre que se justifique adecuadamente, se compruebe en el tramo de prueba con los medios y equipos que se vayan a emplear en la obra, y se cuente con la autorización del interventor.

235.3 Equipo

Para la ejecución de los trabajos de estabilización se deben emplear equipos mecánicos, que pueden ser independientes, o equipos que realicen dos o más operaciones. En general, el equipo que se utilice para la construcción de capas estabilizadas debe ser el adecuado para obtener la calidad especificada en el proyecto, en la cantidad suficiente para producir el volumen establecido, conforme a los resultados de los tramos de prueba, y es responsabilidad del constructor su selección. Dicho equipo se debe mantener en óptimas condiciones de operación durante el tiempo que dure la obra y debe ser operado por personal capacitado. Si en la ejecución del trabajo y a criterio del interventor y por instrucción de este, el equipo presenta deficiencias o no produce los resultados esperados, se debe suspender inmediatamente el trabajo, hasta que el constructor corrija las deficiencias, lo reemplace o sustituya al operador. Los atrasos en el programa de ejecución son responsabilidad del constructor.

El constructor debe emplear en la obra el tipo de equipo señalado en los documentos del proyecto. Si estos documentos no definen el equipo, se debe usar una máquina de tambor rotatorio y cámara de mezclado como mínima categoría de equipo.

235.4 Ejecución de los trabajos

235.4.1 Diseño de la mezcla y determinación de la fórmula de trabajo

235.4.1.1 Diseño de la mezcla

El diseño de la mezcla se debe ajustar al propósito de estabilización de suelos, de acuerdo con las características requeridas del suelo.

Los documentos del proyecto establecen los criterios de diseño de mezcla, dentro de los cuales pueden estar los citados en la Tabla 235 — 4.

Tabla 235 — 4. Criterios de diseño estabilización de suelos con cemento

Característica	Norma de ensayo INV
Reducción del contenido de agua	E-122
Reducción de la plasticidad	E-125 y E-126
Reducción de la expansión en prueba de CBR	E-148
Aumento de la capacidad de soporte (Nota)	E-148
Aumento de la resistencia a la compresión inconfinada	E-614

Nota: el CBR se debe medir sobre muestras sometidas previamente a cuatro días (4 d) de inmersión en agua.

235.4.1.2 Fórmula de trabajo

Si en el corredor por estabilizar existe variabilidad de zonas geotécnicas, se debe dividir en zonas homogéneas, a cada una de las cuales se debe asignar una fórmula de trabajo. El interventor debe velar por la correcta aplicación de cada una y no está facultado

para autorizar pagos adicionales cuando las labores del constructor se hayan desviado de los diseños establecidos para cada zona. El constructor debe entregar con suficiente antelación al interventor las fórmulas de trabajo para ser avaladas. No se debe permitir proceder con la estabilización sin el cumplimiento de dicho requisito.

Si la característica requerida del suelo corresponde a un aumento de la resistencia, la fórmula de trabajo establecida como resultado del diseño de la mezcla debe indicar, como mínimo, lo siguiente:

- La clasificación del suelo por estabilizar (granulometría y límites de Atterberg).
- El tipo y la marca de cemento empleado en el diseño.
- El contenido de agua del suelo inmediatamente antes de la mezcla y el de la mezcla en el momento de la compactación.
- El contenido óptimo de cemento (*CFT* %).
- El valor de densidad máxima de la mezcla, de acuerdo con lo definido en los documentos del proyecto o en su defecto lo aprobado por el interventor, con el método de ensayo INV E-141 o INV E-142.
- El porcentaje óptimo de agua para mezcla y compactación, de acuerdo con lo definido en los documentos del proyecto o en su defecto lo aprobado por el interventor, con el método de ensayo INV E-141 o INV E-142.
- CBR y expansión, de acuerdo con el método de ensayo INV E-148.
- Cada uno de los valores de todos los criterios de diseño establecidos en los documentos del proyecto.

Para los procesos de estabilización con cemento para material de terraplén, la fórmula de trabajo establecida como resultado del diseño de la mezcla debe indicar, como mínimo, lo siguiente:

- La clasificación del material de terraplén por estabilizar (granulometría y límites de Atterberg).
- El tipo de cemento empleado en el diseño.
- Propiedades físicas del cemento.
- El diseño de la mezcla debe garantizar que se cumpla la normativa del cemento a usar; para el caso colombiano, la norma NTC 121.
- El contenido óptimo de cemento (*CFT* %).
- El valor de densidad máxima de la mezcla, de acuerdo con lo definido en los documentos del proyecto o en su defecto lo aprobado por el interventor, con el método de ensayo INV E-141 o INV E-142.
- El porcentaje óptimo de agua para mezcla y compactación, de acuerdo con lo definido en los documentos del proyecto o en su defecto lo aprobado por el interventor, con el método de ensayo INV E-141 o INV E-142.
- CBR y expansión, de la mezcla de acuerdo con el método de ensayo INV E-148.
- Expansión libre de la muestra de acuerdo con la norma ASTM D4546.
- Índice de colapso de la mezcla, de acuerdo con el método de ensayo INV E-157/ASTM D4546.
- Cada uno de los valores de los diferentes criterios de diseño que se establezcan en los documentos del proyecto.

La fórmula de trabajo establecida en el laboratorio se puede ajustar con los resultados de las pruebas realizadas durante la fase de experimentación. La fórmula ajustada debe satisfacer los requisitos establecidos para el diseño de la mezcla los cuales deben estar en los documentos del proyecto.

Si durante la ejecución de las obras se presentan variaciones en las características de los suelos por estabilizar, se debe requerir el estudio de una nueva fórmula de trabajo.

235.4.2 Fase de experimentación

Previo al comienzo de los trabajos, el constructor debe elaborar secciones de ensayo de longitud, ancho y espesor definidos de acuerdo con el interventor, donde se debe probar el equipo y se debe determinar el método definitivo de trabajo, de manera que se cumplan los requisitos de la presente especificación.

Se deben realizar tantos tramos de experimentación y validación, como tramos homogéneos que fueron identificados en la fase de diseño, además de los que se identifiquen durante el desarrollo del proyecto.

El interventor debe tomar muestras del material estabilizado y debe decidir su conformidad en relación con las condiciones especificadas sobre disgregación, contenido de agua, espesor de la capa, proporción de cemento y demás requisitos exigidos.

Los ensayos de control de resistencia CBR e índice de colapso se deben realizar en laboratorio sobre material mezclado con cemento previo a la compactación en campo, y de acuerdo con las normas INV E-148 e INV E-157 respectivamente. Se debe descartar la evaluación de la resistencia CBR e índice de colapso de muestras tomadas al material ya compactado y curado, y posteriormente remoldeadas en laboratorio.

La compactación en laboratorio del material con cemento, para ensayos de CBR e índice de colapso, se debe realizar máximo dentro de las cuarenta y ocho horas (48 h) posteriores a la finalización del proceso de mezclado.

En caso de que los ensayos indiquen que el material estabilizado no se ajusta a dichas condiciones, el constructor debe hacer inmediatamente todas las modificaciones necesarias y, si fuese preciso, modificar el diseño, repitiendo las secciones de ensayo una vez efectuadas las correcciones, hasta que ellas resulten aprobadas por el interventor sin que con ello se afecten los tiempos y plazos del proyecto. Los tramos que no cumplan deben ser retirados a costo del constructor.

Tanto el constructor como el interventor deben emitir un informe con los resultados de la fase de experimentación y validación, y su cumplimiento como requisito para el inicio de la fase de construcción.

En cada tramo de experimentación y validación, deben quedar definidos los siguientes aspectos:

- Para estabilización en el sitio de obra.
  - Escarificación de los suelos para estabilización en el sitio (espesor y tipo de material).
  - Metodología de aplicación del cemento de acuerdo con la condición planteada en la fase de experimentación.
  - Homogeneidad de la mezcla.

- Para mezcla en planta mediante bachadas de prueba.
  - Gradación del material mezclado.
  - Tiempos de producción.
  - Método y tiempo de transporte de la mezcla hasta la obra.

- Para estabilización en sitio o mezcla en planta.
  - Equipos y metodología para el perfilado.
  - Metodología para el ajuste del contenido de agua.
  - Metodología para la compactación.
  - Juntas de trabajo.
  - Metodología para el curado de la capa compactada.
  - Tiempo de apertura al tránsito.
  - Limitaciones en la ejecución.

Todos los trabajos descritos en los numerales siguientes se deben realizar de acuerdo con lo aprobado en la fase de experimentación y validación, para cada uno de los tramos homogéneos definidos en la etapa de diseño o de construcción.

235.4.3 Preparación de la superficie a intervenir

Antes de dar inicio a los trabajos de estabilización, se debe verificar que todo el personal cuente con la dotación y elementos de seguridad industrial de conformidad con el artículo 102, Aspectos generales de seguridad y salud. Además, se debe asegurar el control adecuado del tránsito, así como colocar los dispositivos de seguridad transitorios que sean necesarios, de acuerdo con lo indicado en el artículo 105, Desarrollo de los trabajos.

La conformación de la capa se debe ejecutar acomodándose a las dimensiones de la sección existente en la carretera, las nuevas secciones transversales indicadas en los documentos del proyecto o siguiendo otras disposiciones aprobadas por el interventor.

Se debe considerar que los materiales para la estabilización se disponen de conformidad con el espesor de diseño, teniendo en cuenta la reducción de espesor que se produce después de mezclar y compactar la capa para tomar las medidas necesarias que garanticen su correcta ejecución. Adicionalmente, antes de extender el suelo de aportación se debe comprobar que la superficie subyacente tenga la densidad exigida y las rasantes indicadas en los documentos del proyecto.

Previamente se debe remover el material orgánico o deteriorado, las raíces, la basura y los agregados mayores de setenta y cinco milímetros (75 mm).

Antes de proceder con los trabajos de disgregación de los suelos, es de tenerse en cuenta que, de acuerdo con los documentos del proyecto o las indicaciones del interventor, se deben garantizar los equipos idóneos para que el material que sea escarificado se pueda conformar en camellones o colchones adecuados para efectuar la mezcla.

235.4.4 Disgregación de los suelos

Antes de aplicar el cemento, el suelo se debe disgregar con el equipo definido en los documentos del proyecto en el ancho y espesor suficientes que permitan obtener la sección compactada indicada en estos documentos. El suelo disgregado no debe contener elementos ni terrones de tamaños superiores a ochenta milímetros (80 mm). Una vez disgregado el suelo de subrasante, este se debe conformar a la sección transversal de la calzada, con el empleo de motoniveladora.

La superficie sobre la que se debe colocar la capa estabilizada no debe presentar irregularidades, por lo que se deben reparar satisfactoriamente los baches existentes.

Debido a eventuales factores externos que alteren el contenido de agua de la capa a estabilizar, se debe garantizar el cumplimiento del intervalo de tolerancia del contenido de agua del suelo inmediatamente antes de la aplicación del cemento y de su mezclado, de acuerdo con lo definido en la fórmula de trabajo, mediante el humedecimiento o el secado homogéneo del suelo disgregado.

La longitud de calzada disgregada no debe exceder la que se pueda tratar y compactar de acuerdo con esta especificación en dos días (2 d) de trabajo, salvo autorización escrita del interventor.

Al final de cada día de trabajo se debe dejar la superficie del suelo con una pendiente positiva y se debe proporcionar una junta de construcción de acuerdo con el numeral 235.4.8 para unirla al suelo estabilizado existente.

235.4.5 Aplicación del cemento

235.4.5.1 Aplicación del cemento en polvo

El cemento se puede aplicar en bolsas o a granel. En cualquier caso, se debe esparcir sobre el suelo disgregado empleando el procedimiento aceptado por el interventor durante la fase de experimentación, de manera que se esparza la cantidad requerida según el diseño más la cantidad prevista por desperdicios, a todo lo ancho de la capa por estabilizar. Durante la aplicación del cemento, el contenido de agua del material no puede ser superior al definido durante el proceso de diseño como adecuado para lograr una mezcla íntima y uniforme del material con el cemento. Sobre el cemento esparcido solo se debe permitir el tránsito del equipo que lo va a mezclar con el suelo.

El cemento solo se debe extender en la superficie que pueda quedar terminada en la jornada de trabajo.

235.4.5.2 Aplicación del cemento en forma de lechada

La lechada de cemento se debe elaborar con un mezclador apropiado en proporciones aproximadas en masa de sesenta y cinco por ciento (65 %) de agua y treinta y cinco por ciento (35 %) de cemento, con una anticipación no mayor a treinta minutos (30 min) de su utilización.

La lechada de cemento se debe añadir al suelo en forma simultánea con la ejecución de la mezcla con el suelo por estabilizar.

Antes de iniciar los trabajos se deben purgar y poner a punto las bombas y los dispersores de agua y de lechada, fuera del lugar de empleo, para garantizar las cantidades establecidas en la fórmula de trabajo de manera continua y uniforme. Se debe realizar la limpieza de los difusores durante cada parada del equipo y como mínimo, dos (2) veces al día. En el caso de la aplicación del cemento en seco, se deben coordinar adecuadamente los avances de los procesos de dosificación y de mezcla del estabilizante, sin que exista entre ambos un desfase superior a veinte metros (20 m).

235.4.6 Elaboración de la mezcla

Se puede emplear el mezclado en acopio, en planta o en vía de acuerdo con lo siguiente:

235.4.6.1 Mezclado en acopio

El material aprobado para su uso conforme a los requisitos de la Tabla 235 — 1 se debe dosificar con la cantidad de cemento definido, de acuerdo con el diseño en peso del material suelto.

El mezclado inicial se debe hacer con un equipo adecuado, para garantizar la obtención de una mezcla homogénea, según se haya definido en la fase previa de experimentación. Posteriormente este material se debe transportar y mezclar nuevamente en la vía para terminar la disgregación del material y lograr una mezcla homogénea.

Durante la aplicación del cemento, el contenido de agua del material solo puede variar, más o menos, el uno por ciento (± 1 %) del definido como adecuado para lograr una mezcla íntima y uniforme del material con el cemento.

235.4.6.2 Mezclado en planta

En dicho caso, se debe usar una planta continua con equipos que aseguren la homogeneidad de la mezcla. El transporte de la mezcla a la obra se debe realizar en volquetas estancas y cubiertas.

La planta debe permitir dosificar por separado el material, suministrar el cemento y el agua en las proporciones y con las tolerancias fijadas en la fórmula de trabajo.

Las tolvas para los materiales deben tener paredes resistentes y estancas, y bocas de anchura suficiente para que su alimentación se efectúe correctamente. Deben estar provistas de una rejilla que permita limitar el tamaño máximo, así como de un rebosadero u otro sistema que evite un exceso de contenido. Se deben evitar contaminaciones entre las tolvas y estas deben estar provistas a su salida de dispositivos ajustables de dosificación.

Durante la aplicación del cemento, el contenido de agua del material solo puede variar, más o menos, el uno por ciento (± 1 %) del definido como adecuado para lograr una mezcla íntima y uniforme del material con el cemento.

235.4.6.3 Mezclado en vía

Inmediatamente después de ser esparcido el cemento en polvo o simultáneamente con la adición del cemento en forma de lechada, se debe efectuar la mezcla, empleando el equipo aprobado, en el espesor establecido en los documentos del proyecto. El número de pasadas depende del equipo utilizado y debe ser el necesario para garantizar la obtención de una mezcla homogénea, según se haya definido en la fase previa de experimentación. En caso de que se requiera, se debe añadir el agua faltante y se continúa mezclando hasta que la masa resultante presente completa homogeneidad.

Durante la aplicación del cemento, el contenido de agua del material solo puede variar, más o menos, el uno por ciento (± 1 %) del definido como adecuado para lograr una mezcla íntima y uniforme del material con el cemento.

235.4.7 Compactación

La compactación de la mezcla se debe realizar de acuerdo con el plan propuesto por

el constructor y aprobado por el interventor durante la fase previa de experimentación. Los trabajos de compactación deben ser terminados en un lapso no mayor de dos horas (2 h) desde el inicio de la mezcla.

Las zonas que por su reducida extensión o su proximidad a estructuras rígidas no permitan el empleo del equipo de mezcla y compactación aprobado durante la fase de experimentación, se deben compactar con los medios que resulten adecuados para el caso, de manera que la mezcla resulte homogénea y la densidad alcanzada no sea inferior a la exigida por la presente especificación. Una vez terminada la compactación, la superficie se debe mantener húmeda hasta que se aplique el riego de curado.

El material extendido se debe compactar hasta alcanzar el grado de compactación indicado en los documentos del proyecto o aprobado por el interventor.

Entre las sucesivas pasadas longitudinales del equipo de estabilización para tratar toda la sección transversal, se debe producir un solape transversal que evite la existencia de zonas insuficientemente estabilizadas o la acumulación de segregaciones. El solape se condiciona por el ancho de las máquinas y las franjas tratadas y debe estar comprendido generalmente entre quince a veinticinco centímetros (15 cm – 25 cm).

En el caso de estabilización de suelos para la formación de terraplenes, durante la ejecución de las obras, la superficie de las capas terminadas debe tener una pendiente transversal mínima de cuatro por ciento (4 %).

235.4.8 Juntas de trabajo

Las juntas entre trabajos realizados en días sucesivos se deben cuidar para proteger la capa construida cuando se vaya a esparcir y compactar la adyacente. Al término de la jornada de trabajo o cuando las operaciones de colocación se paralicen por más de dos horas (2 h) se debe formar una junta transversal perpendicular al eje de la calzada, haciendo un corte vertical en el material compactado.

Si la capa de suelo estabilizado con cemento no se construye en todo el ancho de la calzada sino por franjas, se deben disponer juntas longitudinales en corte vertical y paralelas al eje longitudinal de la calzada, mediante un procedimiento aceptable para el interventor.

Todo material producto de los cortes debe ser retirado de la obra. Las caras verticales, producto de los cortes, se deben humedecer antes de continuar con la colocación del material en áreas adyacentes.

235.4.9 Curado de la capa compactada

Terminada la conformación y la compactación de la capa de suelo estabilizada con cemento, esta se debe proteger contra pérdidas de contenido de agua por un periodo de siete días (7 d), aquel que haya sido definido en la fase experimental o hasta que el suelo estabilizado se cubra con la capa superior, mediante humedecimiento frecuente.

El tiempo de apertura al tránsito debe ser el determinado en la fase de experimentación. Cuando no existan validaciones al respecto, el tiempo de apertura debe ser igual o mayor a siete días (7 d) después de la compactación

y curado. Cuando el tiempo de apertura al tránsito sea menor a siete días (7 d), la velocidad de circulación debe ser menor a treinta kilómetros por hora (30 km/h) para evitar posibles afectaciones por abrasión.

235.4.10 Limitaciones en la ejecución

Las estabilizaciones con cemento solo se pueden llevar a cabo cuando la temperatura ambiente, a la sombra, sea superior a cinco grados Celsius (5 °C) y cuando no haya lluvia o temores fundados de que ella ocurra. En caso de que la mezcla sin compactar sea afectada por agua lluvia y como resultado el contenido de agua de la mezcla supere la tolerancia mencionada en el numeral 235.4.6, el constructor debe retirar la mezcla afectada y reconstruir el sector deteriorado hasta ser aprobado por el interventor, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS).

Los trabajos se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que sea aprobado por este. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

235.4.11 Manejo ambiental

En adición a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las labores requeridas para la ejecución de la estabilización de suelos con cemento se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en los estudios o evaluaciones ambientales del proyecto y las normas y disposiciones vigentes sobre la conservación del ambiente y los recursos naturales. Algunos de los cuidados relevantes en relación con la protección ambiental se describen a continuación, sin perjuicio de los que exijan los documentos de cada proyecto, en particular o la legislación ambiental vigente:

- Se debe evitar el tránsito desordenado de equipos de construcción por fuera del área de los trabajos, con el fin de evitar perjuicios innecesarios a la flora y a la fauna, así como interferencias al drenaje natural.
- Los dispositivos de drenaje superficial y la pendiente transversal de la calzada se deben mantener correctamente durante la ejecución de los trabajos, con el fin de prevenir erosiones y arrastres innecesarios de partículas sólidas.
- El manejo y la aplicación del cemento se deben realizar con las precauciones que exijan las autoridades ambientales.
- El constructor debe especificar los métodos de control de emisiones atmosféricas y de ruido que se deben utilizar en la ejecución de los trabajos. Estos métodos deben ser presentados al interventor y aprobados por este antes de cada jornada.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades deben estar incluidas en los costos del proyecto, por tanto, no deben ser objeto de reconocimiento directo en el contrato.

235.4.12 Conservación de la capa terminada

El constructor debe conservar la capa estabilizada con cemento en perfectas condiciones, hasta que se construya la capa superior prevista en los documentos del proyecto. Todo daño que se presente debe ser corregido hasta ser aprobado por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS.

235.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

Deben ser de estricto cumplimiento las verificaciones para el control de calidad de los materiales y la capa terminada.

235.5.1 Calidad de los materiales

235.5.1.1 Calidad de los suelos

Se deben efectuar las verificaciones periódicas indicadas en la Tabla 235 — 5. Los resultados obtenidos deben cumplir los valores establecidos en la Tabla 235 — 1.

Además, el interventor puede adelantar las pruebas adicionales que le permitan tener certeza de la calidad del material por estabilizar, de acuerdo con las exigencias de la presente especificación.

Tabla 235 — 5. Verificaciones periódicas sobre el material por estabilizar

Característica	Norma de ensayo	Frecuencia
Composición (F)		
Material que pasa el tamiz de 4,75 mm (nro. 4)	INV E-213	1 por jornada
Material que pasa el tamiz de 0,075 mm (nro. 200)	INV E-214	1 por jornada
Característica	**Norma de ensayo**	**Frecuencia**
Limpieza (F)		
Límite líquido	INV E-125	1 por jornada
Límite plástico	INV E-126	1 por jornada
Contenido de materia orgánica	INV E-121/UNE 103204	1 a la semana
Características químicas (O)		
Proporción de sulfatos del suelo a tratar, expresada como $SO_4^=$	INV E-233/UNE 103201	1 al mes

235.5.1.2 Calidad del cemento

Por cada suministro de cemento que llegue a la obra, el proveedor debe entregar un certificado de calidad donde se indiquen las propiedades del producto entregado, de acuerdo con el artículo 501 o la NTC 4050, con la finalidad de verificar la calidad del producto y establecer su aceptación o rechazo.

Las verificaciones se deben realizar conforme al numeral 501.5.2 del artículo 501. Así mismo, cuando el cemento haya superado la fecha de vencimiento establecida por el proveedor, si fuere el caso, lleve más de tres (3) meses almacenado en condiciones atmosféricas normales, o ambos, antes de su empleo, el constructor debe realizar, como mínimo, sobre una muestra representativa del cemento almacenado, sin excluir los terrones que se hubieran podido formar, los ensayos que permitan medir sus propiedades de desempeño. Si los resultados no cumplen con lo establecido en el artículo 501 o en la NTC 4050, se debe proceder a su homogenización y se deben realizar nuevos ensayos. Si no cumple, se debe proceder a su desuso y retiro de la obra.

En ambientes muy húmedos o en condiciones atmosféricas desfavorables o de obra anormales, el constructor puede reducir el plazo de tres (3) meses para la comprobación de las condiciones de almacenamiento del cemento.

Además de lo anteriormente establecido, cuando el constructor lo considere conveniente, se deben llevar a cabo ensayos adicionales para la comprobación de las características que estime necesarias.

La toma de muestras del cemento se debe realizar lo más rápido posible, para reducir al mínimo la absorción de humedad. Una vez recogida la muestra, se debe guardar en un recipiente estanco y con cierre hermético hasta su análisis.

Como alternativa, se puede realizar un tramo de prueba que permita validar la calidad del cemento almacenado.

235.5.1.3 Calidad del agua

Una vez al mes, cada vez que cambie la fuente o siempre que tenga alguna sospecha sobre la calidad del agua empleada, se debe verificar su pH y su contenido de sulfatos. Los resultados obtenidos deben cumplir los valores establecidos en la Tabla 235 — 2.

235.5.2 Calidad de la mezcla

235.5.2.1 Contenido de cemento

Para verificar la homogeneidad de la mezcla, se debe determinar el contenido de cemento mediante la norma INV E-617 o ASTM D5982 de tres (3) muestras de la mezcla elaborada correspondiente a un lote, definido como se indica en el numeral 235.5.3.

El porcentaje de cemento promedio de las tres (3) muestras que representan al lote (*CPL* %), debe tener una tolerancia de cero coma tres por ciento (0,3 %), respecto del óptimo definido en la fórmula de trabajo (*CFT* %).

$$CFT\ \% - 0{,}3\ \% \leq CPL\ \% \leq CFT\ \% + 0{,}3\ \% \quad [235.1]$$

A su vez, el porcentaje de cemento de cada muestra individual (*CI* %), no debe diferir del valor promedio del lote (*CPL* %), en más de cero coma cinco por ciento (0,5 %), admitiéndose un (1) solo valor fuera de ese intervalo.

$$CPL\ \% - 0{,}5\ \% \leq CI\ \% \leq CPL\ \% + 0{,}5\ \% \quad [235.2]$$

Un porcentaje de cemento promedio (*CPL* %) fuera de tolerancia, así como un número mayor de muestras individuales por fuera de

los límites, implica el rechazo del lote salvo que, en el caso de exceso de cemento, el constructor demuestre que no hay problemas de comportamiento de la capa estabilizada con cemento.

Si el lote es rechazado, el constructor debe retirar la capa y reponerla hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. La capa de reposición debe mantener las rasantes del proyecto y debe garantizar unas propiedades de capacidad y estabilidad equivalentes a las contempladas en los documentos del proyecto para la capa estabilizada. El material retirado es de propiedad del constructor.

235.5.2.2 Resistencia a la compresión inconfinada (cuando los documentos del proyecto establecen un requisito para este parámetro)

Con un mínimo de dos (2) muestras por lote de la mezcla elaborada en la obra, se deben moldear probetas (dos por muestra) de acuerdo con la norma de ensayo INV E-141 o INV E-142, según corresponda, y teniendo en cuenta las condiciones evaluadas en la fase experimental, para verificar en el laboratorio su resistencia a la compresión simple, luego de siete días (7 d) de curado, de conformidad con un procedimiento similar al realizado durante el diseño de la mezcla. El ensayo de resistencia a la compresión inconfinada se debe ejecutar según la norma INV E-614.

La resistencia media de las cuatro (4) o más probetas que representan al lote (R_m), debe ser igual o superior al noventa y dos por ciento (92 %) de la resistencia correspondiente al diseño presentado por el constructor (R_d) y aprobado por el interventor.

$$R_m \geq 0{,}92 * R_d \quad [235.3]$$

A su vez, la resistencia de cada probeta (R_i) debe ser igual o mayor al noventa por ciento (90 %) del valor medio (R_m), y se debe admitir solo un valor individual por debajo de ese límite.

$$R_i \geq 0{,}90 * R_m \quad [235.4]$$

Si uno o más de estos requisitos se incumplen, se debe rechazar el lote al cual representan las muestras. Si el lote es rechazado, el constructor debe retirar la capa y reponerla hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. La capa de reposición debe mantener las rasantes del proyecto y debe garantizar unas propiedades de capacidad y estabilidad equivalentes a las contempladas en los documentos del proyecto para la capa estabilizada. El material retirado es de propiedad del constructor.

235.5.3 Calidad de la capa terminada

Para efectos del control, se debe considerar como lote que se acepta o rechaza en conjunto, la menor área construida que resulte de aplicar los siguientes criterios:

- Quinientos metros (500 m) de capa estabilizada con cemento.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m^2) de capa estabilizada con cemento.
- La obra ejecutada en una jornada de trabajo.
- La obra ejecutada con el mismo material, de la misma procedencia y con el mismo equipo y procedimiento de trabajo.

La capa terminada debe presentar una superficie uniforme y ajustada a las rasantes y las pendientes establecidas. La distancia entre

el eje del proyecto y el borde de la capa que se está construyendo, excluyendo sus chaflanes, no puede ser menor que la señalada en los documentos del proyecto. La cota de cualquier punto de la capa compactada no debe variar en más de diez milímetros (10 mm) de la proyectada.

Además, se deben realizar los siguientes controles:

235.5.3.1 Compactación

Los sitios para la determinación de la densidad de la capa se deben elegir al azar, según la norma de ensayo INV E-730, pero de manera que se realice al menos una prueba por hectómetro. Se deben efectuar, como mínimo, cinco (5) ensayos por lote.

Para el control de la compactación de los suelos estabilizados con cemento, se debe calcular su grado de compactación a partir de los resultados de los ensayos de densidad en el terreno y del ensayo de compactación en el laboratorio, mediante la siguiente expresión:

$$GC_i = \frac{\gamma_{d,i}}{\gamma_{d,máx}} * 100 \quad [235.5]$$

Donde:

GC_i, valor individual del grado de compactación, en porcentaje.

$\gamma_{d,i}$, valor individual del peso unitario seco del material en el terreno, determinado por cualquier método aplicable de los descritos en las normas de ensayo INV E-161, E-162 y E-164, sin efectuar corrección por presencia de sobretamaños de manera que corresponda a la muestra total.

$\gamma_{d,máx}$, valor del peso unitario seco máximo del material, obtenido según la norma de ensayo INV E-141 o INV E-142, realizado sobre una muestra representativa del mismo.

Los documentos del proyecto deben definir el ensayo de referencia para obtener el peso unitario entre el ensayo INV E-141 y el INV E-142.

Cuando el ensayo de compactación de referencia sea el INV E-141:

GC_l (90) ≥ 98,0 % *se acepta el lote* [235.6]

GC_l (90) < 98,0 % *se rechaza el lote* [235.7]

Cuando el ensayo de compactación de referencia sea el INV E-142:

GC_l (90) ≥ 95,0 % *se acepta el lote* [235.8]

GC_l (90) < 95,0 % *se rechaza el lote* [235.9]

Donde:

GC_l (90), límite inferior del intervalo de confianza en el que, con una probabilidad del noventa por ciento (90 %), se encuentra el valor promedio del grado de compactación del lote, en porcentaje; se debe calcular según el numeral 107.3.1.3 del artículo 107, Control y aceptación de los trabajos, a partir de los valores individuales del grado de compactación (GC_i).

Las verificaciones de compactación se deben efectuar en todo el espesor de la capa que se está controlando.

Si el lote es rechazado, el constructor debe retirar la capa y reponerla hasta ser aprobada

por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. La capa de reposición debe mantener las rasantes del proyecto y debe garantizar unas propiedades de capacidad y estabilidad equivalentes a las contempladas en los documentos del proyecto para la capa estabilizada. El material retirado es de propiedad del constructor.

235.5.3.2 Espesor

Sobre la base de los sitios escogidos para el control de la compactación, el interventor debe determinar el espesor medio de la capa compactada (e_m), el cual no debe ser inferior al de diseño (e_d).

$$e_m \geq e_d \quad [235.10]$$

Además, el espesor obtenido en cada determinación individual (e_i), debe ser cuando menos igual al noventa por ciento (90 %) del espesor de diseño (e_d), admitiéndose solo un valor por debajo de dicho límite, siempre y cuando este valor sea igual o mayor al ochenta y cinco por ciento (85 %) del espesor de diseño.

$$e_i \geq 0{,}90 * e_d \quad [235.11]$$

Si se incumple alguno de estos requisitos, se debe rechazar el lote. En este caso, el constructor debe retirar la capa y reponerla hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. La capa de reposición debe mantener las rasantes del proyecto y debe garantizar unas propiedades de capacidad y la estabilidad equivalentes a las contempladas en los documentos del proyecto para la capa estabilizada. El material retirado es de propiedad del constructor.

Opcionalmente, el interventor puede autorizar que la capa de espesor deficiente sea complementada mediante la colocación de un espesor adicional de material estabilizado de similares características que complete el espesor de diseño, siempre y cuando no se alteren los niveles de rasante del proyecto. En caso de ser autorizada, esta labor debe ser adelantada por el constructor sin costo adicional para INVÍAS.

235.5.3.3 Planicidad

La superficie acabada no debe presentar, en ningún punto, zonas de acumulación de agua ni irregularidades mayores de quince milímetros (15 mm), cuando se compruebe con una regla de tres metros (3 m), norma de ensayo INV E-793, colocada tanto paralela como perpendicularmente al eje de la vía, en los sitios que escoja el interventor, los cuales no pueden estar afectados por cambios de pendiente.

Para suelos empleados para la conformación de terraplenes se aplican los requisitos de planicidad y acabado definidos en el artículo 220.
Todas las áreas de capa estabilizada con cemento donde los defectos de calidad y terminación excedan las tolerancias de esta especificación, deben ser corregidas por el constructor, de acuerdo con las instrucciones del interventor y hasta ser aprobadas por este, sin costo adicional para INVÍAS.

235.5.3.4 Suelos estabilizados para terraplén

Cuando el suelo de subrasante estabilizado con cemento sea usado para la conformación de terraplenes, se deben realizar los siguientes controles:

Se deben tomar muestras de material estabilizado una vez finalicen los procesos de mezclado, conformación y nivelación del material, y previo al inicio de la compactación de este.

Tabla 235 — 6. Verificaciones periódicas sobre el material de terraplén por estabilizar

Material	Norma de ensayo	Cimiento, núcleo y corona
Límite líquido	INV E-125	Una (1) vez por jornada
Índice plástico	INV E-126	Una (1) vez por jornada
Límite de contracción	INV E-127	Una (1) vez por semana
Densidad seca máxima	INV E-142	Una (1) vez por semana
Valor de azul de metileno	INV E-235	Una (1) vez por semana, cuando así se requiera
CBR de laboratorio	INV E-148	Una (1) vez por mes
Expansión libre en edómetro	ASTM D4546	Una (1) vez por mes
Índice de colapso	INV E-157	Una (1) vez por mes

Los ensayos de control de resistencia CBR e índice de colapso se deben realizar en laboratorio sobre material cuyo proceso de mezclado con el cemento haya finalizado y previo a la compactación en campo, y de acuerdo con la norma de ensayo INV E-148.

Si se requiere evaluar la resistencia del material ya colocado y compactado en campo, los ensayos anteriormente mencionados se deben realizar sobre muestras inalteradas talladas *in situ* tomando el cuidado requerido para evitar la pérdida de integridad de la muestra.

Se debe descartar la evaluación de la resistencia CBR e índice de colapso de muestras tomadas al material ya compactado y curado en el terraplén y posteriormente remoldeadas en laboratorio.

235.6 Medida

La unidad de medida debe ser el metro cúbico (m^3), aproximado a la décima (0,1), de mezcla colocada y compactada, aprobada por el interventor, de acuerdo con esta especificación. El volumen se debe determinar utilizando la longitud real medida a lo largo del eje de la vía y las secciones transversales establecidas en los documentos del proyecto, previa verificación de la conformidad de su anchura y espesor con dichos documentos y dentro de las tolerancias permitidas en este artículo.

No se deben medir cantidades en exceso de las especificadas, especialmente cuando ellas se produzcan por sobreexcavaciones por parte del constructor.

Si los documentos del proyecto indican que el cemento se debe pagar por aparte, la unidad de medida debe ser el kilogramo (kg), aproximado al kilogramo entero, incorporado en la mezcla, debidamente aceptada por el interventor.

En este caso, para determinar la cantidad de cemento efectivamente incorporada a la mezcla se debe tomar el porcentaje de cemento promedio del lote (*CPL*), determinado en los ensayos de contenido de cemento realizados a la mezcla, como se indica en el numeral 235.5.2.1, se debe efectuar el cálculo correspondiente y se debe aproximar al kilogramo entero.

El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

235.7 Forma de pago

El pago de la capa estabilizada con cemento se debe hacer por metro cúbico (m^3) al respectivo precio unitario del contrato, por toda obra ejecutada de acuerdo con este artículo y aprobada por el interventor.

El precio unitario debe incluir la escarificación de la subrasante en el espesor requerido y su posterior disgregación, hasta cumplir las exigencias de este artículo; los costos de suministro del cemento en el sitio, en acopio o en planta; los costos de suministro en el sitio, en acopio o en planta del agua y de aditivos que se puedan requerir para la estabilización; los costos de mezcla, colocación, nivelación y compactación, y los costos de transporte para las mezclas elaboradas en acopio o en planta.

El precio unitario debe incluir, también, el suministro en el sitio y la aplicación del agua para el curado de la capa compactada y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución de los trabajos especificados.

El precio unitario debe cubrir todos los costos de obtención de todos los permisos ambientales requeridos; las instalaciones provisionales; los costos de los desvíos que se requieran construir durante la ejecución de las obras. Además, debe incluir los costos de la fase de experimentación, de todos los ensayos de campo y de laboratorio que estén a cargo del constructor, así como los de la señalización preventiva de la vía y el control del tránsito automotor durante la ejecución de los trabajos, los de la conservación de la capa terminada y, en general, todo costo relacionado con la correcta construcción de la capa respectiva.

Si los documentos del proyecto indican que el cemento se debe pagar por aparte, el precio unitario de la capa estabilizada con cemento debe excluir el suministro en el sitio de este.

El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

235.8 Ítem de pago

La presente especificación cuenta con las siguientes partidas de pago, las cuales se deben indicar en los documentos del proyecto.

Opción 1: el precio unitario del suelo estabilizado con cemento incluye el suministro del cemento.

Ítem	Descripción	Unidad
235.1	Suelo de subrasante estabilizado con cemento (incluye suministro del cemento)	Metro cúbico (m^3)
235.2	Terraplén estabilizado con cemento (incluye suministro del cemento)	Metro cúbico (m^3)

Opción 2: el precio unitario de suelo estabilizado con cemento no incluye el suministro del cemento.

Ítem	Descripción	Unidad
235.10	Suelo de subrasante estabilizado con cemento (no incluye suministro del cemento)	Metro cúbico (m^3)
235.11	Cemento para estabilización de suelos	Kilogramo (kg)
235.12	Terraplén estabilizado con cemento (no incluye suministro del cemento)	Metro cúbico (m^3)

Estabilización de suelos de subrasante y terraplén con cal

Artículo 236 – 22

236.1 Descripción

Este trabajo consiste en el tratamiento, en sitio o en planta, de los suelos para subrasante y terraplenes, mediante su mezcla homogénea con cal viva (óxido de calcio) o cal hidratada (hidróxido de calcio), de acuerdo con las dimensiones, los alineamientos y las secciones indicadas en los documentos del proyecto.

Para la estabilización de suelos, se deben definir tramos homogéneos que permitan garantizar los diseños de mezcla, los procesos constructivos y el control de calidad de la obra.

236.2 Materiales

236.2.1 Suelos

Los suelos que se van a estabilizar con cal pueden resultar de la combinación de gravas, arenas, limos y arcillas, existentes o provenientes de zonas de préstamo, siempre y cuando estos no presenten altos contenidos de materia orgánica o sales de sulfato en cantidades perjudiciales que afecten su desempeño.

La caracterización del suelo de subrasante tiene como objetivo obtener una mezcla óptima (funcional y económica) y un buen desempeño estructural, en términos de la cantidad de cal.

Los suelos para su estabilización con cal deben cumplir los requisitos generales que se indican en la Tabla 236 — 1. Los documentos del proyecto pueden establecer requisitos adicionales para los suelos que van a ser estabilizados.

Tabla 236 — 1. Requisitos de suelos de subrasante y terraplén para la estabilización con cal

Característica	Norma de ensayo	Requisito
Composición (F)		
Material que pasa el tamiz de 4,75 mm (nro. 4) (%)	INV E-213	Reportar
Material que pasa el tamiz de 2,00 mm (nro. 10) (%)		Reportar
Material que pasa el tamiz de 0,425 mm (nro. 40) (%)		Reportar
Material que pasa el tamiz de 0,075 mm (nro. 200), mínimo (%). (Nota 1)		25

Característica	Norma de ensayo	Requisito
Limpieza (F)		
Límite líquido (%)	INV E-125	Reportar
Índice de plasticidad, mínimo (%)	INV E-125 e INVE-126	12
Contenido de materia orgánica, máximo (%). (Nota 2)	INV E-121/UNE 103204	2
Características químicas (O)		
Proporción de sulfatos, expresada como $SO_4^=$, máximo (%). (Nota 3)	INV E-233/UNE 103201	0,9

Nota 1: suelos clasificados por el Sistema Unificado (SUCS) como CH, CL, MH, SC, SM, GC, SW-SC, SP-SC, SM-SC, GP-GC o GM-GC son potencialmente tratables con cal. Se pueden estabilizar suelos con material que pasa el tamiz de 0,075 mm (nro. 200) entre el quince y el veinticinco por ciento (15 % – 25 %), cuando la viabilidad de su estabilización sea demostrada, mediante un estudio específico aprobado por el interventor y validado en la fase experimental.

Nota 2: se pueden estabilizar suelos con contenido de materia orgánica entre el dos y el tres por ciento (2 % – 3 %) cuando la viabilidad de su estabilización sea demostrada mediante un estudio específico aprobado por el interventor y validado en la fase experimental. El ensayo de contenido de materia orgánica se puede realizar mediante la norma INV E-121 o la UNE 103204.

Nota 3: las concentraciones de sulfato en el suelo menores que tres mil partes por millón (3 000 ppm) (0,3 %) difícilmente causan problemas. Las concentraciones de tres mil a cinco mil partes por millón (3 000 ppm – 5 000 ppm) (0,3 % – 0,5 %) pueden ser estabilizadas fácilmente si se tiene cuidado para seguir buenas prácticas constructivas, tales como el usar suficiente cantidad de agua y permitir un buen tiempo para que la mezcla de cal y suelo fragüen. Cuando exista una alta proporción de sulfatos, se debe tener en cuenta el debido proceso constructivo (estabilización previa del cincuenta por ciento (50 %) de la cal obtenida en el diseño y después de ocho horas (8 h) dosificar el otro cincuenta por ciento (50 %) de cal).

236.2.2 Cal

Se debe usar cal que cumpla con los requisitos de la Tabla 236 — 2.

Tabla 236 — 2. Características de la cal para estabilización de subrasante

Propiedades	Parámetro	Norma de ensayo	Requisito cal hidratada	Requisito cal viva 90 (Nota 2)	Requisito cal viva 85 (Nota 2)
Químicas	Óxido total (CaO + MgO), sobre base no volátil, mínimo (%)	NTC 5059:2002/ ASTM C25	-	90	85
	Hidróxido de Calcio ($Ca(OH)_2$), mínimo (%)	NTC 5059:2002/ ASTM C25	80	-	-
	Dióxido de carbono sobre base no volátil, tomado en la planta de fabricación, máximo (%)	NTC 5059:2002/ ASTM C25/ UNE-EN 459-2	4	4	7

Propiedades	Parámetro	Norma de ensayo	Requisito cal hidratada	Requisito cal viva 90 (Nota 2)	Requisito cal viva 85 (Nota 2)
Físicas	Contenido de agua libre en punto de fabricación, máximo (%)	NTC 5233:2003/ ASTM C110	2	-	-
	Reactividad (velocidad de apagado), mínimo (minutos)	NTC 5233:2003/ ASTM C110	-	40 °C en 6 minutos	40 °C en 6 minutos
	Tamaño de la partícula (Nota 1)	NTC 5233:2003/ ASTM C110	Partículas retenidas en el tamiz de 0,212 mm (nro. 70), 2 % máximo. Partículas retenidas en el tamiz de 0,09 mm (nro. 170), 7 % máximo	Partículas retenidas en el tamiz de 0,212 mm (nro. 70), 5 % máximo. Partículas retenidas en el tamiz de 0,09 mm (nro. 170), 15 % máximo	Partículas retenidas en el tamiz de 0,212 mm (nro. 70), 5 % máximo. Partículas retenidas en el tamiz de 0,09 mm (nro. 170), 15 % máximo

Nota 1: en el caso de la cal viva, considerando que pueda ser ventajosas granulometrías más gruesas para el control de volátiles en obra, se puede hacer uso de tamaños de partícula mayores siempre y cuando la viabilidad de su uso sea demostrada mediante un estudio específico aprobado por el interventor y validado en la fase experimental. En todo caso, el porcentaje de material retenido en el tamiz de 6,35 mm (1/4 de pulgada) debe ser siempre inferior a quince por ciento (15 %).

Nota 2: en el caso de la cal viva, el requisito de cal viva 85 y el requisito de cal viva 90 corresponden al ochenta y cinco por ciento (85 %) y noventa por ciento (90 %) de pureza de la cal, respectivamente.

No se debe permitir el empleo de cal que haya fraguado parcialmente o presente grumos o indicios de prehidratación.

236.2.3 Agua

El agua que se utilice para los procesos de estabilización con cal y curado de la mezcla debe ser limpia, libre de cantidades apreciables de materia orgánica y otras sustancias perjudiciales. Así mismo, el agua no debe afectar negativamente el fraguado, endurecimiento y comportamiento de la mezcla. En todo caso, debe cumplir los requisitos que se indican en la Tabla 236 — 3.

Tabla 236 — 3. Requisitos del agua no potable para la estabilización con cal

Característica	Norma de ensayo ASTM	Requisito
pH, mínimo	D1293	5,5
Contenido de sulfatos, expresado como $SO_4^=$, máximo (kg/m^3)	D516	1,0

236.2.4 Del suelo estabilizado para rellenos de terraplén

En los documentos del proyecto o durante la ejecución de la obra se puede determinar la necesidad de estabilización de materiales usados para la formación de rellenos tipo terraplén, cuando como resultado de la caracterización de los materiales efectuada se incumpla con alguno de los criterios establecidos en el artículo 220, Terraplenes, pero se cumplan los establecidos en la Tabla 236 — 1. En este caso, la estabilización debe tener alguno de los siguientes objetivos:

- Disminución del potencial expansivo y de contracción del suelo al nivel medio para cuerpo de terraplén y nivel bajo para corona respectivamente, de acuerdo con los requerimientos de la norma INV E-132.
- Aumento de la resistencia medida a través del CBR y reducción del potencial de expansión, a través de la norma INV E-148.
- Reducción del potencial de colapso del suelo medido a través de la norma INV E-157.

En tal caso, deben ser aplicables, la definición de las partes de un terraplén, los requisitos de acabado y las demás descritas en el artículo 220.

Cuando así se determine, los materiales estabilizados con cal que se empleen en la construcción de los terraplenes deben cumplir los requisitos indicados en la Tabla 236 — 4.

Tabla 236 — 4. Requisitos del material para terraplén estabilizado con cal

Característica	Norma de ensayo	Cimiento y núcleo	Corona
Valor de azul de metileno, máximo (g/kg).	INV E-235	40	40
Límite líquido, máximo (%). (Nota 1).	INVE-125	-	40
Índice de plasticidad, máximo (%).	INV E-126	15	15
Límite de contracción, Método de Parafina, mínimo (%).	INV E-129	13	13
Contenido mínimo de cal (%). (Nota 2)	INV E-606	2	2
CBR de laboratorio cuatro días (4 d) sumergido, mínimo (%). Los valores de CBR indicados corresponden a la densidad mínima exigida en el numeral 236.5.3.1 de esta especificación.	INV E-148	6	6
Expansión libre en edómetro.	ASTM D4546	2	1
Índice de colapso, máximo (%). El espécimen se debe fabricar con la densidad mínima exigida en el numeral 236.5.3.1. de esta especificación y con el contenido de agua correspondiente en el lado seco de la curva de compactación.	INV E-157	1	No colapsable

Nota 1: cuando el límite líquido sea mayor al treinta por ciento (30 %) el índice de plasticidad debe ser mayor al cuatro por ciento (4 %).

Nota 2: el contenido mínimo de cal se puede disminuir hasta uno coma cinco por ciento (1,5 %) siempre que se justifique adecuadamente, se compruebe en el tramo de prueba con los medios y equipos que se vayan a emplear en la obra, y se cuente con la autorización del interventor.

236.3 Equipo

La ejecución de los trabajos de estabilización debe emplear equipos mecánicos, que pueden ser independientes, o equipos que realicen dos o más operaciones. En general, el equipo que se utilice para la construcción de capas estabilizadas debe ser el adecuado para obtener la calidad especificada en el proyecto, en cantidad suficiente para producir el volumen establecido, conforme a los resultados de los tramos de prueba, y es responsabilidad del constructor su selección. Dicho equipo se debe mantener en óptimas condiciones de operación, durante el tiempo que dure la obra y debe ser operado por personal capacitado. Si en la ejecución del trabajo y a criterio del interventor y por instrucción de este, el equipo presenta deficiencias o no produce los resultados esperados, se debe suspender inmediatamente el trabajo hasta que el constructor corrija las deficiencias, lo reemplace o sustituya al operador. Los atrasos en el programa de ejecución son responsabilidad del constructor.

En la obra, el constructor debe emplear el tipo de equipo señalado en los documentos del proyecto. Si estos no definen el equipo, se debe dar por definido el uso de una máquina de tambor rotatorio con cámara de mezclado como mínima categoría de equipo.

236.4 Ejecución de los trabajos

236.4.1 Diseño de la mezcla y determinación de la fórmula de trabajo

236.4.1.1 Diseño de la mezcla

El diseño de la mezcla se debe ajustar al propósito de mejoramiento o de estabilización de suelos, de acuerdo con las características requeridas.

Los documentos del proyecto deben establecer los criterios de diseño de mezcla, dentro de los cuales pueden estar los citados en la Tabla 236 — 5.

Tabla 236 — 5. Criterios de diseño estabilización de suelo con cal

Característica	Norma de ensayo INV
Reducción del contenido de agua	E-122
Reducción de la plasticidad	E-604, E-125 y E-126
Reducción de la expansión	E-148, E-607
Aumento de la capacidad de soporte (Nota)	E-148
Resistencia a la compresión inconfinada	E-605

Nota: el CBR se mide sobre muestras sometidas previamente a siete días (7 d) de inmersión en agua.

236.4.1.2 Fórmula de trabajo

Si en el corredor que se va a estabilizar existe variabilidad de zonas geotécnicas, se debe dividir en zonas homogéneas, a cada una de las cuales se debe asignar una fórmula de trabajo. El interventor debe velar por la correcta aplicación de cada una y no está facultado

para autorizar pagos adicionales, cuando las labores del constructor se hayan desviado de los diseños establecidos para cada zona. El constructor debe entregar con suficiente antelación al interventor las fórmulas de trabajo para ser avaladas. No se debe permitir proceder con la estabilización sin el cumplimiento de dicho requisito.

Si la característica requerida del suelo de subrasante corresponde a un aumento de la resistencia, la fórmula de trabajo establecida como resultado del diseño de la mezcla debe indicar, como mínimo, lo siguiente:

- La clasificación del material de subrasante por estabilizar (granulometría y límites de Atterberg).
- El tipo y la marca de cal empleada en el diseño.
- Propiedades físicas y químicas de la cal (incluyendo el pH).
- El contenido óptimo de cal (*CFT* %).
- El valor de densidad máxima de la mezcla, de acuerdo con el método de ensayo INV E-141 o INV E-142.
- El porcentaje óptimo de agua para mezcla y compactación, de acuerdo con el método de ensayo INV E-141 o INV E-142.
- CBR y expansión, de acuerdo con los métodos de ensayo INV E-148 e INV E-607.
- Cada uno de los valores de los diferentes criterios de diseño que se establezcan en los documentos del proyecto.

Para otros procesos de estabilización con cal como secado o modificación, la fórmula de trabajo establecida como resultado del diseño de la mezcla debe indicar, como mínimo, lo siguiente:

- El tipo de cal empleada en el diseño.
- Propiedades físicas y químicas de la cal (incluyendo el pH).
- El contenido óptimo de cal (*CFT* %).
- El valor de densidad máxima de la mezcla, de acuerdo con el método de ensayo INV E-141 o INV E-142.
- El porcentaje óptimo de agua para mezcla y compactación, de acuerdo con el método de ensayo INV E-141 o INV E-142.
- Cada uno de los valores de los diferentes criterios de diseño que se establezcan en los documentos del proyecto.

Para los procesos de estabilización con cal para material de terraplén, la fórmula de trabajo establecida como resultado del diseño de la mezcla debe indicar, como mínimo, lo siguiente:

- La clasificación del material de terraplén por estabilizar (granulometría y límites de Atterberg).
- El tipo de cal empleada en el diseño.
- Propiedades físicas y químicas de la cal (incluyendo el pH).
- El contenido óptimo de cal (*CFT* %).
- El valor de densidad máxima de la mezcla, de acuerdo con el método de ensayo INV E-141 o INV E-142.
- El porcentaje óptimo de agua para mezcla y compactación, de acuerdo con el método de ensayo INV E-141 o INV E-142.
- CBR y expansión, de la mezcla de acuerdo con los métodos de ensayo INV E-148 e INV E-607.
- La expansión libre de la muestra de acuerdo con la norma ASTM D4546.
- El índice de colapso de la mezcla, de acuerdo con el método de ensayo INV E-157.

- Cada uno de los valores de los diferentes criterios de diseño que se establezcan en los documentos del proyecto.

La fórmula de trabajo que se establezca en el laboratorio puede ser ajustada con los resultados de las pruebas realizadas durante la fase experimental. La fórmula ajustada debe satisfacer los requisitos establecidos en los documentos del proyecto para el diseño de la mezcla.

Si durante la ejecución de las obras se presentan variaciones en las características de los suelos por estabilizar, se deben realizar los estudios conducentes a una nueva fórmula de trabajo. En tal caso se deben definir nuevos tramos homogéneos y fórmulas de trabajo asociadas.

236.4.2 Fase de experimentación

Al comienzo de los trabajos, el constructor debe elaborar secciones representativas de ensayo de longitud, ancho y espesor definidos de acuerdo con el interventor, donde se debe probar el equipo y se debe determinar el método definitivo de trabajo, de manera que se cumplan los requisitos de la presente especificación.

Se deben realizar tantos tramos de experimentación y validación, como tramos homogéneos que fueron identificados en la fase de diseño, además de los que se identifiquen durante el desarrollo del proyecto.

El interventor debe tomar muestras del material estabilizado y debe decidir su conformidad en relación con las condiciones especificadas sobre disgregación, contenido de agua, espesor de la capa, proporción de cal y demás requisitos exigidos.

Los ensayos de control de resistencia CBR e índice de colapso se deben realizar en laboratorio sobre material mezclado con la cal previo a la compactación en campo, y de acuerdo con las normas INV E-148 y INV E-157 respectivamente. Se debe descartar la evaluación de la resistencia CBR e índice de colapso de muestras tomadas al material ya compactado y curado, y posteriormente remoldeadas en laboratorio.

La compactación en laboratorio del material con cal, para ensayos de CBR e índice de colapso, se debe realizar máximo dentro de las cuarenta y ocho horas (48 h) posteriores a la finalización del proceso de mezclado.

Cuando los ensayos indiquen que el material estabilizado no se ajusta a dichas condiciones, el constructor debe hacer inmediatamente todas las modificaciones necesarias y, si fuese preciso, modificar el diseño, repitiendo las secciones de ensayo una vez efectuadas las correcciones, hasta ser aprobadas por el interventor, sin que con ello se afecten los tiempos y los plazos del proyecto. Los tramos que no cumplan deben ser retirados a costo del constructor.

Tanto el constructor como el interventor deben emitir un informe con los resultados de la fase de experimentación y validación que evidencie su cumplimiento como requisito para el inicio de la fase de construcción.

En cada tramo de experimentación y validación, deben quedar definidos los siguientes aspectos:

- Para estabilización en el sitio de obra:

  - Escarificación de los suelos para estabilización en el sitio (espesor y tipo de material).
  - Metodología para la aplicación de la cal.
  - Homogeneidad de la mezcla.

- Para mezcla en planta, mediante bachadas de prueba:

  - Gradación del material mezclado.
  - Tiempos de producción.
  - Método y tiempo de transporte de la mezcla hasta la obra.

- Para estabilización en sitio o mezcla en planta:

  - Equipos y metodología para el perfilado.
  - Metodología para el ajuste del contenido de agua.
  - Tiempo necesario para la reacción química.
  - Metodología para la compactación.
  - Juntas de trabajo.
  - Metodología para el curado de la capa compactada.
  - Tiempo de apertura al tránsito.
  - Limitaciones en la ejecución.

Todos los trabajos descritos en los numerales siguientes se deben realizar de acuerdo con lo aprobado en la fase de experimentación y validación, para cada uno de los tramos homogéneos definidos en la etapa de diseño o de construcción.

236.4.3 Preparación de la superficie a intervenir

Antes de dar inicio con los trabajos de estabilización, se deben colocar los dispositivos de seguridad transitorios que sean necesarios, se debe verificar que todo el personal cuente con la dotación completa, en buen estado y los elementos de protección obligatorios y se debe asegurar el control adecuado del tránsito.

La conformación de la capa se debe ejecutar acomodándose a las dimensiones de la sección existente en la carretera, las nuevas secciones transversales indicadas en los documentos del proyecto o siguiendo otras disposiciones aprobadas por el interventor.

Los materiales para la estabilización se deben colocar de conformidad con el espesor especificado, teniendo en cuenta la reducción de espesor que se produce después de mezclar y compactar la capa. Antes de extender el material se debe comprobar que la superficie subyacente tenga la densidad exigida y las rasantes indicadas en los documentos del proyecto.

Previamente se debe remover el material orgánico o deteriorado, raíces, basura y agregados mayores de setenta y cinco (75 mm). El material que sea escarificado se debe conformar en camellones o colchones adecuados para efectuar la mezcla. La escarificación se debe realizar con un equipo idóneo que garantice la ejecución del proceso con los rendimientos establecidos en la etapa de experimentación.

La superficie sobre la que se debe colocar capa estabilizada no debe presentar irregularidades, por lo que se deben reparar satisfactoriamente los baches existentes.

236.4.4 Disgregación de los suelos

Antes de aplicar la cal, el suelo se debe disgregar con el equipo definido en los documentos

del proyecto en el ancho y espesor suficientes que permitan obtener la sección compactada indicada en estos documentos. El suelo disgregado no debe contener elementos ni terrones de tamaños superiores a ochenta milímetros (80 mm). Una vez disgregado el suelo de subrasante, este se debe conformar a la sección transversal de la calzada.

La longitud de calzada disgregada no debe exceder de la que se pueda tratar y compactar de acuerdo con esta especificación en dos días (2 d) de trabajo, salvo cuando exista autorización escrita del interventor.

Cuando se cuente con equipos especializados para tal fin (estabilizadoras o recicladoras) la cal puede ser aplicada sin una escarificación previa. Esto debe facilitar el tránsito de los camiones esparcidores de cal en especial en suelos húmedos. El uso de equipos sin escarificación debe ser avalado en la fase de experimentación.

236.4.5 Aplicación de la cal

236.4.5.1 Aplicación de la cal en polvo

La cal se puede aplicar en bolsas o a granel. En cualquier caso, se debe esparcir sobre el suelo disgregado empleando el procedimiento aceptado por el interventor durante la fase de experimentación, de manera que se esparza la cantidad requerida según el diseño más la cantidad prevista por desperdicios, a todo lo ancho de la capa por estabilizar.

Durante la aplicación de la cal, el contenido de agua del material no debe ser superior al definido como adecuado en la fórmula de trabajo para lograr una mezcla íntima y uniforme del material con la cal. Se debe hacer una mezcla de cal, suelo y agua adecuadas para obtener una mezcla friable y homogénea. Sobre la cal esparcida solo se debe permitir el tránsito del equipo que la va a mezclar con el suelo.

La cal solo se debe extender en la superficie que pueda terminarse en la jornada de trabajo. Se deben coordinar adecuadamente los avances de los procesos de dosificación y de mezcla del estabilizante, sin que exista entre ambos un desfase superior a veinte metros (20 m).

Para la aplicación de cal viva en polvo se deben adoptar las medidas de prevención necesarias para la protección colectiva e individual, que reduzcan al máximo los riesgos, tanto para contacto con la piel y los ojos, como por inhalación de aerosoles que se hayan dispersado en el aire durante las operaciones de dosificación y mezcla.

236.4.5.2 Aplicación de la cal en forma de lechada

La lechada de cal se debe fabricar con un mezclador apropiado en proporciones aproximadas en masa de sesenta y cinco por ciento (65 %) de agua y treinta y cinco por ciento (35 %) de cal hidratada, con una anticipación no mayor a treinta minutos (30 min) de su utilización.

La lechada de cal se debe añadir al suelo, en forma simultánea con la ejecución de la mezcla con el suelo de subrasante por estabilizar.

Antes de iniciar los trabajos se deben purgar y poner a punto las bombas y los dispersores de agua y de lechada, fuera del lugar de empleo, para garantizar las cantidades establecidas en la fórmula de trabajo de manera continua

y uniforme. Se debe realizar la limpieza de los difusores durante cada parada del equipo y como mínimo, dos (2) veces al día.

236.4.6 Elaboración de la mezcla

Se puede emplear el mezclado en acopio, en planta o en vía de acuerdo con lo siguiente.

236.4.6.1 Mezclado en acopio

El material aprobado para su uso conforme a los requisitos de la Tabla 236 — 1 se dosifica con la cantidad de cal definida de acuerdo con el diseño en peso del material suelto.

El mezclado inicial se hace con un equipo adecuado para garantizar la obtención de una mezcla homogénea, según se haya definido en la fase previa de experimentación. Posteriormente este material es transportado y mezclado nuevamente en la vía para terminar la disgregación del material y lograr una mezcla homogénea.

Durante la aplicación de la cal, el contenido de agua del material solo puede variar, más o menos, el uno por ciento (± 1 %) del definido como adecuado para lograr una mezcla íntima y uniforme del material con la cal.

236.4.6.2 Mezclado en planta

Se debe usar en dicho caso una planta continua con equipos que aseguren la homogeneidad de la mezcla. El transporte de la mezcla a la obra se debe realizar en volquetas estancas y cubiertas.

La planta debe permitir dosificar por separado el material, suministrar la cal y el agua en las proporciones y con las tolerancias fijadas en la fórmula de trabajo.

Las tolvas para los materiales deben tener paredes resistentes y estancas, y bocas de anchura suficiente para que su alimentación se efectúe correctamente, deben estar provistas de una rejilla que permita limitar el tamaño máximo, así como de un rebosadero u otro sistema que evite un exceso de contenido. Se debe evitar contaminaciones entre las tolvas y estas deben estar provistas a su salida de dispositivos ajustables de dosificación.

Durante la aplicación de la cal, el contenido de agua del material solo puede variar, más o menos, el uno por ciento (± 1 %) del definido como adecuado para lograr una mezcla íntima y uniforme del material con la cal.

236.4.6.3 Mezclado en vía

Inmediatamente después de ser esparcida la cal en polvo o simultáneamente con la adición de la cal en forma de lechada, se debe efectuar la mezcla, empleando el equipo aprobado, en el espesor establecido en los documentos del proyecto. El número de pasadas depende del equipo utilizado y es necesario para garantizar la obtención de una mezcla homogénea, según se haya definido en la fase previa de experimentación. En caso de que se requiera, se debe añadir el agua faltante y se continúa mezclando hasta que la masa resultante presente completa homogeneidad.

Durante la aplicación de la cal, el contenido de agua del material solo puede variar, más o menos, el uno por ciento (± 1 %) del definido como adecuado para lograr una mezcla íntima y uniforme del material con la cal.

236.4.6.4 Maduración y remezclado

Una vez se ha mezclado el material con la cal y para permitir que el agua y la cal reaccionen con las arcillas de los materiales, es necesario permitir un tiempo de maduración inicial de doce a cuarenta y ocho horas (12 h – 48 h) desde que finaliza el mezclado inicial y antes de la compactación. Se pueden emplear tiempos de maduración inicial menores a doce horas (12 h) cuando sean validados por un estudio específico aprobado por el interventor y validado en la fase experimental. En todo caso, los tiempos de maduración deben ser de al menos tres horas (3 h).

La mezcla de suelo-cal puede ser almacenada siguiendo lo establecido en el artículo 300, previa autorización del interventor, hasta por siete días (7 d) antes de la colocación y compactación. Cuando el suelo sea almacenado, se debe efectuar nuevamente el mezclado y la disgregación del suelo-cal con maquina estabilizadora o con motoniveladora de tal forma que no se evidencie presencia de grumos antes de su colocación. Durante esta etapa se puede requerir la adición de agua para alcanzar el contenido de agua óptimo de compactación.

236.4.7 Compactación

La compactación de la mezcla se debe realizar de acuerdo con el plan propuesto por el constructor y aprobado en el interventor durante la fase previa de experimentación.

Las zonas que por su reducida extensión o su proximidad a estructuras rígidas no permitan el empleo del equipo de mezcla y compactación aprobado durante la fase de experimentación, se deben compactar con los medios que resulten adecuados para el caso, de manera que la mezcla resulte homogénea y la densidad alcanzada no sea inferior a la exigida por la presente especificación. Una vez terminada la compactación, la superficie se debe mantener húmeda hasta que se aplique el riego de curado.

Entre las sucesivas pasadas longitudinales del equipo de estabilización para tratar toda la sección transversal, se debe producir un solape transversal que evite la existencia de zonas insuficientemente estabilizadas o la acumulación de segregaciones. El solape se condiciona por el ancho de las máquinas y las franjas tratadas y debe estar comprendido generalmente entre quince a veinticinco centímetros (15 cm – 25 cm).

En el caso de estabilización de suelos para la formación de terraplenes, durante la ejecución de las obras, la superficie de las capas terminadas debe tener una pendiente transversal mínima de cuatro por ciento (4 %).

236.4.8 Juntas de trabajo

Las juntas entre trabajos realizados en días sucesivos se deben cuidar para proteger la capa construida cuando se vaya a esparcir y compactar la adyacente. Al efecto, al término de la jornada de trabajo se deben formar una junta transversal perpendicular al eje de la calzada, haciendo un corte vertical en el material compactado.

Si la capa de subrasante estabilizada con cal no se construye en todo el ancho de la calzada sino por franjas, se deben disponer juntas longitudinales en corte vertical y paralelas al eje

longitudinal de la calzada, mediante un procedimiento aceptable para el interventor.

236.4.9 Curado de la capa compactada

Terminada la conformación y la compactación de la capa de subrasante estabilizada con cal, esta se debe proteger contra pérdidas de agua por un período no menor de siete días (7 d) o hasta que la subrasante estabilizada se cubra con la capa superior. El curado se puede hacer mediante humedecimiento frecuente o mediante la aplicación de un riego de curado dentro de la misma jornada de trabajo.

El tiempo de apertura al tránsito debe ser el determinado en la fase de experimentación. Cuando no existan validaciones al respecto, el tiempo de apertura debe ser igual o mayor a siete días (7 d) después de la compactación y curado. Cuando el tiempo de apertura al tránsito sea menor a siete días (7 d), la velocidad de circulación debe ser menor a treinta kilómetros por hora (30 km/h) para evitar posibles afectaciones por abrasión.

236.4.10 Limitaciones en la ejecución

Las estabilizaciones con cal solo se pueden llevar a cabo cuando la temperatura ambiente, a la sombra, sea superior a cinco grados Celsius (5 °C) y cuando no haya lluvia o temores fundados de que ella se produzca. Cuando la mezcla sin compactar sea afectada por agua lluvia y, como resultado de ello, el contenido de agua de la mezcla supere la tolerancia mencionada en el numeral 236.4.6, el constructor debe validar las propiedades de la mezcla afectada para verificar su funcionalidad antes de proceder a retirar la mezcla que no cumpla con el numeral 236.5.2 y reconstruir el sector deteriorado hasta ser aprobado por el interventor, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS).

Los trabajos se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y operación de un equipo de iluminación artificial que sea aprobado por este. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y se debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

236.4.11 Manejo ambiental

En adición a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las labores requeridas para la ejecución de la estabilización de suelos con cal, se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en los estudios o evaluaciones ambientales del proyecto y las normas y disposiciones vigentes sobre la conservación del ambiente y los recursos naturales. Algunos de los cuidados relevantes en relación con la protección ambiental se describen a continuación, sin perjuicio de los que exijan los documentos de cada proyecto en particular o la legislación ambiental vigente:

- Se debe evitar el tránsito desordenado de equipos de construcción por fuera del área de los trabajos, con el fin de evitar perjuicios innecesarios a la flora y a la fauna, así como interferencias al drenaje natural.

- Los dispositivos de drenaje superficial y la pendiente transversal de la calzada se deben mantener correctamente durante la ejecución de los trabajos, con el fin de prevenir erosiones y arrastres innecesarios de partículas sólidas.
- El manejo y aplicación de la cal se debe realizar con las precauciones que exijan las autoridades ambientales.
- El constructor debe especificar los métodos de control de emisiones atmosféricas y de ruido que se deben utilizar en la ejecución de los trabajos. Estos métodos deben ser presentados al interventor y aprobados por este antes de cada jornada.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades deben estar incluidas en los costos del proyecto, por tanto, no deben ser objeto de reconocimiento directo en el contrato.

236.4.12 Conservación de la capa terminada

El constructor debe conservar la capa estabilizada con cal en perfectas condiciones, hasta que se construya la capa superior prevista en los documentos del proyecto. Todo daño que se presente debe corregirlo hasta contar con la aprobación del interventor, sin costo adicional para INVÍAS.

236.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

Debe ser de estricto cumplimiento las verificaciones para el control de la calidad de los materiales y la capa estabilizada terminada.

236.5.1 Calidad de los materiales

236.5.1.1 Calidad de los suelos

Se deben efectuar las verificaciones periódicas indicadas en la Tabla 236 — 6. Los resultados obtenidos deben cumplir con los valores establecidos en la Tabla 236 — 1.

Además, el interventor puede adelantar las pruebas adicionales que le permitan tener certeza de la calidad del material por estabilizar, de acuerdo con las exigencias de la presente especificación.

Tabla 236 — 6. Verificaciones periódicas sobre el suelo por estabilizar

Característica	Norma de ensayo	Frecuencia
Composición (F)		
Granulometría	INV E-213	1 por jornada
Limpieza (F)		
Límite líquido	INV E-125	1 por jornada
Índice de plasticidad	INV E-125 e INV E-126	1 por jornada
Contenido de materia orgánica	INV E-121/UNE 103204	1 a la semana

Característica	Norma de ensayo	Frecuencia
Características químicas (O)		
Proporción de sulfatos del suelo a tratar, expresado como $SO_4^=$	INV E-233/ UNE 103201	1 al mes

236.5.1.2 Calidad de la cal

Cada vez que el interventor lo considere necesario, se deben efectuar ensayos de control que permitan verificar la calidad de la cal. Los resultados obtenidos deben cumplir con los valores establecidos en la Tabla 236 — 2. Además, el proveedor debe entregar un certificado de calidad donde se indiquen las propiedades del producto entregado, de acuerdo con la Tabla 236 — 2, con la finalidad de verificar la calidad del producto y establecer su aceptación o rechazo.

Cuando la cal haya superado la fecha de vencimiento establecida por el proveedor (si corresponde), lleve más de dos (2) meses almacenada en condiciones atmosféricas normales, o ambos, antes de su empleo, el constructor debe realizar, como mínimo, sobre una muestra representativa de la cal almacenada, sin excluir los terrones que se hubieran podido formar, los ensayos de contenido de dióxido de carbono y distribución de tamaños. Si los resultados no cumplen con lo establecido en la Tabla 236 — 2 para estas características, se debe proceder a su homogeneización y realización de nuevos ensayos o su desuso y retiro de la obra.

En ambientes muy húmedos o en condiciones atmosféricas desfavorables o de obra anormales, el constructor puede reducir el plazo de dos (2) meses para la comprobación de las condiciones de almacenamiento de la cal.

Además de lo anteriormente establecido, cuando el constructor lo considere conveniente, se deben llevar a cabo ensayos adicionales para la comprobación de las características que estime necesarias.

La toma de muestra de la cal se debe realizar lo más rápido posible, para reducir al mínimo la absorción de humedad y dióxido de carbono. Una vez recogida la muestra, se debe guardar en un recipiente estanco y con cierre hermético hasta su análisis.

Como alternativa a las pruebas citadas, se puede realizar un tramo de prueba que permita validar la calidad de la cal almacenada.

236.5.1.3 Calidad del agua

Una vez al mes, cada que cambie la fuente o siempre que tenga alguna sospecha sobre la calidad del agua empleada, se debe verificar su pH y su contenido de sulfatos. Los resultados obtenidos deben cumplir con los valores establecidos en la Tabla 236 — 3.

236.5.2 Calidad de la mezcla

236.5.2.1 Ensayos de control del contenido de cal y homogeneidad de la mezcla en superficie y profundidad

Para verificar la homogeneidad de la mezcla y la profundidad del tratamiento, se deben determinar los valores de pH mediante

la norma INV E-601 y el contenido de cal mediante la norma INV E-606 de muestras de suelos tomadas antes y después de la adición de la cal, en distintas zonas y a diferentes profundidades de la capa. Estas verificaciones se deben realizar sobre tres (3) muestras de la mezcla elaborada correspondiente a un lote, definido como se indica en el numeral 236.5.3.

El porcentaje de cal promedio de las tres muestras que representan al lote (*CPL* %), debe tener una tolerancia de cero coma cuatro por ciento (0,4 %), respecto del óptimo definido en la fórmula de trabajo (*CFT* %).

$$CFT\ \% - 0{,}4\ \% \leq CPL\ \% \leq CFT\ \% + 0{,}4\ \% \quad [236.1]$$

A su vez, el porcentaje de cal de cada muestra individual (*CI* %), no puede diferir del valor promedio del lote (*CPL* %), en más de cero coma cinco por ciento (0,5 %), y se admite un (1) solo valor fuera de ese intervalo.

$$CPL\ \% - 0{,}5\ \% \leq CI\ \% \leq CPL\ \% + 0{,}5\ \% \quad [236.2]$$

Cuando la estabilización con cal tenga como objetivo el mejoramiento de propiedades mecánicas el pH obtenido en cada una de las muestras recuperadas debe ser en todos los casos superior a doce coma cuatro (12,4).

Un porcentaje de cal promedio (*CPL* %) fuera de tolerancia, así como un número mayor de muestras individuales por fuera de los límites o un valor de pH inferior a doce coma cuatro (12,4) (cuando el tratamiento del suelo sea para incrementar sus características mecánicas), implica el rechazo del lote salvo que, en el caso de exceso de cal, el constructor demuestre que no hay problemas de comportamiento de la capa estabilizada.

Si el lote es rechazado, el constructor debe retirar la capa y reponerla hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS; la capa de reposición debe mantener las rasantes del proyecto y debe garantizar las propiedades de capacidad y estabilidad equivalentes a las contempladas en los documentos del proyecto para las capas estabilizadas.

Un porcentaje de cal promedio (*CPL* %) fuera de tolerancia, así como un número mayor de muestras individuales por fuera de los límites implica el rechazo del lote salvo que, en el caso de exceso de cal, el constructor demuestre que no hay problemas de comportamiento de la capa de subrasante estabilizada con cal. El material retirado es de propiedad del constructor.

236.5.2.2 Resistencia a la compresión inconfinada (cuando los documentos del proyecto establecen un requisito para este parámetro)

Con un mínimo de dos (2) muestras por lote de la mezcla elaborada en la obra se deben moldear probetas (dos (2) por muestra) según la norma de ensayo INV E-605, para verificar en el laboratorio su resistencia a compresión simple luego de siete días (7 d) de curado, de conformidad con un procedimiento similar al realizado durante el diseño de la mezcla.

La resistencia media de las cuatro (4) o más probetas que representan al lote, (R_m), debe ser igual o superior al noventa y dos por ciento (92 %) de la resistencia correspondiente al

diseño presentado por el constructor (R_d) y aprobado por el interventor

$$R_m \geq 0{,}92 * R_d \quad [236.3]$$

A su vez, la resistencia de cada probeta (R_i) debe ser igual o mayor al noventa por ciento (90 %) del valor medio, (R_m), admitiéndose solo un valor individual por debajo de ese límite.

$$R_i \geq 0{,}90 * R_m \quad [236.4]$$

Si uno o más de estos requisitos se incumplen, se debe rechazar el lote al cual representan las muestras. Si el lote es rechazado, el constructor debe retirar la capa y reponerla hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS; la capa de reposición debe mantener las rasantes del proyecto y debe garantizar unas propiedades de capacidad y estabilidad de la subrasante equivalentes a las contempladas en los documentos del proyecto para la subrasante estabilizada. El material retirado es de propiedad del constructor.

236.5.3 Calidad de la capa terminada

Para efectos del control, se debe considerar como lote que se acepta o rechaza en conjunto, la menor área construida que resulte de aplicar los siguientes criterios:

- Quinientos metros (500 m) de capa de subrasante estabilizada con cal.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m^2) de capa de subrasante estabilizada con cal.
- La obra ejecutada en una jornada de trabajo.
- La obra ejecutada con el mismo material, de la misma procedencia y con el mismo equipo y procedimiento de trabajo.

La capa terminada debe presentar una superficie uniforme y ajustada a las rasantes y pendientes establecidas. La distancia entre el eje del proyecto y el borde de la capa que se está construyendo, excluyendo sus chaflanes, no puede ser menor que la señalada en los documentos del proyecto. La cota de cualquier punto de la capa compactada no debe variar en más de diez milímetros (10 mm) de la proyectada.

Además, se deben realizar los siguientes controles:

236.5.3.1 Compactación

Los sitios para la determinación de la densidad de la capa se deben elegir al azar, según la norma de ensayo INV E-730, pero de manera que se realice al menos una prueba por hectómetro. Se deben efectuar, como mínimo, cinco (5) ensayos por lote.

Para el control de la compactación de la capa estabilizada con cal, se debe calcular su grado de compactación a partir de los resultados de los ensayos de densidad en el terreno y del ensayo de compactación en el laboratorio, mediante la expresión que resulte aplicable entre las siguientes:

- Material sin sobretamaños:

$$GC_i = \frac{\gamma_{d,i}}{\gamma_{d,máx}} * 100 \quad [236.5]$$

- Material con sobretamaños:

$$GC_i = \frac{\gamma_{d,i}}{C\gamma_{d,máx}} * 100 \quad [236.6]$$

Donde:

GC_i, valor individual del grado de compactación, en porcentaje.

$\gamma_{d,i}$, valor individual del peso unitario seco del material en el terreno, determinado por cualquier método aplicable de los descritos en las normas de ensayo INV E-161, E-162 y E-164, sin efectuar corrección por presencia de sobretamaños de manera que corresponda a la muestra total.

$\gamma_{d,máx}$, valor del peso unitario seco máximo, obtenido durante el diseño de la mezcla según se indica en el numeral 6.2.2 de la norma de ensayo INV E-605.

$C\gamma_{d,máx}$, valor del peso unitario seco máximo, obtenido durante el diseño de la mezcla según se indica en el numeral 6.2.2 de la norma de ensayo INV E-605, y corregido por sobretamaños según la norma de ensayo INV E-143, numeral 3.1, de manera que corresponda a la muestra total.

Sobretamaños (fracción gruesa) (P_{FG}), porción de la muestra total retenida en el tamiz de control correspondiente al método utilizado para realizar el ensayo de compactación (norma INV E-141 o 142).

Si los documentos del proyecto no indican otra cosa, se deben aplicar los siguientes criterios para la aceptación del lote:

Cuando el ensayo de compactación de referencia sea el INV E-141:

GC_l (90) ≥ 98,0 % *se acepta el lote* **[236.7]**

GC_l (90) < 98,0 % *se rechaza el lote* **[236.8]**

Cuando el ensayo de compactación de referencia sea el INV E-142:

GC_l (90) ≥ 95,0 % *se acepta el lote* **[236.9]**

GC_l (90) < 95,0 % *se rechaza el lote* **[236.10]**

Donde:

GC_l (90), límite inferior del intervalo de confianza en el que, con una probabilidad del noventa por ciento (90 %), se encuentra el valor promedio del grado de compactación del lote, en porcentaje; se calcula según el numeral 107.3.1.3 del artículo 107, Control y aceptación de los trabajos, a partir de los valores individuales del grado de compactación (GC_i).

Las verificaciones de compactación se deben efectuar en todo el espesor de la capa que se está controlando.

Si el lote es rechazado, el constructor debe retirar la capa y reponerla hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. La capa de reposición debe mantener las rasantes del proyecto y debe garantizar unas propiedades de capacidad y estabilidad de la subrasante equivalentes a las contempladas en los documentos del proyecto para la subrasante estabilizada. El material retirado es de propiedad del constructor.

236.5.3.2 Espesor

Sobre la base de los sitios escogidos para el control de la compactación, el interventor debe determinar el espesor medio de la capa compactada (e_m), el cual no puede ser inferior al espesor de diseño (e_d).

$$e_m \geq e_d \quad [236.11]$$

Además, el espesor obtenido en cada determinación individual (e_i), debe ser cuando menos igual al noventa por ciento (90 %) del espesor de diseño (e_d), admitiéndose solo un valor por debajo de dicho límite, siempre y cuando este valor sea igual o mayor al ochenta y cinco por ciento (85 %) del espesor de diseño.

$$e_i \geq 0{,}90 * e_d \quad [236.12]$$

Si se incumple alguno de estos requisitos, se debe rechazar el lote. En este caso, el constructor debe retirar la capa y reponerla hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. La capa de reposición debe mantener las rasantes del proyecto y debe garantizar unas propiedades de capacidad y estabilidad equivalentes a las contempladas en los documentos del proyecto para las capas estabilizadas. El material retirado es propiedad del constructor.

Opcionalmente, el interventor puede autorizar que la capa de espesor deficiente sea complementada mediante la colocación de un espesor adicional de material estabilizado de similares características que complete el espesor de diseño, siempre y cuando no se alteren los niveles de rasante del proyecto. En caso de ser autorizada, esta labor debe ser adelantada por el constructor sin costo adicional para INVÍAS.

236.5.3.3 Planicidad

La superficie acabada no puede presentar, en ningún punto, zonas de acumulación de agua ni irregularidades mayores de quince milímetros (15 mm), cuando se compruebe con una regla de tres metros (3 m), norma de ensayo INV E-793, colocada tanto paralela como perpendicularmente al eje de la vía, en los sitios que escoja el interventor, los cuales no pueden estar afectados por cambios de pendiente.

Para suelos empleados para la conformación de terraplenes se aplican los requerimientos de planicidad y acabado definidos en el artículo 220.

Todas las áreas de capa de subrasante estabilizada con cal donde los defectos de calidad y terminación excedan las tolerancias de esta especificación, deben ser corregidas por el constructor de acuerdo con las instrucciones del interventor y hasta ser aprobadas por este, sin costo adicional para INVÍAS.

236.5.3.4 Suelos estabilizados para terraplén

Cuando el suelo de subrasante estabilizado con cal sea usado para la conformación de terraplenes se deben realizar los siguientes controles:

- Se deben tomar muestras de material estabilizado una vez finalizan los procesos de mezclado, conformación y nivelación del material, y previo al inicio de la compactación de este.
- Las muestras se toman dentro de la sección de la vía en conformación y en sitios definidos al azar según la norma de ensayo INV E-730 para los ensayos de evaluación periódica de la calidad del material mezclado estipulados en la Tabla 236 — 7:

Tabla 236 — 7. Verificaciones periódicas sobre el suelo por estabilizar

Material	Norma de ensayo	Cimiento, núcleo y corona
Limite líquido	INV E-125	Una (1) vez por jornada
Índice plástico	INV E-126	Una (1) vez por jornada
Límite de contracción	INV E-127	Una (1) vez por semana
Densidad seca máxima	INV E-142	Una (1) vez por semana
Valor de azul de metileno	INV E-235	Una (1) vez por semana, cuando así se requiera
CBR de laboratorio	INV E-148	Una (1) vez por mes
Expansión libre en edómetro	ASTM D4546	Una (1) vez por mes
Índice de colapso	INV E-157	Una (1) vez por mes

Los ensayos de control de resistencia CBR e índice de colapso se deben realizar en laboratorio sobre material cuyo proceso de mezclado con la cal viva haya finalizado y previo a la compactación en campo, y de acuerdo con las normas de ensayo INV E-148 y INV E-157 respectivamente.

Si se requiere evaluar la resistencia del material ya colocado y compactado en campo, los ensayos anteriormente mencionados se deben realizar sobre muestras inalteradas talladas *in situ* tomando el cuidado requerido para evitar la pérdida de integridad de la muestra.

Se debe descartar la evaluación de la resistencia CBR e índice de colapso de muestras tomadas al material ya compactado y curado en el terraplén y posteriormente remoldeadas en laboratorio.

236.6 Medida

La unidad de medida debe ser el metro cúbico (m^3), aproximado a la décima (0,1), de mezcla colocada y compactada, aprobada por el interventor, de acuerdo con esta especificación. El volumen se debe determinar utilizando la longitud real medida a lo largo del eje de la vía y las secciones transversales establecidas en los documentos del proyecto, previa verificación de que su anchura y espesor se encuentren conformes con dichos documentos y dentro de las tolerancias permitidas en este artículo.

No se deben medir cantidades en exceso de las especificadas, especialmente cuando ellas se produzcan por sobreexcavaciones de la capa por parte del constructor.

Si los documentos del proyecto indican que la cal se debe pagar por aparte, la unidad de medida debe ser el kilogramo (kg), aproximado al kilogramo entero, incorporado en la mezcla, debidamente aceptada por el interventor.

En este caso, para determinar la cantidad de cal efectivamente incorporada a la mezcla se debe tomar el porcentaje de cal promedio del lote (*CPL* %), determinado en los ensayos de contenido de cal realizados a la mezcla como se indica en el numeral 236.5.2.1. Se debe efectuar el cálculo correspondiente aproximado al kilogramo entero.

El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

236.7 Forma de pago

El pago de la capa estabilizada con cal se debe hacer por metro cúbico (m^3) al respectivo precio unitario del contrato, por toda obra ejecutada de acuerdo con este artículo y aprobada por el interventor.

El precio unitario debe incluir la escarificación de la subrasante en el espesor requerido y su posterior disgregación hasta cumplir las exigencias de este artículo; los costos de suministro de la cal en el sitio, en acopio o en planta; los costos de suministro en el sitio, en acopio o en planta del agua que se pueda requerir para la estabilización; los costos de mezcla, colocación, nivelación y compactación, y los costos de transporte para las mezclas elaboradas en acopio o en planta.

El precio unitario debe incluir, también, el suministro en el sitio del agua para el curado de la capa compactada y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución de los trabajos especificados.

El precio unitario debe cubrir todos los costos de obtención de todos los permisos ambientales requeridos; las instalaciones provisionales; los costos de los desvíos que se requieran construir durante la ejecución de las obras. Además, debe incluir los costos de la fase de experimentación, de todos los ensayos de campo y de laboratorio que estén a cargo del constructor, así como los de la señalización preventiva de la vía y el control del tránsito automotor durante la ejecución de los trabajos, los de la conservación de la capa terminada y, en general, todo costo relacionado con la correcta construcción de la capa respectiva.

Si los documentos del proyecto indican que la cal se debe pagar por aparte, el precio unitario de la capa estabilizada con cal debe excluir su suministro en el sitio.

El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

236.8 Ítem de pago

La presente especificación cuenta con las siguientes partidas de pago, las cuales se deben indicar en los documentos del proyecto.

Opción 1: el precio unitario del suelo estabilizado con cal incluye el suministro de la cal.

Ítem	Descripción	Unidad
236.1	Suelo de subrasante estabilizado con cal (incluye suministro de la cal)	Metro cúbico (m^3)
236.2	Terraplén estabilizado con cal (incluye suministro de la cal)	Metro cúbico (m^3)

Opción 2: el precio unitario del suelo estabilizado con cal no incluye el suministro de la cal.

Ítem	Descripción	Unidad
236.10	Suelo de subrasante estabilizado con cal (no incluye suministro de la cal)	Metro cúbico (m^3)
236.11	Cal para estabilización de suelos	Kilogramo (kg)
236.12	Terraplén estabilizado con cal (no incluye suministro de la cal)	Metro cúbico (m^3)

Estabilización de suelos con productos químicos no tradicionales

Artículo 237-22

237.1 Descripción

Esta especificación consiste en los lineamientos, metodologías y protocolos de utilización de productos químicos no tradicionales, para la estabilización de suelos de subrasante o materiales existentes en las vías de bajos volúmenes de tránsito (NT1 de acuerdo con la Tabla 100-1 del artículo 100, Ámbitos de aplicación, términos y definiciones), utilizados como fundación, capa estabilizada no estructural o capa estabilizada estructural de un pavimento, de acuerdo con las dimensiones, lineamientos y secciones indicados en los documentos del proyecto y aprobados por el interventor.

El presente artículo aplica exclusivamente para productos químicos no tradicionales, aquellos aditivos que tengan una especificación como la cal, cemento, asfalto, etc., deben acogerse a su respectiva especificación.

Los lineamientos para la estabilización de suelos con productos químicos no tradicionales deben garantizar parámetros mínimos de estabilización para su aplicación y estabilidad en el tiempo. Lo anterior no exime la responsabilidad de consultores, constructores e interventores. Los cuales requieren contar con la asesoría técnica en forma permanente y presencial del proveedor del producto y con un consultor especializado, para que bajo su responsabilidad compartida con el contratista y la interventoría se ejecuten los trabajos.

Nota aclaratoria:

Los estabilizantes no tradicionales, son materiales de los cuales no se conoce totalmente su comportamiento y hace falta mayor investigación para poder definir sus características físico-mecánicas. En consecuencia el contenido de este documento no contempla necesariamente todos los aspectos que pueden conformar la elaboración del diseño de las mezclas resultantes en el laboratorio, sus parámetros de calidad y control durante la construcción de este tipo de estabilizaciones en sus distintas presentaciones que se ofrecen en el mercado por diferentes proveedores.

237.2 Materiales

237.2.1 Suelos a estabilizar

El material por estabilizar con productos químicos no tradicionales puede provenir de la escarificación de la capa superficial existente, o ser un suelo natural proveniente de excavaciones o zonas de préstamo, o combinación de material existente con material de préstamo.

Durante el estudio de suelos se debe evaluar la presencia, en los suelos, de materia orgánica o cualquier otro compuesto que pueda afectar las reacciones químicas del estabilizante con el suelo. El resultado del análisis de la composición química del suelo y la presencia de compuestos que puedan afectar la estabilización se debe tener en cuenta en la selección del tipo de estabilizante.

Los documentos del proyecto deben incluir el análisis de la selección del tipo de estabilizante, en el cual se descarte la presencia en el suelo de compuestos que puedan afectar las

reacciones químicas o mecanismos de estabilización de acuerdo con el producto químico no tradicional propuesto. En caso de que el producto químico no tradicional propuesto no cumpla con esta condición se debe estudiar el uso de otro tipo de estabilizante.

237.2.2 Productos químicos no tradicionales

Se definen cinco (5) tipos de productos químicos no tradicionales como se indica en la Tabla 237-1, en función de las familias químicas de productos estabilizantes y el efecto que se desea lograr en el suelo.

Tabla 237-1 Tipos de productos químicos no tradicionales

Tipo de material	Familia de estabilizantes químicos	Descripción
Tipo 1	Emulsiones enzimáticas	Compuestos diversos de naturaleza proteica que catalizan reacciones químicas con el fin de reducir la plasticidad y permeabilidad del suelo.
Tipo 2	Materiales puzolánicos	Materiales que promueven reacciones cementantes, estas reacciones consisten en la solubilización de los compuestos de sílice y alúmina amorfas o débilmente cristalizadas en un medio altamente alcalino, con la consecuente formación de aluminosilicatos dicálcicos y tricálcicos hidratados.
Tipo 3	Polímeros y organosilanos	Sustancias derivadas de compuestos orgánicos con cadenas moleculares extensas, empleadas en la estabilización de suelos con el fin de reducir la permeabilidad y aglomerar las partículas; en algunos casos alteran el comportamiento hidrofílico del suelo mediante mecanismos electroquímicos y de encapsulamiento en la fracción fina.
Tipo 4	Sales inorgánicas	Compuestos químicos de naturaleza iónica empleados para el control de emisiones de polvo en carreteras y en la reducción de plasticidad.
Tipo 5	Aceites sulfonados – sales orgánicas	Agentes químicos de naturaleza surfactante, derivados de compuestos orgánicos, empleados en la estabilización de suelos para disminuir la plasticidad y la expansividad de los suelos modificando los fenómenos electroquímicos de la fracción fina.

237.2.3 Selección del aditivo

Durante la etapa de selección del producto químico no tradicional se debe definir una (1) mezcla de suelo-aditivo químico en función de los criterios para el diseño del suelo estabilizado definidos en la Tabla 237-2.

Tabla 237-2 Criterios para selección de aditivo no tradicional

Característica	Criterio
Porcentaje de resistencia residual después de capilaridad – RRc	Reportar
Porcentaje de resistencia residual después de inmersión – RRi	Reportar
Relación de la resistencia del suelo estabilizado después de saturación sobre el suelo natural seco sin estabilizar	Reportar (Nota 1)
Nota 1: En suelos cohesivos y cuando sea posible la realización del ensayo de compresión inconfinada del suelo natural.	

Si la capa de suelo de subrasante o material existente a estabilizar pretende ser usada con fines estructurales, esta debe ser resistente a los efectos del agua y presentar una durabilidad comprobada a los efectos climáticos y del tránsito a lo largo del periodo de diseño de la estructura. Los documentos del proyecto deben indicar la resistencia mínima a compresión inconfinada después de inmersión o saturación por capilaridad de acuerdo con las normas de ensayo INV E-631 e INV E-632.

Se deben elaborar probetas del proyecto de mezcla conforme a los tiempos de revisión de siete, catorce o veintiocho días (7 d, 14 d o 28 d), o lo que el fabricante recomiende según el tipo de estabilizante. Después de terminar el proceso de curado definido por el diseñador de acuerdo con las recomendaciones del fabricante del producto químico no tradicional, las probetas se deben someter a inmersión por una hora (1 h) e inmediatamente después se debe realizar el ensayo de resistencia a compresión inconfinada, siguiendo los procedimientos establecidos en la norma INV E-632.

La relación entre la resistencia a la compresión inconfinada después de saturación por inmersión sobre la resistencia a la compresión inconfinada en seco se debe reportar en los documentos del proyecto como porcentaje de resistencia residual después de inmersión (RRi).

Un conjunto diferente de probetas se somete a saturación por capilaridad después del curado por siete, catorce o veintiocho días (7 d, 14 d o 28 d), o lo que el fabricante recomiende según el tipo de estabilizante. Las probetas se deben poner sobre una piedra porosa con una lámina de agua hasta un milímetro (1mm) sobre su superficie durante un periodo de veinticuatro horas (24 h), luego de las cuales se deben someter inmediatamente al ensayo de resistencia a la compresión inconfinada. La relación entre la resistencia a la compresión inconfinada después de saturación por capilaridad sobre la resistencia a la compresión inconfinada en seco se debe reportar en los documentos del proyecto como porcentaje de resistencia residual después de capilaridad (RRc).

En el caso de suelos cohesivos se debe determinar la resistencia a la compresión inconfinada del suelo seco y se debe determinar la relación de la resistencia del suelo estabilizado

después de saturación sobre el suelo natural seco sin estabilizar.

El interventor debe evaluar la efectividad como estabilizante del suelo del proyecto del producto químico no tradicional propuesto analizando los valores reportados de los criterios indicados en la Tabla 237-2 del presente artículo para avalar el uso del producto y la fórmula de trabajo propuesta.

Todas las resistencias a evaluar para el presente análisis deben ser determinadas como el promedio de por lo menos cinco (5) probetas. Esta evaluación se debe hacer para cada una de las secciones homogéneas definidas en los estudios geotécnicos con base en la caracterización y composición química de los suelos presentes en el proyecto.

El efecto del agua sobre el material estabilizado debe ser determinado mediante la evaluación de muestras compactadas según la norma de ensayo INV E-632.

237.2.4 Caracterización del suelo

Es necesario establecer la calidad de los materiales que van a servir como fundación del suelo a estabilizar.

Específicamente, se debe verificar la capacidad de soporte del material o capa que va a funcionar como subrasante, para usarlo como indicador de la calidad de la misma, en términos de su resistencia.

El espaciamiento longitudinal para los sondeos o apiques debe ser de mínimo cada doscientos cincuenta metros (250 m) y deben tener una profundidad mínima uno coma cincuenta metros (1,50 m), sin embargo, la separación de los sondeos puede ser menor dependiendo de las condiciones geológicas y geotécnicas del proyecto.

Para la caracterización de los suelos de fundación y materiales sobre los cuales se va a llevar a cabo el proceso de estabilización, se deben realizar los ensayos descritos en los documentos específicos del proyecto y como mínimo se deben realizar los ensayos presentados en la Tabla 237-3. En el caso de suelos superiores al tamiz nro.10, se deben preparar las probetas siguiendo los lineamientos de INV E-614 bajo los mismos criterios: RRi, RRc e IRA.

Tabla 237-3 Ensayos de caracterización suelos

Título de la Norma	Norma Ensayo	Criterio
Clasificación de suelos y mezclas de suelo y agregados con fines de construcción de carreteras (Sistema AASHTO)	INV E-180	Reportar
Sistema unificado de clasificación de suelos para propósitos de ingeniería	INV E-181	Reportar
Determinación del límite líquido de los suelos	INV E-125	Reportar
Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos	INV E-126	Reportar
Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos	INV E-123	Reportar

Título de la Norma	Norma Ensayo	Criterio
Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino	INV E-213	Reportar
Determinación de la cantidad de material que pasa el tamiz de 75 µm (nro. 200) en los agregados pétreos mediante lavado	INV E-214	Reportar
Ensayos fisicoquímicos		
pH de los suelos	INV E-131	Reportar
Contenido de sulfatos solubles en los suelos	NLT-120/72	Reportar
Determinación de la capacidad de intercambio catiónico	NTC 5268	Reportar
Determinación del contenido de materia orgánica oxidable de un suelo por el método del permanganato potásico o mediante el ensayo de pérdida por ignición	UNE 103204 o INV E-121	Reportar
Conductividad eléctrica	NTC 5596	Reportar
Ensayos mecánicos		
Relación de humedad-peso unitario seco en los suelos (ensayo modificado de compactación)	INV E-142	Reportar
Relaciones humedad-densidad de mezclas de suelo con estabilizantes químicos no convencionales	INV E-631	Reportar
Módulo resiliente (opcional)	INV E-156	Opcional
Índice de resistencia al agua	INV E-632	Reportar
Velocidad de ascenso capilar	INV E-632	Reportar
Permeabilidad de suelos ensayos de cabeza variable	ASTM D5084	Reportar
Composicionales		
Fluorescencia de rayos X XRF	Sin norma (Nota 1)	Reportar
Difracción de rayos X DRX	Sin norma (Nota 1)	Reportar
Microscopía electrónica de barrido SEM (opcional)	Sin norma (Nota 1)	Opcional
Análisis térmicos TGA/DTA (opcional)	ASTM E1131	Opcional

Título de la Norma	Norma Ensayo	Criterio
Área Superficial por el método BET (opcional)	Sin norma (Nota 1)	Opcional
Nota 1: Los análisis composicionales son de carácter instrumental y aunque no tienen norma específica para los materiales evaluados, cualquier laboratorio que cuente con los equipos instrumentales puede realizarlos.		

237.2.5 Agua

El agua que se requiera para la estabilización debe ser limpia y libre de compuestos que pudiesen resultar perjudiciales en la interacción suelo-aditivo. Puede ser agua potable; si no lo es, debe cumplir con los requisitos que se indican en la Tabla 237-4.

Tabla 237-4 Requisitos del agua a utilizar en la estabilización con productos químicos no tradicionales

Característica	Norma de ensayo	Requisito
pH	ASTM D1293	5,5 – 8,0
Contenido de sulfatos, expresado como $SO_4^=$ g/l máximo	ASTM D516	1,0

237.2.6 Condiciones específicas para muestreo e investigación

Se deben realizar, con base en un muestreo representativo, las investigaciones requeridas que permitan establecer las características químicas y geotécnicas del suelo a estabilizar, el espaciamiento longitudinal para los sondeos o apiques debe ser de mínimo cada doscientos cincuenta metros (250 m) y deben tener una profundidad mínima de uno coma cincuenta metros (1,50 m), sin embargo la separación de los sondeos puede ser menor dependiendo de las condiciones geológicas y geotécnicas del proyecto, permitiendo identificar el material o aditivo de mayor potencial para mejorar las características mecánicas del suelo y garantizar la durabilidad.

Las muestras de suelo usadas en los ensayos de caracterización y composición química para realizar el diseño de mezcla y determinar la fórmula de trabajo deben ser tomadas de la capa a estabilizar.

En caso de que a lo largo de la vía del proyecto se identifiquen suelos de diferentes características, la vía del proyecto se debe dividir en secciones homogéneas por tipo de suelo, para cada sección homogénea se debe seleccionar un producto químico no tradicional adecuado y determinar la respectiva fórmula de trabajo. Cada sección homogénea debe cumplir con lo indicado en el presente artículo.

237.3 Equipo

El constructor debe garantizar los equipos necesarios para la escarificación y la disgregación del material, la elaboración de la mezcla (planta de mezcla o máquina estabilizadora), motoniveladora, compactadores vibratorios y neumáticos, carrotanques para aplicar agua o aditivo y el material de curado de la capa compactada, para la formación de las juntas, equipos de transporte y herramientas menores.

237.3.1 Equipo para la elaboración de la mezcla de suelo aditivo

Los documentos del proyecto deben definir el tipo de equipo para elaborar la mezcla de suelo y producto químico, dentro de las siguientes opciones: planta de mezcla o máquina estabilizadora con cámara de tambor rotatorio. El método de construcción debe garantizar la mezcla homogénea del suelo con el aditivo y debe ser avalado por el interventor. Si los documentos del proyecto no indican el equipo a utilizar, se debe definir el uso de una máquina estabilizadora con cámara de tambor rotatorio de paso sencillo.

De utilizar máquina estabilizadora con cámara de tambor rotatorio, debe comprobarse que, en la profundidad de estabilización, el suelo corresponda al suelo del tramo homogéneo; está comprobación se debe realizar mediante excavaciones de treinta por treinta centímetros por espesor de la capa (30 cm x 30 cm x espesor de la capa).

En cualquier caso, el equipo para la mezcla que suministre el constructor debe ser capaz de lograr una completa homogeneización de los componentes, dentro de las tolerancias establecidas en este artículo.

237.3.2 Equipos para explotación y manejo de materiales

En caso de que la estabilización incluya materiales transportados, el equipo debe incluir, también, elementos para su explotación, cargue, transporte y clasificación.

237.3.3 Equipos para escarificación

Si está prevista la utilización de los materiales existentes en la vía, se debe contar con elementos apropiados para su escarificación.

237.4 Ejecución de los trabajos

Los documentos del proyecto deben indicar si se requiere la instalación de una capa de protección, sus características de acuerdo con los lineamientos del mismo y la finalidad para la cual se implemente (impermeabilización, protección al tráfico, seguridad, etc.); se deben definir tramos homogéneos que permitan garantizar los diseños de mezcla, los procesos constructivos y el control de calidad de la obra; aquellas capas estabilizadas que se proyecten para uso directo del tránsito deben demostrar su resistencia frente a factores climáticos y del tránsito.

237.4.1 Diseño de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo

237.4.1.1 Diseño de la mezcla

La mezcla de suelo aditivo se debe diseñar mediante los criterios de durabilidad y resistencia indicados en los documentos específicos del proyecto. El porcentaje óptimo debe ser aquel que permita cumplir con los parámetros definidos en las condiciones establecidas en el presente artículo y en los documentos del proyecto.

Se le debe exigir al contratista dejar constancia del porcentaje de uso respecto a la masa seca del material por estabilizar de todos los productos a utilizar en el proceso de estabilización; lo cual se debe indicar de manera detallada en la fórmula de trabajo a utilizar.

Las capas de suelo estabilizado que sean diseñadas y construidas con propósitos estructurales deben cumplir los criterios presentados en la Tabla 237-5 y soportar las cargas derivadas del paso de los vehículos, soportar la degradación generada por el agua, y poseer la durabilidad a la intemperie suficiente durante todo el periodo de diseño, así como soportar los efectos climáticos.

Tabla 237-5 Criterios de diseño para la mezcla de suelo aditivo

Ensayo	Norma de ensayo	Criterio
Resistencia		
Comportamiento de la resistencia con: • Incremento en la edad	INV E-632	Crece
Resistencia a la compresión a siete (7) días, MPa • Mínima	INV E-632	2,5 * RCN
Nota 1: La resistencia mínima debe ser la que se obtenga en la formula de trabajo y en ningún caso debe ser inferior a la establecida en esta tabla. Nota 2: Los documentos del proyecto pueden establecer un valor mayor de resistencia a la compresión a siete días (7 d). Nota 3: Los presentes valores son aplicables para suelos cuya resistencia a la compresión en estado natural sea superior cero coma cuatro Megapascales (0,4 MPa), para suelos de resistencias inferiores, se debe efectuar un mejoramiento previo al proceso de estabilización con productos químicos no tradicionales. Nota 4: El proceso para el desarrollo de la resistencia de la capa estabilizada debe ser creciente en el tiempo y ser alcanzada muy rápidamente. RCN: Resistencia a la compresión inconfinada en estado natural del suelo compactado según norma INV E-632.		

237.4.1.2 Fórmula de trabajo

El constructor debe presentar al interventor una “Fórmula de Trabajo”, la cual se debe ajustar durante la construcción de la capa, con las tolerancias que se indiquen en los documentos del proyecto.

La fórmula de trabajo establecida como resultado del diseño de la mezcla debe indicar:

- La clasificación del material por estabilizar según el sistema SUCS, norma INV E-180 o INV E-181.
- El tipo y marca de aditivo sólido empleado en el diseño.
- El tipo y la marca de los aditivos líquidos empleados en el diseño.
- Las fichas técnicas y de seguridad de todos los aditivos químicos empleados en el diseño.
- El contenido óptimo de los aditivos, expresado en porcentaje respecto a la masa seca del material por estabilizar (COA %).
- En el caso de aditivos que se encuentren en estado líquido se debe tener en cuenta que para su dilución no se debe superar la cantidad de agua necesaria para alcanzar las condiciones óptimas de compactación.
- El valor de resistencia a la compresión de diseño a los siete días (7 d) (Rd).
- Los porcentajes óptimos de agua para mezcla y compactación.
- Porcentaje de resistencia residual después de capilaridad de acuerdo con la Tabla 237-2.
- Porcentaje de resistencia residual des-

pués de inmersión de acuerdo con la Tabla 237-2.

- Relación de la resistencia del suelo estabilizado después de saturación sobre el suelo natural seco sin estabilizar de acuerdo con la Tabla 237-2 cuando aplique.

La fórmula de trabajo establecida en el laboratorio se puede ajustar con los resultados de las pruebas realizadas durante la fase de experimentación o tramo de prueba; la fórmula ajustada debe cumplir con los requisitos establecidos para el diseño de la mezcla.

Si durante la ejecución de las obras varía la procedencia de alguno de los componentes de la mezcla o la clasificación de los materiales, o la composición química del suelo, se debe requerir el estudio de una nueva fórmula de trabajo para revisión y aprobación del interventor.

237.4.1.2.1 Índice de resistencia al agua (IRA)

Para suelos estabilizados que pretendan ser usadas como capas estructurales además de los requisitos indicados en los numerales 237.4.1.1 y 237.4.1.2 se debe cumplir con lo siguiente:

Se debe garantizar la resistencia de muestras posterior al proceso de inmersión en agua establecido en la norma de ensayo INV E-632, mediante la evaluación del índice de resistencia al agua (IRA), que consiste en la relación porcentual entre las resistencias a la compresión posterior al proceso de inmersión y la correspondiente en estado seco.

$$\text{IRA (\%)} = \frac{\textit{Resistencia a la compresión posterior a la inmersión o capilaridad}}{\textit{Resistencia a la compresión en estado seco}} * 100 \qquad [237.1]$$

IRA ≥ 90% criterio de aceptación para capas de suelo diseñadas con propósitos estructurales

237.4.2 Fase de experimentación

Al comienzo de los trabajos, el constructor debe elaborar secciones de ensayo o tramos de prueba de longitud, ancho y espesor definidos de acuerdo con el interventor, donde se debe probar el equipo, así como determinar el método definitivo de trabajo, de manera que se cumplan los requisitos de la presente especificación. Una vez aceptados por el interventor la fórmula de trabajo y el informe con el diseño de la mezcla, se procede a la realización de un tramo de prueba con el mismo equipo, procedimientos de protección, curado y espesor de la capa definidas en el proyecto. El tramo de prueba debe cumplir con los requisitos de calidad mencionados en el numeral 237.5.2.2.

Si los documentos del proyecto no establecen la longitud de tramos experimentales para validar los productos estos no podrán ser menores de cincuenta metros (50 m) ni mayores a cien metros (100 m) longitudinales.

Con base en los resultados que se obtengan a partir de muestras tomadas del suelo estabilizado con el producto estabilizante, el interventor debe definir su conformidad con relación a las condiciones especificadas sobre disgregación, contenido de agua, espesor de la capa, grado de compactación, resistencia al agua, resistencia a la intemperie, proporción del producto estabilizante y demás requisitos exigidos.

En caso de que los ensayos indiquen que el suelo estabilizado con los productos químicos no tradicionales no se ajusta a dichas condiciones, este debe ser removido y reemplazado por el constructor hasta conseguir aprobación por parte del interventor, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías (INVIAS); antes de efectuar el reemplazo, el constructor

debe hacer las modificaciones necesarias a los equipos y procedimientos de construcción y, si fuese preciso, se debe modificar el diseño hasta que se cuente con el aval del interventor.

El proceso se debe repetir cuantas veces sea necesario hasta que las secciones de ensayo cumplan con los requisitos establecidos en los documentos del proyecto.

237.4.3 Preparación de la superficie existente

Si el material por estabilizar es totalmente de aporte, antes de construir la capa de suelo con el producto estabilizante se debe comprobar que la superficie que va a servir de apoyo tenga la densidad y la planicidad apropiadas, así como las cotas indicadas en los planos o definidas por el interventor. Todas las irregularidades que excedan las tolerancias establecidas en la especificación respectiva, se deben corregir de acuerdo con lo indicado en ella, hasta conseguir la aprobación del interventor.

En caso de que la construcción se vaya a realizar únicamente con el material existente en la calzada, este se debe escarificar en todo el ancho de la capa que se va a mezclar hasta una profundidad suficiente para que, una vez compactada, la capa de suelo y el sistema estabilizante alcance el espesor señalado en los documentos del proyecto.

Si se contempla la adición de un material de aporte para mejorar el existente, ambos se deben mezclar uniformemente, antes de iniciar la disgregación del material.

En todos los casos en que el proceso involucre el material del lugar, parcial o totalmente, se debe comprobar que el material que se encuentre bajo el espesor por estabilizar presente adecuadas condiciones de resistencia y, en caso de no tenerlas, el interventor debe ordenar las modificaciones previas que considere necesarias.

En todos los casos debe estar concluida la construcción de los dispositivos necesarios para el drenaje de la calzada que requieran ser construidos, previamente a la construcción de la capa de suelo con el sistema de estabilización.

237.4.4 Transporte y almacenamiento de suelos

Cuando la construcción del suelo estabilizado incluya suelos de aporte, estos se deben transportar en vehículos apropiados protegidos con lonas u otros cobertores adecuados, asegurándose a la carrocería de manera que se impida que parte del material caiga sobre las vías por las cuales transitan los vehículos.

Si la estabilización se va a realizar sobre la superficie existente, esta debe ser acondicionada mediante el retiro de sobretamaños y eliminación de sectores que presenten contaminaciones, suelos orgánicos, saturación o cualquier otra irregularidad que comprometa la calidad de la estabilización. La capa por estabilizar debe ser escarificada y homogeneizada.

Cuando se requiera almacenar los suelos, se debe tener en cuenta lo indicado en el numeral 300.4.3 del artículo 300.

237.4.5 Mezcla en la vía

237.4.5.1 Disgregación del material

Antes de realizar el proceso de homogeneización con el producto estabilizante, si el material por tratar, sea que haya sido escarificado en el lugar o transportado desde los sitios de origen aprobados por el interventor, o sea una mezcla de ambos, presenta grumos o aglomeraciones de partículas, se disgrega con el equipo de construcción aprobado a partir de

los resultados de la fase de experimentación en el ancho y espesor suficientes que permitan obtener la sección compactada indicada en los planos u ordenada por el interventor. En caso de encontrarse sobretamaños, que no puedan ser disgregados, mayores a dos pulgadas (2 pulgadas) estos deben ser retirados. El proceso de disgregación se debe realizar hasta que se logren los requerimientos estipulados por el interventor. La longitud de calzada disgregada no debe exceder de la que se pueda tratar y compactar de acuerdo con esta especificación en dos días (2 d) de trabajo, salvo autorización escrita del interventor.

Una vez disgregado el material, éste se debe conformar a la sección transversal de la calzada, con el empleo de motoniveladora.

237.4.5.2 Aplicación del producto químico

La aplicación del producto químico depende de su estado, en caso de encontrarse en estado líquido se debe hacer uso del carrotanque de tal manera que la aplicación sea uniforme sobre toda el área superficial del material, en caso de que el estabilizante se encuentre en estado seco se puede aplicar en bolsas o a granel.

En cualquier caso, el aditivo se debe esparcir sobre el agregado o suelo disgregado empleando el procedimiento aceptado por el interventor durante la fase de experimentación, de manera que se esparza la cantidad requerida según el diseño más la cantidad prevista por desperdicios, a todo lo ancho de la capa por estabilizar.

Durante la aplicación de los aditivos, la humedad del material no debe ser superior a la definida durante el proceso de diseño, para controlar la cantidad de aditivo y agua se debe tener un medidor de flujo y se debe revisar el volumen con los metros cúbicos (m^3) de suelo a estabilizar, con el fin de lograr una mezcla íntima y uniforme del material con el aditivo (líquido o sólido). Sobre el aditivo esparcido sólo se debe permitir el tránsito del equipo que lo va a mezclar con el material.

237.4.5.3 Mezcla

Inmediatamente después de ser esparcido el aditivo (seco, húmedo o conjunto), se debe efectuar la mezcla, empleando el equipo aprobado. El número de pasadas depende del equipo utilizado y debe ser el necesario para garantizar la obtención de una mezcla homogénea según se haya definido en la fase previa de experimentación. En caso de que se requiera, se debe añadir el agua faltante y continuar mezclando hasta que la masa resultante presente completa homogeneidad. La humedad de la mezcla debe ser la establecida en la fórmula de trabajo, con una tolerancia de más o menos de uno por ciento (± 1 %) respecto a la humedad óptima de compactación.

237.4.6 Mezcla en planta

Cuando la estabilización incluya suelos o agregados de aporte, estos se deben transportar a la planta de mezcla o a la vía, según sea el caso, en vehículos apropiados, protegidos con lonas u otros cobertores adecuados, los cuales se deben asegurar a la carrocería, para impedir que parte del material caiga sobre las vías por las cuales transitan dichos vehículos.

237.4.7 Extensión y conformación

La mezcla elaborada sobre la vía se debe extender en todo el ancho previsto en una capa de espesor uniforme que permita obtener el espesor y el grado de compactación exigidos, de acuerdo con los resultados obtenidos en la fase de experimentación, y se debe conformar en toda la sección transversal de la calzada.

Para el caso de mezcla en planta, si los docu-

mentos del contrato así lo requieren, se debe usar una máquina extendedora para estas labores; si no se requiere, la mezcla se puede extender y conformar con motoniveladora.

En todo caso, la cantidad de material extendido y conformado debe ser tal, que el espesor de la capa compactada no resulte inferior a cien milímetros (100 mm) ni superior a doscientos milímetros (200 mm). Si el espesor de suelo con aditivo por construir es superior a doscientos milímetros (200 mm), el material se debe colocar en dos (2) o más capas, procurando que el espesor de cada una de ellas sea sensiblemente igual y nunca inferior a cien milímetros (100 mm).

El material extendido y conformado debe mostrar una distribución uniforme, sin segregaciones evidentes. El interventor no debe permitir la colocación de la capa siguiente, antes de verificar y aprobar la compactación de la precedente.

237.4.8 Prefisuración

Cuando los documentos técnicos del proyecto así lo indiquen, se debe efectuar una prefisuración de las capas de suelo estabilizado con los productos químicos no tradicionales antes de iniciar su compactación. La necesidad de efectuar la prefisuración puede depender de factores tales como la posición de la capa dentro de la estructura, el tipo de rodadura, la resistencia del material suelo aditivo, y el tipo de medidas que eventualmente contemple el proyecto para evitar o controlar que el desarrollo de fisuras de contracción en la capa de suelo aditivo deteriore la rodadura del pavimento.

La prefisuración consiste en la ejecución de juntas transversales en fresco, es decir, del material extendido pero sin compactar. El diseño debe permitir establecer la distancia a la cual se deben realizar las juntas transversales en fresco; en general, la separación entre juntas debe estar comprendida entre tres y cuatro metros (3 y 4 m).

Para la ejecución de las juntas transversales en fresco, se deben utilizar equipos que efectúen en cada pasada un surco recto que penetre al menos dos tercios (2/3) del espesor de la capa y que, al mismo tiempo, introduzcan en él, un producto adecuado para impedir que la junta se cierre de nuevo. Este producto puede consistir en una emulsión bituminosa de rotura rápida, una cinta de plástico flexible, un perfil ondulado de plástico rígido u otros sistemas que, además de impedir que se cierre de nuevo la junta durante la compactación, permitan la transmisión de cargas entre los dos lados de la junta.

Se deben emplear equipos y métodos de ejecución aprobados por el interventor, cuya eficacia haya sido comprobada después de la realización de la fase de experimentación (numeral 237.4.2) en el tramo de prueba contemplado dentro del mismo proyecto.

237.4.9 Compactación

La compactación de la mezcla se debe realizar de acuerdo con el plan propuesto por el constructor y aprobado por el interventor durante la fase previa de experimentación.

El proceso de compactación debe ser tal, que evite la formación de una costra o capa superior delgada, que puede estar débilmente adherida al resto de la capa de suelo mezclado con el sistema de estabilización. En caso de que lo anterior se produzca, tal capa debe ser eliminada hasta obtener una superficie uniforme y compacta.

Los trabajos de compactación deben ser terminados en un lapso no mayor de dos horas (2 h) desde el inicio de la mezcla, en caso de que el aditivo aplicado permita mayor tiempo entre el mezclado y la compactación sin deteriorar la calidad de la capa terminada, esta recomen-

dación se debe indicar en los documentos del proyecto para el aditivo propuesto. Las zonas que por su reducida extensión o su proximidad a estructuras rígidas no permitan el empleo del equipo de mezcla y compactación aprobado durante la fase de experimentación, se deben compactar con los medios que resulten adecuados para el caso, de manera que la mezcla resulte homogénea y la densidad alcanzada no sea inferior a la exigida por la presente especificación. Una vez terminada la compactación, la superficie se debe mantener húmeda hasta que se aplique el riego de curado (si se requiere para el producto, según recomendaciones del fabricante).

237.4.10 Juntas de trabajo

Las juntas entre trabajos realizados en días sucesivos se deben cuidar para proteger la capa construida cuando se vaya a esparcir y compactar la adyacente. En efecto, al término de la jornada de trabajo se debe formar una junta transversal perpendicular al eje de la calzada, haciendo un corte vertical en el material compactado.

Si la capa estabilizada no se construye en todo el ancho de la calzada sino por franjas, se debe disponer un procedimiento aceptable para el interventor, que considere juntas longitudinales en corte vertical y paralelas al eje longitudinal de la calzada.

237.4.11 Curado de la capa compactada

El procedimiento y tiempo de curado se debe hacer de acuerdo con lo indicado en los documentos del proyecto y dependiendo de las instrucciones técnicas del aditivo químico.

En el momento de aplicar el riego, que en ningún caso puede ser veinticuatro horas (24 h) después de terminada la compactación, la superficie de la capa de suelo-aditivo debe presentar un aspecto denso y homogéneo.

237.4.12 Apertura al tránsito

La capa de suelo estabilizada sólo se puede abrir al tránsito público de acuerdo con las condiciones particulares del proyecto y las tolerancias del presente artículo. La apertura debe ser inicialmente durante un tiempo corto que permita verificar el comportamiento de la capa compactada y localizar las áreas que deban ser objeto de corrección. Como resultado de lo observado en esta apertura parcial, el interventor debe definir el instante de apertura definitiva de la capa compactada, al tránsito público. De esta manera los tiempos de apertura al tránsito deben ser verificados y confirmados por el proveedor del producto y su consultor.

Los productos químicos deben garantizar un rápido desarrollo de la resistencia de diseño establecida, permitiendo una apertura adecuada al tráfico de los vehículos.

237.4.13 Limitaciones en la ejecución

Las estabilizaciones con productos químicos no tradicionales sólo se pueden llevar a cabo cuando la temperatura ambiente, a la sombra, sea superior de cinco grados Celsius (5° C) y cuando no haya lluvia o temores fundados de que ella se produzca. En caso de que la mezcla sin compactar sea afectada por agua lluvia y como resultado de ello la humedad de la mezcla supere el porcentaje óptimo de agua para mezcla y compactación, el constructor debe retirar la mezcla afectada y reconstruir el sector deteriorado a satisfacción del interventor, sin costo adicional para el INVIAS. En caso de lluvia sobre la mezcla estabilizada esta debe retirarse y si ya fue compactada debe realizarse una verificación de los requisitos de calidad de la estabilización y de no cumplirse debe ser retirada.

Los trabajos se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVIAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que sea aprobado por este. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

237.4.14 Manejo ambiental

Se aplica lo pertinente del numeral 300.4.8 del artículo 300, Disposiciones generales para la ejecución de afirmados, subbases granulares y bases granulares y estabilizadas.

Adicional a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las labores requeridas para la ejecución de estabilizaciones de suelos con productos no tradicionales se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en los estudios y evaluaciones ambientales del proyecto, así como en las normas y disposiciones vigentes sobre conservación del ambiente, los recursos naturales y protección de la comunidad. Así mismo, se deben tener en cuenta los resultados y las recomendaciones de los estudios ambientales realizados en la etapa de experimentación y los que contemplen la ficha técnica de cada producto estabilizante.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación, deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades deben estar incluidas en los costos del proyecto, por lo tanto, no son objeto de reconocimiento directo en el contrato.

237.4.15 Conservación de la capa terminada

El constructor debe conservar la capa de suelo estabilizada con productos químicos no tradicionales en perfectas condiciones, hasta que se construya la capa superior prevista en los documentos del proyecto. Todo daño que se presente debe ser corregido a plena satisfacción de INVIAS.

237.5 Condiciones para el recibo de los trabajos.

237.5.1 Controles

En adición a lo indicado en el numeral 300.5.1 del artículo 300, se deben efectuar ensayos de control de la mezcla y, una vez compactada, de densidad, espesor y planicidad de la capa terminada.

237.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

237.5.2.1 Calidad de los materiales

237.5.2.1.1 Verificación del suelo objeto de estabilización

Se debe verificar el cumplimiento de los requisitos establecidos en los documentos del proyecto.

Se debe ordenar el retiro de los suelos y agregados que, a simple vista, presenten restos de material vegetal, materia orgánica o tamaños superiores al máximo especificado. Además, se deben efectuar las verificaciones periódicas indicadas en la Tabla 237-6.
El interventor puede adelantar las pruebas adicionales que le permitan tener certeza de la calidad del material por estabilizar, de acuerdo con las exigencias de la presente especificación.

Tabla 237-6 Verificaciones periódicas sobre el material por estabilizar

Título de la norma	Norma ensayo	Frecuencia
Clasificación de suelos y mezclas de suelo y agregados con fines de construcción de carreteras (Sistema AASHTO)	INV E-180	1 vez por cada sección homogénea
Sistema unificado de clasificación de suelos para propósitos de ingeniería	INV E-181	1 vez por cada sección homogénea
Determinación del límite líquido de los suelos	INV E-125	1 vez por cada sección homogénea
Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos	INV E-126	1 vez por cada sección homogénea
Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos	INV E-123	1 vez por cada sección homogénea
Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino	INV E-213	1 vez por cada sección homogénea
Determinación de la cantidad de material que pasa el tamiz de 75 µm (nro. 200) en los agregados pétreos mediante lavado	INV E-214	1 vez por cada sección homogénea
Ensayos fisicoquímicos		
pH de los suelos	INV E-131	1 vez por cada sección homogénea
Contenido de sulfatos solubles en los suelos	NLT-120/72	1 vez por cada sección homogénea
Determinación de la capacidad de intercambio catiónico.	NTC 5268	1 vez por cada sección homogénea
Determinación del contenido de materia orgánica oxidable de un suelo por el método del permanganato potásico o mediante el ensayo de pérdida por ignición	UNE 103204 o INV E-121	1 vez por cada sección homogénea
Conductividad eléctrica	NTC 5596	1 vez por cada sección homogénea
Ensayos mecánicos		
Relación de humedad-peso unitario seco en los suelos (ensayo modificado de compactación)	INV E-142	1 vez por cada sección homogénea

Título de la norma	Norma ensayo	Frecuencia
Índice de resistencia al agua	INV E-632	1 vez por cada sección homogénea
Velocidad de ascenso capilar	INV E-632	1 vez por cada sección homogénea
Permeabilidad de suelos ensayos de cabeza variable	ASTM D5084	1 vez por cada sección homogénea
Composicionales		
Fluorescencia de rayos X XRF	Sin norma (Nota 1)	1 vez por cada sección homogénea
Difracción de rayos X DRX	Sin norma (Nota 1)	1 vez por cada sección homogénea
Microscopía electrónica de barrido SEM (opcional)	Sin norma (Nota 1)	1 vez por cada sección homogénea
Análisis térmicos TGA/DTA (opcional)	ASTM E1131	1 vez por cada sección homogénea
Área Superficial por el método BET (opcional)	Sin norma (Nota 1)	1 vez por cada sección homogénea

Nota 1: Las secciones homogéneas a las que se refiere la presente tabla corresponden a las definidas en los documentos del proyecto.

Cuando el interventor considere que las características del material que está siendo objeto de estabilización ha cambiado, se debe revisar la fórmula de trabajo para garantizar la calidad de la estabilización.

237.5.2.1.2 Calidad de los aditivos químicos

Cada vez que el interventor lo considere necesario, se deben efectuar los ensayos de control establecidos por el fabricante que permitan verificar la calidad de los productos químicos.

Se deben presentar las fichas técnicas y de seguridad de los productos químicos para verificar su inocuidad frente al medio ambiente al ser usados como estabilizantes.

Por ningún motivo se debe permitir el empleo de un producto cuya fecha de vencimiento

haya sido superada.

237.5.2.1.3 Calidad del agua

Siempre que exista alguna sospecha sobre la calidad del agua empleada, se debe verificar que el agua no tenga componentes que afecten la reacción del suelo con el aditivo químico no tradicional empleado en el proyecto.

237.5.2.1.4 Calidad de los aditivos y productos de curado

El constructor debe presentar certificaciones periódicas de los fabricantes o de los proveedores de estos productos, que brinden garantía en cuanto a la calidad y a la conveniencia de su utilización, para la revisión y eventual autorización de uso por parte del interventor.

237.5.2.2 Calidad de la capa estabilizada terminada

Para efectos del control, se considera como "lote", que se debe aceptar o rechazar en bloque, a la menor área construida que resulte de los siguientes criterios:

- Quinientos metros lineales (500 m) de capa de suelo estabilizado con productos químicos no tradicionales.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m^2) de capa de suelo estabilizado con productos químicos no tradicionales.
- La obra ejecutada en una jornada de trabajo.
- La obra ejecutada con el mismo material, de la misma procedencia y con el mismo equipo y procedimiento de trabajo.

La capa terminada debe presentar una superficie uniforme, estar ajustada a las rasantes y pendientes establecidas. La distancia entre el eje del proyecto y el borde de la capa que se está construyendo, excluyendo sus chaflanes, no puede ser menor que la señalada en los planos o la determinada por el interventor. La cota de cualquier punto de la capa compactada no debe variar en más de diez milímetros (10 mm) de la proyectada.

De cada fuente de suelos y agregados por utilizar en la producción de la capa de suelo estabilizado y para cualquier volumen previsto, se deben tomar mínimo tres (3) muestras, cada muestra conformada por cinco (5) especímenes y ejecutar los ensayos de la siguiente manera:

a) Para capas estabilizadas no estructurales:

- Porcentaje de resistencia residual después de capilaridad o inmersión (RRc o RRi según Tabla 237-2):

$$RRm > RRd \quad [237.2]$$

RRm: Porcentaje de resistencia residual promedio después de capilaridad o inmersión de la muestra (Corresponde al promedio de RRc para capilaridad y RRi para inmersión).

RRd: Porcentaje de resistencia residual después de capilaridad o inmersión obtenido en el diseño de la fórmula de trabajo (Corresponde al promedio de RRc para capilaridad y RRi para inmersión obtenidos durante la determinación de la fórmula de trabajo).

- Resistencia a la compresión a los siete días (7 d) (MPa).

$$RCIm > 2{,}5 * RCN \quad [237.3]$$

$$RCi \geq 90\% \ (2{,}5 * RCN) \quad [237.4]$$

RCIm: Resistencia a la compresión inconfinada promedio de la muestra a los siete días (7 d).

b) Para capas estabilizadas estructurales:

Se deben cumplir todos los requisitos del literal a del presente numeral y además debe ser garantizada la resistencia de muestras posterior al proceso de inmersión en agua establecido en la norma de ensayo INV E-632, mediante la evaluación del índice de resistencia al agua (IRA), que consiste en la relación porcentual entre las resistencias a la compresión posterior al proceso de inmersión y la correspondiente en estado seco.

237.5.2.2 1 Compactación

Los sitios para la determinación de la densidad de la capa se deben elegir al azar, según la norma de ensayo INV E-730, Selección al azar de sitios para la toma de muestras, pero de manera que se realice al menos una prueba por hectómetro. Se deben efectuar, como mínimo, cinco (5) ensayos por lote.

Para el control de la compactación de una capa de suelo estabilizado con productos químicos no tradicionales, se debe calcular su grado de compactación a partir de los resultados de los ensayos de densidad en el terreno y del ensayo de compactación en el laboratorio, bajo la energía de compactación definida para el proyecto mediante la siguiente expresión:

$$GC_i = \frac{yd,_i}{yd,_{i,max}} * 100 \qquad [237.5]$$

Siendo:

GC_i: Valor individual del grado de compactación, en porcentaje.

$yd,_i$: Valor individual del peso unitario seco del material en el terreno, sin efectuar corrección de ella por presencia de sobre tamaños, de manera que corresponda a la muestra total.

$yd,_{i,max}$: Valor del peso unitario seco máximo del material, realizado sobre una muestra representativa del mismo.

Si los documentos del proyecto no indican otra cosa, se deben aplicar los siguientes criterios para la aceptación del lote:

GC_i (90) ≥ 98,0 % se acepta el lote [237.6]

GC_i (90) < 98,0 % se rechaza el lote [237.7]

Siendo:

GC_i: (90): Límite inferior del intervalo de confianza en el que, probabilidad del noventa por ciento (90 %), se encuentra el valor promedio del grado de compactación del lote, en porcentaje; se calcula según el numeral 107.3.1.3 del artículo 107, Control y aceptación de los trabajos, a partir de los valores individuales del grado de compactación GC_i.

Las verificaciones de compactación se deben efectuar en todo el espesor de la capa que se está controlando.

El control de compactación en campo se debe realizar durante el proceso constructivo previa al curado y a que ocurran las reacciones químicas que resultan en la modificación del suelo y se puede realizar por cualquiera de los siguientes métodos:

- Densidad y peso unitario del suelo en el terreno por el método de cono y arena (INV E-161).
- Determinación de la densidad y del contenido de agua del suelo y del suelo-agregado en el terreno empleando medidores nucleares (profundidad reducida) (INV E-164).

Si el lote es rechazado, el constructor debe remover la capa y reponerla hasta que sea aceptada por el interventor, sin costo adicional para INVIAS. El material removido se considera de propiedad del constructor.

237.5.2.2 2 Espesor

Sobre la base de los sitios escogidos para el control de la compactación, el interventor debe determinar el espesor medio de la capa compactada (em), el cual no puede ser inferior al de diseño (ed).

$$em \geq ed \qquad [237.8]$$

Además, el espesor obtenido en cada determinación individual (ei) debe ser, cuando menos, igual al noventa por ciento (90 %) del espesor de diseño (ed), admitiendo sólo un valor por debajo de dicho límite, siempre y cuando este valor sea igual o mayor al ochenta y cinco por ciento (85 %) del espesor de diseño.

$$ei \geq 0{,}90\ ed \qquad [237.9]$$

Si se incumple alguno de estos requisitos, se debe rechazar el lote. En este caso, el constructor debe remover la capa cumpliendo los requisitos establecidos en los documentos del proyecto, de tal manera que pueda ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVIAS. El material removido se considera de propiedad del constructor.

237.5.2.2.3 Criterios opcionales de aceptación

Como criterios opcionales de aceptación de la capa estabilizada con materiales no tradicionales, pueden ser utilizados los siguientes ensayos de campo, previa realización de una validación experimental donde se establezcan calibración de parámetros campo-laboratorio, efectuando la respectiva comprobación a nivel de tramo de prueba y definiendo el criterio de aceptación:

ASTM E2583 - Método de prueba estándar para medir deflexiones con un deflector de peso ligero (LWD).

ASTM D6758 - Método de prueba estándar para medir la rigidez y el módulo aparente del suelo y los agregados del suelo in situ mediante el método electromecánico.

ASTM D7698 - Método de prueba estándar para la estimación in situ de la densidad y el contenido de agua del suelo y agregados por correlación con el método de impedancia compleja.

237.6 Medida

La unidad de medida debe ser el metro cúbico (m^3), aproximado a la décima (0,1), de mezcla colocada y compactada, aprobada por el interventor, de acuerdo con esta especificación. El volumen se debe determinar utilizando la longitud real medida a lo largo del eje de la vía y las secciones transversales establecidas en los documentos del proyecto, previa verificación de la conformidad de su anchura y espesor con dichos documentos y dentro de las tolerancias permitidas en este artículo.

No se deben medir cantidades en exceso de las especificadas, especialmente cuando ellas se produzcan por sobreexcavaciones por parte del constructor.

Si los documentos del proyecto indican que el producto estabilizante se paga por aparte, la unidad de medida debe ser el kilogramo (kg) o litro (L) aproximado al kilogramo (kg) o litro (L) completo, según corresponda a la naturaleza del estabilizante, incorporado en la mezcla, debidamente aceptada por el interventor.

En este caso, para determinar la cantidad del producto estabilizante efectivamente incorporada a la mezcla, se debe tomar el porcenta-

je de estabilizante del lote determinado en la fórmula de trabajo. Se debe realizar el cálculo correspondiente y se debe aproximar al al kilogramo (kg) o litro (L) completo.

237.7 Forma de pago

El pago de la estabilización de suelos de subrasante o materiales existentes en las vías del proyecto, utilizados como fundación o capas estructurales de una estructura de pavimento con productos químicos no tradicionales se debe hacer por metro cúbico al respectivo precio unitario de contrato, por toda obra ejecutada de acuerdo con este artículo y aceptada por el interventor.

El precio unitario debe incluir la escarificación de la subrasante o materiales existentes en las vías del proyecto, utilizados como fundación o capas estructurales de una estructura de pavimento en el espesor requerido hasta cumplir con las exigencias de este artículo; los costos del suministro del producto estabilizador en el sitio; los costos de suministro de agua en el sitio que se pueda requerir para la estabilización y los costos de mezcla, colocación, nivelación y compactación.

El precio unitario debe incluir, también, el suministro en el sitio del agua para el curado de la capa compactada y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución de los trabajos especificados.

El precio unitario debe cubrir todos los costos de obtención de todos los permisos ambientales requeridos; las instalaciones provisionales; los costos de los desvíos que se requieran construir durante la ejecución de las obras. Además, debe incluir los costos de la fase de experimentación, de todos los ensayos de campo y de laboratorio que estén a cargo del constructor, así como los de la señalización preventiva de la vía y el control del tránsito automotor durante la ejecución de los trabajos, los de la conservación de la capa estabilizada terminada y, en general, todo costo relacionado con la correcta construcción de la capa respectiva.

El precio unitario debe incluir, también, los costos de los requisitos establecidos en el artículo 106, Aspectos ambientales.

Si los documentos del proyecto indican que el producto estabilizado se paga por aparte, el precio unitario de la capa estabilizada con productos químicos no tradicionales excluye el suministro en el sitio del mismo.

El precio unitario debe incluir, también, los costos de la administración, los imprevistos y la utilidad del constructor.

237.8 Ítem de pago

Opción 1: El precio unitario de capa estabilizada con productos químicos no tradicionales.

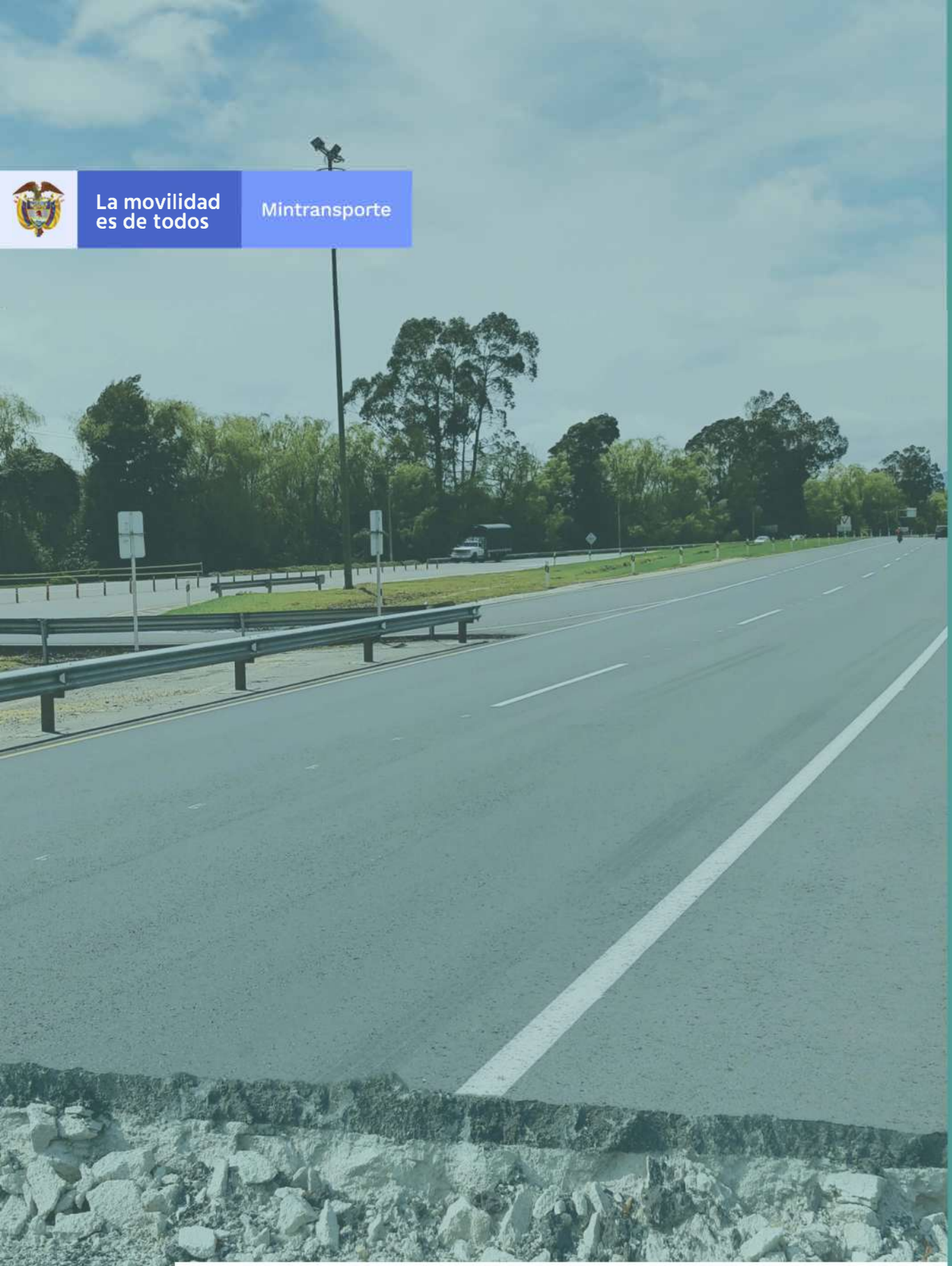
- Capa estabilizada con productos químicos no tradicionales (incluye el suministro del producto estabilizador) = Metro cúbico (m^3).

Opción 2: El precio unitario de capa estabilizada con productos químicos no tradicionales, no incluye el suministro del producto estabilizador.

- Capa estabilizada con productos químicos no tradicionales (no incluye el suministro del producto estabilizador) = Metro cúbico (m^3).

Ítem	Descripción	Unidad
237.1	Capa estabilizada con productos químicos no tradicionales (incluye el suministro del producto estabilizador)	Metro cúbico (m^3)

Ítem	Descripción	Unidad
237.2	Capa estabilizada con productos químicos no tradicionales (no incluye el suministro del producto estabilizador)	Metro cúbico (m^3)



La movilidad es de todos

Mintransporte

UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

INVIAS
INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

La movilidad es de todos

Mintransporte

CAPÍTULO 3

Especificaciones generales de construcción de carreteras 2022

UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

INVIAS
INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

3

Afirmados, subbases y bases

Disposiciones generales para la ejecución de afirmados, subbases, bases granulares y capas granulares estabilizadas

Artículo 300 – 22

300.1 Descripción

Esta especificación presenta las disposiciones generales para los trabajos sobre afirmados, subbases, bases granulares y capas granulares estabilizadas.

300.2 Materiales

300.2.1 Agregados pétreos

Los agregados naturales para la construcción de afirmados, subbases y bases deben estar clasificados. Los agregados también pueden provenir de la trituración de rocas y gravas, o pueden estar constituidos por una mezcla de productos de ambas procedencias, según se establece en el artículo correspondiente a cada partida de trabajo.

Las partículas de los agregados deben ser duras, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables y sin materia orgánica u otras sustancias perjudiciales.

Los requisitos de calidad, limpieza y grado de trituración que deben cumplir los diferentes materiales por emplear en la construcción de cada partida de trabajo, se indican en los artículos 311, Afirmado; 320, Subbase granular; 330, Base granular; 340, Base estabilizada con emulsión asfáltica; 341, Base estabilizada con una mezcla asfáltica natural; y 350, Materiales granulares tratados con cemento como capa estructural.

300.2.2 Estabilizantes

Los requisitos que deben cumplir los estabilizantes para la construcción de capas estabilizadas de base y subbase se indican en los artículos 340 y 350.

300.3 Equipo

El equipo que se utilice para la construcción de afirmados, subbases, bases granulares, bases estabilizadas u otra capa con tratamiento de estabilización, debe ser el adecuado para obtener la calidad especificada en los documentos del proyecto, en la cantidad suficiente para producir y colocar el volumen establecido en el programa de ejecución conforme el programa de utilización de maquinaria, y en cumplimiento de las exigencias de la presente especificación. La selección del equipo es responsabilidad del constructor. El equipo debe ser mantenido en óptimas condiciones de operación, durante el tiempo que se prolongue la obra y debe ser operado por personal capacitado. Si en la ejecución del trabajo y a criterio del interventor y por instrucción de

este, el equipo presenta deficiencias o no produce los resultados esperados, se debe suspender inmediatamente el trabajo en tanto que el constructor corrija las deficiencias, lo remplace o sustituya al operador. Los atrasos en el programa de ejecución, que se ocasionen por este motivo, son responsabilidad del constructor.

300.4 Ejecución de los trabajos

300.4.1 Explotación de materiales y elaboración de agregados

Se aplican las disposiciones generales establecidas en el numeral 105.13.3 del artículo 105, Desarrollo de los trabajos.

Las fuentes de materiales, así como los procedimientos y los equipos utilizados para la explotación de aquellas y para la elaboración de los agregados requeridos, deben tener aprobación previa del interventor, la cual no implica necesariamente la aceptación posterior de los agregados que el constructor suministre o elabore de tales fuentes, ni lo exime de la responsabilidad de cumplir con todos los requisitos de cada especificación.

Los procedimientos y los equipos de explotación, clasificación, trituración, lavado, mezcla de fracciones para obtener una determinada granulometría y el sistema de almacenamiento, deben garantizar el suministro de un producto de características uniformes. Si el constructor no cumple esos requisitos, el interventor debe exigir los cambios que considere necesarios.

Las tolvas para los agregados deben tener paredes resistentes y estancas, bocas de ancho suficiente para que su alimentación se efectúe correctamente, provistas de una rejilla que permita limitar el tamaño máximo, así como de un rebosadero que evite que un exceso de contenido afecte el funcionamiento del sistema de clasificación. Se deben disponer con una separación suficiente para evitar contaminación entre ellas y deben estar provistas, a su salida, de dispositivos ajustables de dosificación.

Cuando la obtención de la granulometría especificada requiera de la mezcla de dos o más fracciones de esta o de diferentes fuentes, esta mezcla se debe realizar en un patio de trabajo especialmente adecuado para ello y en ninguna circunstancia se debe permitir su mezclado en la vía.

Siempre que las condiciones lo permitan, los suelos orgánicos existentes en la capa superior de las canteras deben ser conservados para la posterior recuperación de las excavaciones y de la vegetación nativa. Al abandonar las canteras temporales, el constructor debe reconformar el terreno para recuperar sus características hidrológicas superficiales.

300.4.2 Fase de experimentación en la construcción de subbases, bases granulares y capas granulares estabilizadas

Antes de iniciar los trabajos, el constructor debe emprender una fase de experimentación para verificar el estado de los equipos y determinar, en secciones de ensayo, el método definitivo de preparación, transporte, colocación y compactación de los materiales, de manera que se cumplan los requisitos de cada especificación.

Para tal efecto, se deben construir una o varias secciones de ancho y longitud definidos, de acuerdo con el interventor y en ellas se deben probar el equipo y el plan de preparación, extensión y compactación. La longitud del tramo no debe ser menor a cien metros (100 m), salvo que los documentos del proyecto o el interventor especifiquen otra longitud.

El interventor debe tomar muestras de la capa construida y las debe ensayar para determinar su conformidad con las condiciones especificadas de granulometría, densidad seca y demás requisitos.

En el caso de que los ensayos indiquen que las subbases, las bases granulares y las capas granulares estabilizadas no se ajustan a dichas condiciones, el constructor debe efectuar inmediatamente las correcciones requeridas a los sistemas de preparación, extensión y compactación, hasta ser aprobados por el interventor. En el caso de capas estabilizadas se deben ajustar y corregir las fórmulas de trabajo hasta contar con la aprobación del interventor. Solo cuando estas correcciones se hayan hecho, se debe autorizar la construcción de la capa a escala industrial.

300.4.3 Acopio de los agregados

Los agregados se deben acopiar en cobertizos o cubriéndolos con plásticos, de manera que no sufran daños o transformaciones perjudiciales y se deben disponer sobre lonas de protección tendidas sobre el terreno. Para evitar la mezcla de agregados diferentes, estos se deben disponer suficientemente alejados entre sí por barreras colocadas con tal propósito. Se debe evitar la alteración de la granulometría de cada material debido a la mezcla con otros materiales, a la segregación de partículas o a otros fenómenos. Los últimos quince centímetros (15 cm) de cada acopio que se encuentren en contacto con la superficie natural del terreno no se deben utilizar, a menos que la superficie tenga pavimento asfáltico o rígido.

300.4.4 Muestreo y ensayos

El constructor debe permitir al interventor la toma de todas las muestras que exigen las presentes especificaciones, para verificar su conformidad con los requisitos señalados en estas.

Siempre que los ensayos den resultados no satisfactorios, el constructor debe ser el responsable de las consecuencias que se deriven de ello, y todas las correcciones o reparaciones a que haya lugar deben correr a su exclusivo cargo, sin que impliquen ningún costo para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS).

300.4.5 Transporte de materiales

Todo transporte de materiales sobre las vías públicas se debe realizar en vehículos aprobados para circular sobre las carreteras nacionales, los cuales deben cumplir la reglamentación vigente sobre pesos y dimensiones del Ministerio de Transporte, así como las normas sobre protección ambiental, expedidas por la entidad que tenga la jurisdicción respectiva.

Los vehículos deben estar equipados con dispositivos para depositar los materiales, de tal modo que no se produzca segregación, ni se cause daño o contaminación en la superficie existente. Además, deben contar con los medios necesarios para proteger los materiales de cambios en su contenido de agua.

Cualquier contaminación que se presente, debe ser subsanada por el constructor antes de continuar con el trabajo, sin cargo para INVÍAS.

En aquellos casos en que el transporte de materiales pueda perjudicar la obra en ejecución, el constructor debe construir los desvíos necesarios.

300.4.6 Plan de Manejo de Tránsito (PMT)

Para la ejecución de la obra, el constructor debe construir y conservar transitables, todo el tiempo requerido, las desviaciones necesarias para mantener el tránsito por fuera de la obra y facilitar su construcción o reparación, así como los caminos de acceso para comunicar los frentes de trabajo, los lugares para la obtención de los materiales destinados a su construcción y para permitir el movimiento de la maquinaria, los equipos y los vehículos necesarios para su realización.

Si los documentos del proyecto no incluyen un PMT óptimo para su ejecución o de sus partes, el constructor debe elaborar dicho plan, incluyendo la señalización, operarios de vía requeridos, adecuación de vías, conformación provisional de calzadas que se requieran y los dispositivos para protección que sean necesarios de conformidad con lo que establece el Manual de Señalización Vial del Ministerio de Transporte. Los diseños se deben hacer de forma tal que se mantengan condiciones favorables y seguras para los usuarios, y para dar paso a los vehículos de obra, atendiendo las características generales de manejo de tránsito para carreteras en operación, que hayan sido establecidas en las especificaciones de construcción. Se debe elaborar el PMT con anterioridad a la construcción de las desviaciones, y por cuenta y costo del constructor, quien debe someter dichos proyectos a la aprobación del interventor.

No se debe autorizar al constructor el inicio de la obra hasta que haya construido las desviaciones, instalado las señales y demás disposiciones del PMT, en la forma y las condiciones indicadas en los documentos del proyecto o proporcionadas por el interventor y aprobadas por este.

El constructor debe conservar y mantener en buen estado todos los desvíos y caminos de acceso, incluyendo la señalización, tratamiento paliativo del polvo cuando se considere necesario, según las disposiciones del artículo 312, Tratamiento paliativo del polvo en afirmados, y debe contar con los dispositivos para protección, de conformidad con lo que establece el Manual de Señalización Vial del Ministerio de Transporte, por su cuenta y costo, hasta que la obra le sea recibida por el interventor. En los casos de las desviaciones para carreteras en operación, el constructor está obligado a mantener la superficie de rodadura en buenas condiciones (limpia y sin baches ni deformaciones) y a renovar la señalización y los dispositivos para protección siempre que sea necesario, para garantizar la seguridad, continuidad y fluidez del tránsito.

300.4.7 Conservación

Toda capa de afirmado, subbase, base o capa estabilizada terminada debe ser conservada, a partir de la fecha de su terminación, en las condiciones en que la recibió el interventor, hasta cuando sea cubierta por la capa superior, aun cuando la superficie fuera liberada parcial o totalmente al tránsito público. El constructor es responsable

por toda alteración y debe reponer la capa en la condición en la cual le fue recibida, sin cargo adicional para INVÍAS, antes de que el interventor autorice la colocación de la capa superior.

300.4.8 Manejo ambiental

En adición a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las labores para la fabricación de capas granulares y estabilizadas se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en los estudios o evaluaciones ambientales del proyecto y las normas y disposiciones vigentes sobre la conservación del ambiente y los recursos naturales. Algunos de los cuidados relevantes en relación con la protección ambiental se describen a continuación, sin perjuicio de los que exijan los documentos de cada proyecto en particular o la legislación ambiental vigente:

- El interventor solo debe aceptar el uso de las fuentes de materiales, después de que el constructor presente la correspondiente licencia ambiental de explotación.
- Las instalaciones de trituración y clasificación de agregados no pueden estar localizadas en áreas de conservación ambiental.
- La explotación de las fuentes debe ser cuidadosamente planeada, de manera que se puedan minimizar los daños inevitables y posibilitar la recuperación ambiental una vez culminada la explotación.
- Se deben construir las piscinas de sedimentación que sean necesarias, con el fin de retener las partículas finas sobrantes y evitar su transporte hacia cursos o láminas de agua.
- Si la fuente es una cantera, no se debe permitir el desmonte mediante quema. Todo material de descapote debe ser cuidadosamente conservado para colocarlo de nuevo sobre el área explotada, reintegrándola al paisaje.
- Si los agregados son suministrados por terceros, el constructor debe entregar al interventor la documentación que certifique la legalidad de la explotación y el cumplimiento de las normas y disposiciones ambientales vigentes.
- Se debe evitar el tránsito desordenado de equipos de construcción, por fuera del área de los trabajos, con el fin de evitar perjuicios innecesarios a la flora y a la fauna, así como interferencias al drenaje natural.
- Los dispositivos de drenaje superficial y la pendiente transversal de la calzada deben ser mantenidos correctamente, durante la ejecución de los trabajos, con el fin de prevenir la erosión y arrastre excesivo de partículas sólidas.
- Siempre que se usen estabilizantes, su manejo y aplicación se debe realizar con las precauciones que exijan las autoridades ambientales, según el tipo de producto utilizado.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades deben estar incluidas en los costos del proyecto, por tanto, no deben ser objeto de reconocimiento directo en el contrato.

300.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

300.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y el funcionamiento de todo el equipo de construcción.
- Comprobar que los materiales cumplan con los requisitos de calidad exigidos en la respectiva especificación.
- Vigilar la regularidad en la producción de los agregados, de acuerdo con los programas de trabajo.
- Supervisar la correcta aplicación del método de trabajo aceptado como resultado de la fase de experimentación, en el caso de subbases, bases granulares y capas granulares estabilizadas.
- Ejecutar ensayos de compactación en el laboratorio.
- Verificar la densidad seca de las capas compactadas, efectuando la corrección previa por partículas de agregado grueso, siempre que ella sea necesaria. Este control se debe realizar en el espesor de capa realmente construido, de acuerdo con el proceso constructivo aplicado.
- Tomar medidas para determinar espesores y levantar perfiles, así como comprobar la uniformidad de la superficie.
- Velar por el cumplimiento de todas las disposiciones relacionadas con el manejo ambiental.

Para efectos de pago, el interventor debe medir las cantidades de obra ejecutadas, aprobadas por este.

300.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

Tanto las condiciones de recibo como las tolerancias para las obras ejecutadas se indican en los artículos correspondientes. Aquellas áreas donde los defectos de calidad y las irregularidades excedan las tolerancias deben ser corregidas por el constructor, sin costo adicional para INVÍAS, de acuerdo con las instrucciones del interventor y hasta contar con la aprobación de este.

300.5.3 Medidas de deflexión

Si los documentos del proyecto lo contemplan, o lo solicita el interventor, el constructor debe verificar la solidez de la estructura construida al nivel de afirmado, subbases, bases granulares y capas granulares estabilizadas, realizando medidas de deflexión con la viga Benkelman o el deflectómetro de impacto (FWD), de acuerdo con las normas de ensayo INV E-795 o INV E-798, respectivamente. Los resultados de las medidas no deben constituir un criterio para aceptación o rechazo de la capa construida de afirmado, subbases, bases granulares y capas granulares estabilizadas, pero deben permitir a INVÍAS verificar la homogeneidad de los procesos de construcción de la estructura y realizar los ajustes, que puedan resultar necesarios, al diseño estructural del pavimento.

300.6 Medida

Se debe efectuar aplicando los procedimientos y las unidades de medida que se indican a continuación, con las precisiones que se hacen en algunos de los artículos del presente capítulo. El resultado de la medida se debe informar con la aproximación establecida en la respectiva especificación, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

300.6.1 Construcción de afirmados, subbases granulares y bases granulares y estabilizadas

La unidad de medida debe ser el metro cúbico (m^3), aproximado a la décima (0,1), de material

o mezcla suministrado, colocado y compactado; aprobado por el interventor, de acuerdo con lo que exija la especificación respectiva. El volumen se debe determinar utilizando la longitud real medida a lo largo del eje de la vía y las secciones transversales establecidas en los documentos del proyecto, previa verificación de que su ancho y espesor se encuentren conformes con dichos documentos y dentro de las tolerancias permitidas en la respectiva especificación.

No se deben medir cantidades en exceso de las especificadas, especialmente cuando ellas se produzcan por sobreexcavaciones de la subrasante por parte del constructor.

300.6.2 Ejecución de bacheos con materiales granulares de subbase y base

La unidad de medida debe ser el metro cúbico (m^3), aproximado a la décima (0,1), de bacheo con material de subbase granular o base granular, según el caso, ejecutado; aprobado por el interventor, de acuerdo con lo exigido en la especificación respectiva. El volumen se debe determinar multiplicando la superficie donde el interventor haya autorizado el trabajo, por el espesor compactado promedio en que se haya colocado el material, de acuerdo con la especificación respectiva.

300.7 Forma de pago

El pago por la construcción de afirmados, subbases granulares, bases granulares y capas granulares estabilizadas, y bacheos con materiales granulares de subbase y base, se debe hacer por metro cúbico (m^3) al respectivo precio unitario del contrato, por toda obra ejecutada, de acuerdo con este artículo como con la especificación respectiva, y aprobada por el interventor.

El precio unitario debe cubrir todos los costos de adquisición, obtención de permisos y derechos de explotación o alquiler de fuentes de materiales y canteras; obtención de permisos ambientales para la explotación de los suelos y agregados; las instalaciones provisionales; los costos de arreglo o construcción de las vías de acceso a las fuentes y canteras; los costos de los desvíos que se requieran construir durante la ejecución de las obras; la preparación de las zonas por explotar, así como todos los costos de explotación, selección, trituración, eventual lavado, transportes, almacenamiento, clasificación, desperdicios, cargues, descargues, mezcla, colocación, nivelación y compactación de los materiales utilizados, y los de extracción, bombeo, transporte y distribución del agua requerida.

Además, debe incluir los costos de la fase de experimentación cuando ella se encuentre incluida dentro de la respectiva especificación; de todos los ensayos de campo y de laboratorio que estén a cargo del constructor, incluyendo las medidas de deflexión a las que hace referencia el numeral 300.5.3, así como de la señalización preventiva de la vía y del control del tránsito automotor durante la ejecución de los trabajos, los de la conservación de la capa terminada y, en general, todo costo relacionado con la correcta construcción de la capa respectiva.

El precio unitario debe incluir, también, los costos de adecuación paisajística de las fuentes para recuperar las características hidrológicas al terminar su explotación y demás requisitos establecidos en el artículo 106.

En el caso de la construcción de subbases y bases estabilizadas con materiales provenientes de la misma vía, el precio unitario debe incluir su escarificación en el espesor requerido y su posterior disgregación hasta cumplir las exigencias de la respectiva especificación. Tanto si los materiales provienen de la misma vía como si son transportados, el precio unitario debe incluir, también, el suministro en el sitio del agua que se pueda requerir, la aplicación y la mezcla del producto estabilizante; así como el suministro, almacenamiento, desperdicios, cargues, transporte, descargues y aplicación del producto requerido para el curado de la capa compactada, según lo exija la respectiva especificación y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución de los trabajos especificados.

En los artículos correspondientes, se debe definir si se excluye del precio unitario de las subbases y bases estabilizadas, o cualquier otra capa con tratamiento de estabilización, el suministro en el sitio del producto estabilizante. Si el artículo correspondiente indica que uno o varios aspectos se excluyen del precio unitario, se deben aplicar las condiciones dadas en el mismo artículo. Si este no se excluye explícitamente, el precio unitario de la construcción de subbases y bases estabilizadas debe incluir el suministro, almacenamiento y transporte de este.

El constructor debe considerar, en relación con los explosivos que requiera, todos los costos que implica su adquisición, incluidos los accesorios requeridos para su empleo, transporte, escoltas, almacenamiento, vigilancia, manejo y control, hasta el sitio y el instante de su utilización. También, en todos los casos, el precio unitario debe incluir el costo de la operación de voladura.

La preparación de la superficie existente se considera incluida en el ítem referente a la ejecución de la capa a la cual corresponde dicha superficie y, por tanto, no debe haber lugar a pago separado por este concepto, salvo que dicho ítem no forme parte del mismo contrato, caso en el cual el constructor debe considerar el costo de la preparación de la superficie existente dentro del ítem objeto del pago.

El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

Conformación de la calzada existente

Artículo 310 – 22

310.1 Descripción

Este trabajo consiste en la escarificación, la conformación, la renivelación y la compactación del afirmado existente, con o sin adición de material de afirmado o de subbase granular; así como la conformación o reconstrucción de cunetas.

310.2 Materiales

Se deben aprovechar los materiales del afirmado existente que cumplan los requisitos de calidad estipulados en el artículo 311, Afirmado, y en el artículo 320, Subbase granular.

En el caso de que sea necesaria la adición de nuevo material, este debe cumplir los requisitos de calidad señalados en el artículo 311 o en el artículo 320, según los alcances del proyecto.

310.3 Equipo

Rige lo indicado en el numeral 300.3 del artículo 300. Normalmente, el equipo requerido para la conformación de la calzada incluye elementos para la explotación de materiales, eventualmente una planta de trituración, unidad clasificadora, equipos para mezclado, cargue, transporte, extensión, humedecimiento y compactación del material, así como herramientas menores.

310.4 Ejecución de los trabajos

310.4.1 Explotación de materiales y elaboración de agregados

Rige lo indicado en el numeral 300.4.1 del artículo 300.

310.4.2 Mejoramiento del afirmado

Los materiales existentes que no cumplan los requisitos de calidad establecidos en los artículos 311 o 320, según corresponda, se deben escarificar en el espesor ordenado por el interventor. Así mismo, estos materiales se deben retirar, transportar, depositar y conformar en los sitios destinados para disposición de sobrantes o desechos, de acuerdo con estas especificaciones o lo dispuesto por el interventor.

Cuando el material del afirmado existente cumpla los requisitos de calidad establecidos en los artículos 311 o 320, según corresponda, se debe escarificar, conformar, humedecer o secar y compactar, de acuerdo con lo especificado en esos artículos, ya sea con o sin adición de material. La escarificación del afirmado existente se debe realizar necesariamente cuando no se requiera adicionar material o cuando el espesor de la capa compacta de material por adicionar sea inferior a diez centímetros (10 cm).

Para el caso de capas adicionales con espesores compactados iguales o superiores a diez centímetros (10 cm), la escarificación solo se debe realizar cuando haya necesidad de efectuar el reemplazo de material de afirmado existente que no cumpla los requisitos de calidad establecidos en los artículos 311 o 320, según corresponda, salvo que, por circunstancias especiales, el interventor determine lo contrario.

El material por utilizar en la adición o en el reemplazo de material inadecuado, debe cumplir lo especificado en los artículos 311 o 320, según lo indiquen los documentos del proyecto.

En el mejoramiento del afirmado no deben aparecer depresiones ni angostamientos que afecten la superficie de rodadura contemplada en el alineamiento y en las secciones típicas del proyecto.

Una vez conformada la calzada existente, el constructor debe conservarla con la planicidad y el perfil correcto, hasta que proceda a la construcción de la capa superior. Cualquier deterioro que se produzca por causa diferente a fuerza mayor debe ser corregido por el constructor sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), hasta contar con la aprobación del interventor.

310.4.3 Cunetas y ensanches

La conformación o la reconstrucción de cunetas, así como la construcción de ensanches menores, se debe hacer de acuerdo con las secciones, las pendientes transversales y las cotas indicadas en los documentos del proyecto y con lo especificado en los artículos correspondientes a excavaciones y terraplenes.

Los procedimientos requeridos para cumplir con la presente especificación deben incluir la excavación, el cargue, el transporte y la disposición de los materiales no utilizables y la conformación de los materiales que sean utilizables, para obtener la sección típica proyectada.

El mejoramiento de cunetas y los ensanches deben avanzar coordinadamente con la construcción de las demás obras del proyecto.

310.4.4 Manejo ambiental

Rige lo indicado en el numeral 300.4.8 del artículo 300.

310.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

310.5.1 Controles

Rige todo lo que resulte pertinente del numeral 300.5.1 del artículo 300.

310.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

Los trabajos de conformación de la calzada se deben ajustar a los documentos del proyecto y las instrucciones del interventor. Su pendiente transversal debe ser la especificada en el numeral 311.4.5 del artículo 311.

Las cunetas deben quedar funcionando adecuadamente y libres de todo material de desecho.

En los casos en que se requiera adición de material, la verificación de su calidad se debe efectuar de acuerdo con lo establecido en el artículo 311 o en el artículo 320, según se haya incorporado material de afirmado o de subbase granular, respectivamente.

El control de compactación se debe ajustar a lo establecido en el numeral 311.5.2.2.2 del artículo 311.

El trabajo se debe considerar terminado cuando el interventor verifique y acepte que el constructor se ha ceñido a lo establecido en los documentos del proyecto y a lo ordenado por este.

310.6 Medida

La unidad de medida para la conformación de la calzada debe ser el metro cuadrado (m^2), aproximado a la décima (0,1), de trabajo realizado de acuerdo con esta especificación y aprobado por el interventor en el área definida en los documentos del proyecto.

El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

No se debe medir, para efectos de pago, ningún área por fuera de los límites indicados en los documentos del proyecto.

310.7 Forma de pago

El pago se debe hacer al respectivo precio unitario del contrato por toda área de calzada conformada, aprobada por el interventor.

El precio unitario debe cubrir todos los costos de excavación de cunetas y ensanches menores en corte, hasta un máximo de cincuenta metros cúbicos (50 m^3) entre estaciones de cincuenta metros (50 m) del abscisado del proyecto, excavados a un solo lado de la vía; el cargue, el transporte de los materiales excavados hasta los sitios de utilización y/o disposición; la escarificación, el cargue, el transporte y el desecho en sitios aprobados de los materiales inadecuados de la calzada existente; la escarificación, la conformación, el humedecimiento o el secado y la compactación de los materiales apropiados de la calzada existente, de acuerdo con las secciones típicas del proyecto, con o sin adición de material.

El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

Debe haber pago por separado de las excavaciones de volumen superior al señalado en el segundo párrafo de este numeral, las cuales se deben reconocer de acuerdo con el artículo 210, Excavación de la explanación, canales y préstamos. También, debe haber pago por el suministro, el transporte y la colocación de los materiales requeridos de afirmado y subbase granular, los cuales se deben reconocer de acuerdo con los artículos 311, Afirmado; y 320, Subbase granular.

310.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
310.1	Conformación de la calzada existente	Metro cuadrado (m^2)

Afirmado

Artículo 311 – 22

311.1 Descripción

Este trabajo consiste en el suministro, el transporte, la colocación y la compactación de los materiales de afirmado sobre la subrasante terminada, o sobre un afirmado existente, de acuerdo con la presente especificación, los alineamientos, las pendientes y las dimensiones indicados en los documentos del proyecto.

311.2 Materiales

Los agregados para la construcción del afirmado deben satisfacer los requisitos de calidad indicados en la Tabla 311 — 1. Además, se deben ajustar a alguna de las franjas granulométricas que se muestran en la Tabla 311 — 2 y deben cumplir las relaciones establecidas en la Tabla 311 — 3.

Tabla 311 — 1. Requisitos de los agregados para afirmados

Característica	Norma de ensayo INV	Requisito
Dureza (O)		
Desgaste en la máquina de Los Ángeles a quinientas (500) revoluciones (Granulometría A), máximo (%): - NT1 - NT2 - NT3	E-218	 50 30 30
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%). (Nota): - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	E-220	 12 18
Limpieza (F)		
Límite líquido, máximo (%).	E-125	35
Índice de Plasticidad (%).	E-125 y E-126	4 – 9
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%).	E-211	2
Contracción lineal.	E-127/E-129	Tabla 311 — 3

Característica	Norma de ensayo INV	Requisito
Resistencia del material (F)		
CBR (%): porcentaje asociado al grado de compactación mínimo especificado (numeral 311.5.2.2.2); el CBR se debe medir sobre muestras sometidas previamente a cuatro días (4 d) de inmersión.	E-148	≥ 15

Nota: la norma de ensayo INV E-220 permite el uso tanto de sulfato de sodio como de sulfato de magnesio, por lo que se admite el uso de cualquiera de los dos componentes químicos.

Tabla 311 — 2. Franjas granulométricas del material de afirmado

Tipo de gradación	Tamiz (mm / U.S. *Standard*)							
	37,5	25,0	19,0	9,5	4,75	2,00	0,425	0,075
	1 ½ Pulgadas	1 Pulgada	3/4 Pulgada	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 10	Nro. 40	Nro. 200
	Pasa tamiz (%)							
A-38	100	-	80 — 100	60 — 85	40 — 65	30 — 50	13 — 30	9 — 18
A-25	-	100	90 — 100	65 — 90	45 — 70	35 — 55	15 — 35	10 — 20
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	0 %	7 %			6 %			3 %

Tabla 311 — 3. Relaciones que debe cumplir el material de afirmado

Relación	Requisito
$\frac{\%\ pasa\ tamiz\ nro.200}{\%\ pasa\ tamiz\ No.10}$	0,20 – 0,45
$\frac{\%\ pasa\ tamiz\ nro.200}{\%\ pasa\ tamiz\ No.\ 40}$	≤ 2/3
{(% pasa tamiz de 1 pulgada) - (% pasa tamiz nro. 10)} × {% pasa tamiz nro. 4}	16 – 34
(% de contracción lineal) × (% pasa tamiz nro. 40)	100 – 240

Para prevenir segregaciones y garantizar los niveles de compactación y resistencia exigidos por la presente especificación, el material que produzca el constructor debe dar lugar a una curva granulométrica uniforme y sensiblemente paralela a los límites de la franja, sin saltos bruscos de la parte superior de un tamiz a la inferior de otro adyacente y viceversa.

Dentro de la franja elegida, el constructor debe proponer al interventor una fórmula de trabajo a la cual se debe ajustar durante la construcción de la capa, con las tolerancias

que se indican en la Tabla 311 — 2, pero sin permitir que la curva se salga de la franja adoptada o que se incumpla alguna de las relaciones establecidas en la Tabla 311 — 3. Una vez elegida la franja granulométrica, esta no puede ser cambiada por otra sin previa autorización del interventor.

El tamaño máximo nominal no debe exceder de un tercio (1/3) del espesor de la capa compactada.

311.3 Equipo

Al respecto, rigen las condiciones generales que se indican en el numeral 300.3 del artículo 300. En la construcción del afirmado, se requieren equipos para la explotación de los materiales, eventualmente una planta de trituración, una unidad clasificadora y, de ser necesario, un equipo de lavado y herramientas menores. Además, equipos para humedecimiento y mezclado, que deben ser capaces de asegurar la completa homogeneización de los componentes dentro de las tolerancias fijadas. Los equipos de cargue y transporte deben contar con superficies lisas y limpias, y disponer de lonas o cobertores adecuados para proteger el material durante su transporte.

Para la extensión del material, cuando la obra tenga una superficie por pavimentar superior a los setenta mil metros cuadrados (> 70 000 m^2), se recomienda utilizar extendedoras automotrices, que deben estar dotadas de sistemas automáticos de nivelación y de los dispositivos necesarios para la puesta en obra de la capa de afirmado, con la configuración deseada y para proporcionarle un mínimo de compactación. No obstante, la selección del equipo para la extensión debe ser responsabilidad del constructor con la aprobación del interventor y se debe validar durante su operación.

311.4 Ejecución de los trabajos

311.4.1 Explotación de materiales y elaboración de agregados

Rige lo indicado en el numeral 300.4.1 del artículo 300.

311.4.2 Preparación de la superficie existente

El material de afirmado no se debe descargar hasta que se compruebe que la superficie sobre la cual se va a apoyar tiene la densidad apropiada y las cotas indicadas en los documentos del proyecto. Se debe comprobar la regularidad, la capacidad de soporte y el estado de la superficie existente. Todas las irregularidades que excedan las tolerancias admitidas en la especificación respectiva deben ser corregidas, de acuerdo con lo establecido en ella.

311.4.3 Transporte y almacenamiento del material

El transporte y el almacenamiento de materiales para afirmado deben cumplir lo establecido en los numerales 300.4.5 y 300.4.3 del artículo 300, respectivamente.

311.4.4 Colocación del material

La colocación del material sobre la capa subyacente se debe hacer en una longitud que no sobrepase mil quinientos metros (1 500 m) de las operaciones de extensión, conformación y compactación del material.

311.4.5 Extensión, acondicionamiento y conformación del material

El material se debe disponer en un cordón de sección uniforme, donde se debe verificar su homogeneidad. En caso de que sea necesario humedecer o airear el material para lograr el contenido de agua de compactación, el constructor debe emplear el equipo adecuado y aprobado, de manera que no perjudique la capa subyacente y deje un contenido de agua uniforme en el material. Después de humedecido o aireado, este material se debe extender en una capa uniforme que permita obtener el espesor y grado de compactación exigidos.

A menos que, en los documentos del proyecto figure algo diferente, el material de afirmado debe ser distribuido en una sola capa y en todo el ancho de la corona (calzada más bermas) de tal manera que, al extenderse, la capa resulte de espesor uniforme, con una pendiente transversal entre tres y cuatro por ciento (3% – 4 %), para facilitar el escurrimiento de las aguas superficiales.

En todo caso, la cantidad de material extendido debe ser tal, que el espesor de la capa compactada no resulte inferior a ciento veinte milímetros (120 mm) ni superior a trescientos milímetros (300 mm). Si el espesor del afirmado compactado, por construir, es superior a trescientos milímetros (300 mm), el material se debe colocar en dos o más capas, procurándose que el espesor de ellas sea sensiblemente igual y nunca inferior a ciento veinte milímetros (120 mm). El material extendido debe mostrar una distribución granulométrica uniforme, sin segregaciones evidentes. El interventor no debe permitir la colocación de la capa siguiente, antes de verificar y aprobar la compactación de la precedente. A menos que el interventor apruebe algún procedimiento alternativo, la capa ya compactada se debe escarificar superficialmente con el propósito de ligarla con la siguiente.

311.4.6 Compactación

Una vez que el material tenga el contenido de agua apropiado, necesario para asegurar la densidad de diseño requerida y esté conformado debidamente, se debe compactar con el equipo aprobado, hasta lograr la densidad seca especificada. Aquellas zonas que, por su reducida extensión, su pendiente o su proximidad a obras de arte no permitan el uso del equipo que normalmente se utiliza, se deben compactar con los medios adecuados para el caso, en forma tal que las densidades secas que se alcancen no sean inferiores a las obtenidas en el resto de la capa.

La compactación se debe efectuar longitudinalmente, comenzando por los bordes exteriores y avanzando hacia el centro, traslapando en cada recorrido una longitud no menor de la mitad del ancho del rodillo compactador. En las zonas peraltadas, la compactación se debe hacer del borde inferior al superior. La última capa extendida debe garantizar una superficie lisa y apropiada para la conformación de las capas superiores.

311.4.7 Apertura al tránsito

Sobre las capas en ejecución se debe prohibir la acción de todo tipo de tránsito, mientras no se haya completado la compactación. Si ello no fuere posible, el tránsito que necesariamente tenga que pasar sobre ellas se debe distribuir en forma tal que no se concentren

ahuellamientos en la superficie. El constructor debe responder por los daños originados por esa causa y debe repararlos, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), de acuerdo con las instrucciones del interventor.

311.4.8 Limitaciones en la ejecución

No se debe permitir la extensión de una capa de material de afirmado en momentos en que haya lluvia o fundado temor que ella ocurra, ni cuando la temperatura ambiente sea inferior a dos grados Celsius (2 °C). Una vez haya cesado la lluvia y se decida realizar los trabajos de construcción, se deben asegurar las condiciones de compactación y contenido de agua en las capas de materiales existentes, sin permitir trabajos en lugares donde existan empozamientos de agua.

Los trabajos de construcción de afirmados se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que sea aprobado por este. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

311.4.9 Manejo ambiental

Rige lo indicado en el numeral 300.4.8 del artículo 300.

311.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

311.5.1 Controles

Rige lo indicado en el numeral 300.5.1 del artículo 300.

311.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

Los retrasos en el cronograma debidos a las deficiencias o al reemplazo de materiales, así como los costos asociados a estas circunstancias, son responsabilidad del constructor.

311.5.2.1 Calidad de los agregados

311.5.2.1.1 Control de procedencia

De cada fuente de agregados y para cualquier volumen previsto de material de un mismo tipo, se deben tomar cuatro (4) muestras representativas para realizar los ensayos especificados en la Tabla 311 — 1. Los resultados deben satisfacer las exigencias indicadas en dicha tabla, de lo contrario se deben rechazar los materiales deficientes.

Estos ensayos se deben repetir durante el suministro siempre que se produzca un cambio de procedencia, y no se puede utilizar el material hasta contar con los resultados de ensayo y la aprobación del interventor.

311.5.2.1.2 Control de producción

Durante la etapa de producción, se deben examinar las descargas a los acopios y se debe ordenar el retiro de los agregados que, a simple vista, contengan tierra vegetal, presenten

restos de materia orgánica, o tamaños superiores al máximo especificado.

Al material ya colocado en la vía se le deben realizar controles con la frecuencia que se indica en la Tabla 311 — 4.

Tabla 311 — 4. Verificaciones periódicas de la calidad del material de afirmado

Característica	Norma de ensayo INV	Frecuencia
Granulometría	E-213	Una (1) vez por jornada
Límite líquido	E-125	Una (1) vez por jornada
Índice de Plasticidad	E-125 y E-126	Una (1) vez por jornada
Desgaste en la máquina de Los Ángeles	E-218	Una (1) vez por semana
Contracción lineal	E-127	Una (1) vez por semana
Ensayo modificado de compactación	E-142	Una (1) vez por semana
CBR de laboratorio	E-148	Una (1) vez por semana

Cuando el interventor considere que, las características del material que se está explotando en una fuente han cambiado, se deben repetir todos los ensayos especificados en la Tabla 311 — 1 y adoptar los correctivos que sean necesarios.

En ningún caso se debe permitir el empleo de materiales que no satisfagan los requisitos establecidos en el numeral 311.2. En la eventualidad de que alguna prueba dé lugar a un resultado no satisfactorio, se deben tomar dos muestras adicionales del material y se debe repetir la prueba. Los resultados de ambos ensayos deben ser satisfactorios o, de lo contrario, el interventor no debe autorizar la utilización de este material.

311.5.2.2 Calidad del producto terminado

311.5.2.2.1 Terminado

La capa terminada debe presentar una superficie uniforme y ajustarse a las rasantes y las pendientes establecidas en los documentos del proyecto. La distancia entre el eje del proyecto y el borde de la berma no debe ser inferior a la señalada en dichos documentos. No se debe tolerar, en las obras concluidas, ninguna irregularidad que impida el normal escurrimiento de las aguas.

Además, se deben realizar las siguientes comprobaciones.

311.5.2.2.2 Compactación

Para efectos del control, se define como lote, que se acepta o rechaza en conjunto, el menor volumen que resulte de aplicar los siguientes criterios:

- Quinientos metros (500 m) de capa compactada en el ancho total del afirmado.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m^2) de afirmado compactado.
- La obra ejecutada en una jornada de trabajo.
- La obra ejecutada con el mismo material, de la misma procedencia y con el mismo equipo y procedimiento de trabajo.

Los sitios para determinar la densidad de la capa se deben elegir al azar, según la norma de ensayo INV E-730, pero de manera que se realice al menos una (1) prueba por hectómetro. Se deben efectuar, como mínimo, cinco (5) ensayos por lote.

Para el control de la compactación de una capa de afirmado, se debe calcular su grado de compactación a partir de los resultados de los ensayos de densidad en el terreno y del ensayo de relaciones contenido de agua-peso unitario (ensayo modificado de compactación), mediante la expresión que resulte aplicable entre las siguientes:

- Material sin sobretamaños:

$$GC_i = \frac{\gamma_{d,i}}{\gamma_{d,máx}} * 100 \quad [311.1]$$

- Material con sobretamaños:

$$GC_i = \frac{\gamma_{d,i}}{C\gamma_{d,máx}} * 100 \quad [311.2]$$

Donde:

GC_i, valor individual del grado de compactación, en porcentaje.

$\gamma_{d,i}$, valor individual del peso unitario seco del material en el terreno, determinado por cualquier método aplicable de los descritos en las normas de ensayo INV E- 161, E-162 y E-164, sin efectuar la corrección por presencia de sobretamaños de manera que corresponda a la muestra total.

$\gamma_{d,máx}$, valor del peso unitario seco máximo del material, obtenido según la norma de ensayo INV E-142 (ensayo modificado de compactación) sobre una muestra representativa del mismo.

$C\gamma_{d,máx}$, valor del peso unitario seco máximo del material, obtenido según la norma de ensayo INV E-142 sobre una muestra representativa del mismo, y corregido por sobretamaños, según la norma de ensayo INV E-143, numeral 3.1, de manera que corresponda a la muestra total.

Sobretamaños (fracción gruesa) (P_{FG}), porción de la muestra total retenida en el tamiz de control correspondiente al método utilizado para realizar el ensayo de compactación (norma INV E-142).

El peso unitario seco máximo corregido del material ($C\gamma_{d,máx}$) que se use para calcular el grado de compactación individual (GC_i) se debe obtener, para cada sitio, a partir del contenido de sobretamaños (P_{FG}) presente en ese sitio.

Para la aceptación del lote se deben aplicar los siguientes criterios:

GC_l (90) ≥ 95,0 % *se acepta el lote* [311.3]

GC_l (90) < 95,0 % *se rechaza el lote* [311.4]

Donde:

GC_l (90), límite inferior del intervalo de confianza en el que, con una probabilidad de noventa por ciento (90 %), se encuentra el valor promedio del grado de compactación del lote, en porcentaje; se calcula según el numeral 107.3.1.3 del artículo 107, Control y aceptación de los trabajos, a partir de los

valores individuales del grado de compactación (GC_i).

Las verificaciones de compactación se deben efectuar en todo el espesor de la capa que se está controlando.

Los lotes que no alcancen las condiciones mínimas de compactación se deben escarificar, homogenizar, llevar al contenido de agua adecuado y compactar nuevamente hasta obtener el valor de densidad seca especificado.

311.5.2.2.3 Espesor

Sobre la base de los sitios escogidos para el control de la compactación, el interventor debe determinar el espesor medio de la capa compactada (e_m), el cual no puede ser inferior al espesor de diseño (e_d).

$$e_m \geq e_d \quad [311.5]$$

Además, el espesor obtenido en cada determinación individual (e_i) debe ser, cuando menos, igual al noventa por ciento (90 %) del espesor de diseño (e_d), admitiéndose solo un (1) valor por debajo de dicho límite, siempre y cuando este valor sea igual o mayor al ochenta y cinco por ciento (85 %) del espesor de diseño.

$$e_i \geq 0{,}90 * e_d \quad [311.6]$$

Si uno o más de estos requisitos se incumplen, el constructor debe escarificar la capa en un espesor mínimo de cien milímetros (100 mm), añadir el material necesario de las mismas características, compactar nuevamente y terminar la capa conforme lo exige el presente artículo.

311.5.2.2.4 Rasante y anchura

La rasante de la superficie terminada no debe superar a la teórica en ningún punto. Cuando no se cumpla por exceso, esta se debe corregir por cuenta del constructor, sin que ello suponga una reducción del espesor de la capa por debajo del valor especificado en los documentos del proyecto.

En perfiles transversales cada veinte metros (20 m), se debe comprobar la anchura de la capa extendida, que en ningún caso debe ser inferior a la establecida en los documentos del proyecto.

311.6 Medida

El afirmado se debe medir según lo descrito en el numeral 300.6.1 del artículo 300. En todos los casos, la medición de volúmenes de material colocado se debe hacer al metro cúbico (m^3), aproximado a la décima (0,1).

311.7 Forma de pago

El afirmado se debe pagar según lo que sea aplicable del numeral 300.7 del artículo 300.

311.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
311.1	Afirmado	Metro cúbico (m^3)

Tratamiento paliativo del polvo en afirmados

Artículo 312 – 22

312.1 Descripción

Este trabajo consiste en la preparación de una superficie granular de rodadura, la eventual adición y mezcla de nuevos materiales granulares, el suministro en el lugar y la aplicación de un producto apropiado para aliviar las molestias causadas por el tránsito automotor y la posterior compactación de la capa tratada, de conformidad con lo establecido en esta especificación y las indicaciones del interventor.

312.2 Materiales

312.2.1 Cloruro de calcio

El producto por utilizar para el tratamiento paliativo de polvo debe ser cloruro de calcio en forma sólida o líquida, que cumpla los requisitos establecidos en la especificación ASTM D98. Los documentos del proyecto deben precisar el tipo de cloruro por utilizar.

312.2.1.1 Forma sólida

En su forma sólida, el cloruro se puede emplear en forma de hojuelas (*flakes*), con una concentración no menor de setenta y siete por ciento (77 %) de cloruro de calcio puro, o en forma de esferas (*pellets*), con una concentración no menor de noventa y cuatro por ciento (94 %) de cloruro de calcio puro. En el primer caso, el producto se debe ajustar al Grado N1 – Clase A de la especificación ASTM D98 y en el segundo, al Grado N3 – Clase B de la misma especificación.

312.2.1.2 Forma líquida

Consiste en una solución acuosa del cloruro, con una concentración de cuando menos treinta y dos por ciento (32 %) y gravedad específica no menor de uno coma treinta (1,30), medida esta última de acuerdo con la norma ASTM D1475.

312.2.2 Agua

El agua, para el humedecimiento previo de la superficie por tratar, debe estar libre de cualquier contaminante que afecte el comportamiento del material en servicio o el ambiente. Puede ser agua potable. Si no lo es, debe cumplir los requisitos que se indican en la Tabla 312 — 1.

Tabla 312 — 1. Requisitos del agua no potable para tratamiento paliativo de polvo en afirmados

Característica	Norma de ensayo ASTM	Requisito
pH	D1293	5,5 – 8,0
Contenido de sulfatos, expresado como $SO_4^=$, máximo (kg/m^3)	D516	1,0

312.2.3 Otros paliativos de polvo

El empleo de otro producto para el control de polvo en afirmados, diferente del cloruro de calcio, requiere la elaboración de una especificación particular.

312.3 Equipo

El constructor debe proponer, para consideración del interventor, los equipos más apropiados para las operaciones por realizar, los cuales no deben producir daños o menoscabos innecesarios en vecindades o en la zona de los trabajos, y deben garantizar el avance físico según el programa de trabajo y el cumplimiento de las exigencias de este artículo.

Para la ejecución de los trabajos especificados se requiere un equipo para la aplicación del producto sobre la superficie, el cual debe consistir en un carrotanque con dispositivos de aplicación a presión, si el cloruro se va a aplicar en forma líquida, o en un esparcidor de gravilla o agrícola para aplicaciones en forma sólida. Dicho equipo se debe encontrar en óptimas condiciones de funcionamiento y debidamente calibrado, de manera que aplique el producto en forma uniforme a lo largo y ancho de la superficie por tratar.

Además, se requiere una motoniveladora con escarificador, un carrotanque irrigador de agua, compactador neumático y herramientas menores.

Los recipientes para el transporte del cloruro en forma sólida deben ser herméticos, y cuando se transporte en forma líquida se debe emplear carrotanques calibrados. En todos los casos, los vehículos de transporte deben cumplir las reglamentaciones vigentes sobre tránsito y conservación del ambiente expedidas por las autoridades competentes.

El cloruro de calcio en forma sólida se puede almacenar en bodegas, tolvas, silos o apilado. El tipo de almacenamiento depende de la cantidad de producto por almacenar y de la duración del almacenamiento. Para que este sea seguro, se deben cumplir tres requisitos:

- Que el material se mantenga seco, en un ambiente protegido de la humedad.
- Que el sistema de drenaje se encuentre suficientemente alejado del área de almacenamiento, para prevenir cualquier contaminación de láminas y cursos de agua por arrastre de partículas.
- Que la superficie de la zona de almacenamiento sea pavimentada.

Cuando el cloruro se almacene en bodegas, sus pisos, paredes y techos deben ser tan herméticos como resulte posible, para prevenir el acceso de humedad al producto. Si se emplean tolvas y silos, ellos pueden ser de acero al carbono, y es de máxima importancia la exclusión de la humedad para prevenir la corrosión. Si el producto se almacena en pilas, estas se deben cubrir de manera permanente con láminas de polietileno aseguradas de manera firme, para evitar que sean levantadas por el viento. Siempre que se emplee un almacenamiento elevado para descarga del producto por gravedad, esta se debe realizar en un ángulo de cuarenta y cinco grados (45°) con la horizontal cuando se trate de hojuelas, y de treinta y cinco grados (35°) cuando se trate de esferas.

312.4 Ejecución de los trabajos

312.4.1 Fase de experimentación

Antes de iniciar los trabajos a escala industrial, el constructor debe emprender una fase de experimentación para verificar el estado y el rendimiento de los equipos y determinar, en secciones de ensayo, la dosificación del producto y los métodos definitivos de trabajo.

Para tal efecto, el constructor debe tomar una sección de unos cien metros (100 m) de longitud, cuya superficie se debe preparar como se indica en el numeral 312.4.2, y sobre ella se debe aplicar el producto con una dosificación preliminar establecida en acuerdo con el interventor, dependiendo de la granulometría y la plasticidad del afirmado por proteger y de la duración prevista para el tratamiento. Su compactación se debe realizar como se indica en el numeral 312.4.4.

Si el resultado de esta primera sección de ensayo no es satisfactorio, se debe preparar otra u otras, realizando las modificaciones pertinentes, según las causas que se establezcan como determinantes de la falla de la primera sección y las subsiguientes, hasta encontrar las condiciones de trabajo satisfactorias y aprobadas por el interventor.

Siempre que una sección de prueba resulte inadecuada, el material se debe escarificar, remover, transportar y depositar en un sitio aprobado, sin que ello genere ningún costo para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS).

La cantidad de cloruro por aplicar debe ser la mínima necesaria para obtener el éxito en el tratamiento, pero nunca puede exceder de cero coma ocho kilogramos por metro cuadrado (0,8 kg/m^2) de cloruro puro. Si las pruebas determinan la necesidad de utilizar una cantidad mayor, no se debe permitir la ejecución del tratamiento con este producto.

312.4.2 Preparación de la superficie existente

Para que el tratamiento sea eficiente, el material por tratar debe satisfacer los requisitos de calidad y granulometría establecidos en el artículo 311, Afirmado. Si se presentan deficiencias en este aspecto, se debe adicionar y mezclar un material granular que las corrija, compactando a continuación dicha mezcla a los niveles exigidos en el mismo artículo.

El afirmado existente, corregido si ha sido necesario según se describe en el párrafo anterior, se debe perfilar en todo el ancho de la corona de la vía, de manera que la superficie presente un bombeo constante, preferiblemente de cuatro por ciento (4 %).

Luego, se debe escarificar en un espesor comprendido entre veinticinco y cincuenta milímetros (25 mm – 50 mm), el cual debe permanecer suelto durante el tratamiento, con el fin de que el cloruro penetre rápida y uniformemente dentro del material granular. Por ningún motivo se debe compactar el afirmado antes de aplicar el producto.

La superficie por tratar no se puede encontrar seca antes de la aplicación del cloruro. Por tanto, se debe incorporar una cantidad de agua que sea suficiente para facilitar la penetración del producto en el afirmado, pero no excesiva al punto de que pueda causar escurrimientos sobre la superficie de la vía.

312.4.3 Aplicación del producto

El producto se puede aplicar en forma líquida y a presión por medio de un carrotanque, o en forma de hojuelas o esferas con el apoyo de un esparcidor. La velocidad de operación del equipo debe ser tal, que se aplique la cantidad de cloruro establecida como adecuada durante la fase de experimentación.

Al término de la aplicación, el equipo utilizado debe ser sometido a una limpieza rigurosa, debido al carácter corrosivo del cloruro.

312.4.4 Compactación

Después de aplicado el producto se debe proceder a la compactación de la superficie tratada, empleando para ello un equipo de llantas neumáticas. El número de pasadas debe ser el definido en la fase de experimentación, ajustado cuando las circunstancias de la obra lo hagan necesario.

Si durante el proceso de compactación se advierte que el material tiende a ser desplazado al frente del compactador, se debe esperar que cure un poco antes de terminar la compactación.

312.4.5 Control del tránsito

No se debe permitir la circulación de ningún tipo de tránsito durante las dos horas (2 h) siguientes a la terminación de la compactación. Si la suspensión del tránsito no resulta posible, la vía debe ser tratada por mitades.

312.4.6 Limitaciones en la ejecución

El tratamiento para el control del polvo en afirmados no se puede realizar en instantes de lluvia, ni cuando los pronósticos meteorológicos señalen una posibilidad mayor de veinte por ciento (20 %) de ocurrencia de lluvias durante las treinta y seis horas (36 h) siguientes al instante previsto para la aplicación del producto. El agua lluvia lava y diluye el cloruro estropeando el tratamiento y causando problemas ambientales en los cursos y las láminas de agua, y en la vegetación adyacente a la vía.

Los trabajos se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que sea aprobado por este. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

312.4.7 Manejo ambiental

En adición a lo indicado en el numeral 300.4.8 del artículo 300, todas las estructuras de drenaje superficial aledañas a la zona de los trabajos se deben mantener limpias para garantizar el adecuado escurrimiento de las aguas, limitando la cantidad de agua que se pueda infiltrar al afirmado, ya que puede lavar el cloruro y deteriorar el tratamiento.

El cloruro de calcio y sus soluciones presentan los mismos problemas de manejo de otras sales similares y, por tanto, requieren un

manejo cuidadoso y el uso de gafas y dotación en materia de seguridad industrial para prevenir lesiones.

El constructor debe presentar la ficha técnica del producto debido a los problemas de contaminación que puede llegar a generar su aplicación. Se requiere esta ficha técnica para poder determinar las mínimas posibilidades de riesgo. Así mismo, se debe garantizar que sea un personal idóneo el que ejecute las diferentes labores que aseguren una correcta aplicabilidad y se minimicen daños.

No se permite producir la solución acuosa de cloruro dentro de la zona de las obras. Esta práctica representa un riesgo a la seguridad debido al carácter exotérmico de este proceso químico.

Al aplicar el cloruro o su solución se debe evitar, por todos los medios, que el producto tenga acceso a cuerpos de agua o sea esparcido sobre la vegetación. Al limpiar los equipos luego de la aplicación del producto, se debe tener en cuenta la misma precaución.

312.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

312.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos de tratamiento paliativo del polvo, se deben adelantar los siguientes controles generales:

- Verificar el estado y funcionamiento de todo el equipo de construcción.
- Comprobar, siempre que se considere necesario, que el producto empleado en el tratamiento y el agua cumplan todos los requisitos de calidad mencionados en este artículo.
- Verificar la calidad de la mezcla entre el material del afirmado existente y el granular de aporte, cuando este último se requiera.
- Efectuar pruebas de campo para verificar las dosificaciones del tratamiento paliativo de polvo.

312.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

312.5.2.1 Calidad del producto

Por cada despacho del producto empleado para el tratamiento, el constructor debe entregar al interventor una certificación expedida por el fabricante, donde consten las fechas de elaboración y vencimiento, así como los resultados de los ensayos de calidad indicados en la norma ASTM E449, los cuales deben cumplir con las exigencias de la especificación ASTM D98.

Independientemente de la entrega de esta información, el interventor puede pedir al constructor que, a su costa, se realicen los ensayos de comprobación correspondientes y requeridos para evaluar la idoneidad del producto. Dichos ensayos se deben llevar a cabo en un laboratorio que cuente con experiencia y/o trayectoria en ejecución de pruebas y ensayos de control de calidad de productos químicos, que pueda demostrar apropiadamente la competencia de su personal de laboratorio y cuyos informes de resultados informados contengan la aprobación y la autorización para su emisión, mediante la firma del responsable técnico facultado para ello. El laboratorio debe contar con todo el equipamiento principal y auxiliar necesario

para el correcto desempeño de sus actividades y asegurar que estos cuenten con la exactitud y la precisión adecuadas para lograr resultados válidos. El laboratorio debe contar con un programa de calibración de sus equipos y se debe asegurar que los resultados de la medición sean trazables al Sistema Internacional de Unidades (SI) mediante alguna de las siguientes alternativas:

- La calibración de los equipos proporcionados por un laboratorio de metrología acreditado por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC).
- La comparación directa o indirecta a patrones nacionales o internacionales que cuenten con unidades del SI.
- Los valores certificados de materiales de referencia (MRC) proporcionados por productores competentes con trazabilidad metrológica establecida al SI.

El producto debe ser rechazado por el interventor y, en consecuencia, no puede ser empleado en los trabajos, en las siguientes circunstancias:

- Si se va a aplicar con posterioridad a su fecha de vencimiento.
- Si no resulta conforme con al menos una de las exigencias de este artículo y de las normas ASTM a las cuales hace referencia.
- Si al encontrarse en forma líquida, no constituye una solución homogénea.
- Si algún despacho en forma sólida se presenta pegajoso o empastelado.

Cuando se produzca rechazo, el producto debe ser devuelto al proveedor para que disponga de este en forma apropiada.

312.5.2.2 Calidad del agua

Si se emplea agua que no sea potable y el interventor tiene dudas sobre su calidad, debe solicitar al constructor que, a su costa, ordene la determinación del pH y el contenido de sulfatos en un laboratorio que cuente con experiencia y/o trayectoria en ejecución de pruebas y ensayos de control de calidad del agua, que pueda demostrar apropiadamente la competencia de su personal de laboratorio y cuyos informes de resultados informados contengan la aprobación y la autorización para su emisión, mediante la firma del responsable técnico facultado para ello. El laboratorio debe contar con todo el equipamiento principal y auxiliar necesario para el correcto desempeño de sus actividades y asegurar que estos cuenten con la exactitud y la precisión adecuadas para lograr resultados válidos. El laboratorio debe contar con un programa de calibración de sus equipos y se debe asegurar que los resultados de la medición sean trazables al SI mediante alguna de las siguientes alternativas:

- La calibración de los equipos proporcionados por un laboratorio de metrología acreditado por ONAC.
- La comparación directa o indirecta a patrones nacionales o internacionales que cuenten con unidades del SI.
- Los valores certificados de materiales de referencia (MRC) proporcionados por productores competentes con trazabilidad metrológica establecida al SI.

Si los resultados obtenidos no cumplen los valores indicados en el numeral 312.2.2, no se debe permitir el empleo de esa agua y se debe rechazar cualquier tratamiento que se

haya realizado con esta. En tal caso, el constructor debe escarificar, remover, transportar y depositar en un sitio aprobado el material, y debe reponer los agregados y reconstruir el tratamiento, sin costo adicional para INVÍAS.

312.5.2.3 Calidad del afirmado

Cuando, previamente al tratamiento, se deba incorporar un material granular de aporte por el motivo indicado en el numeral 312.4.2, la calidad de este debe ser tal que, al mezclarlo con el afirmado existente, la mezcla cumpla los requisitos establecidos para los afirmados en el numeral 311.2 del artículo 311.

Para tal efecto, se deben tomar muestras representativas del material mezclado por el constructor y el interventor lo debe aceptar solamente si satisface todos los requisitos sobre desgaste, solidez, plasticidad y granulometría establecidos en el numeral citado en el párrafo anterior.

312.5.2.4 Calidad del producto terminado

Se debe considerar como lote, que se acepta o rechaza en conjunto, la menor área que resulte de aplicar los siguientes criterios:

- Quinientos metros (500 m) de calzada tratada.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m^2) de calzada tratada.
- La superficie tratada en un día (1 d) de trabajo.

La dosificación del producto se debe comprobar mediante el pesaje de bandejas metálicas u hojas de papel resistente, colocadas durante la aplicación del cloruro en no menos de tres (3) puntos del área considerada como lote.

El interventor no debe aceptar áreas tratadas donde la dosificación media del producto difiera en más de quince por ciento (15 %) de la aprobada previamente, como resultado de la fase de experimentación. Tampoco debe aceptar un lote donde más de un punto de ensayo presente un resultado por fuera del límite citado, ni donde la dosificación del cloruro puro resulte en exceso de cero coma ocho kilogramos por metro cuadrado (0,8 kg/m^2). El interventor debe determinar las medidas por adoptar cuando se presenten estos incumplimientos.

Los costos de todos los materiales, equipos y operaciones requeridos, para la corrección de defectos o excesos en el tratamiento, deben ser asumidos por el constructor.

312.6 Medida

Para los efectos del presente artículo, se deben aplicar los siguientes criterios de medida:

- Si el producto para el tratamiento paliativo del polvo ha sido aplicado en forma sólida, la unidad de medida debe ser el kilogramo (kg), aproximado al entero, de cloruro de calcio suministrado y colocado; aprobado por del interventor.
- Si el producto para el tratamiento paliativo del polvo ha sido aplicado en forma líquida, la unidad de medida debe ser el litro (L), aproximado al entero, de solución de cloruro de calcio suministrada y colocada; aprobada por el interventor.

En los dos casos, la cantidad aplicada se debe determinar multiplicando la longitud real, medida a lo largo del eje de trabajo, por el

ancho y por la dosificación media aprobados por el interventor. No se debe medir ni pagar ninguna cantidad por fuera de tales límites.

Cuando se haya incorporado agregado pétreo de adición para corregir el afirmado, la unidad de medida de este debe ser el metro cúbico (m^3), aproximado al entero, de material granular suministrado en estado suelto. Su volumen debe ser determinado por el interventor, con base en el número de viajes de material granular transportado suelto y la capacidad de cada volqueta utilizada.

312.7 Forma de pago

El pago del tratamiento paliativo del polvo se debe hacer por kilogramo (kg) o litro (L), según si el producto se aplicó en forma sólida o líquida, al respectivo precio unitario del contrato, por todo trabajo ejecutado, de acuerdo con este artículo y aprobado por el interventor.

El precio unitario debe incluir la compensación total por el suministro, en el lugar de la obra, del producto para el tratamiento y su aplicación, las herramientas y equipos necesarios y la correcta ejecución del trabajo contratado.

El precio unitario del tratamiento paliativo del polvo debe cubrir, además, los costos de todos los permisos y las licencias de toda índole que se requieran para la adquisición del producto, su transporte, almacenamiento y uso, así como los costos de la ejecución de la fase de experimentación, los costos de todos los muestreos y ensayos a cargo del constructor; los costos de la preparación de la superficie existente, incluyendo los que implique la adquisición, extracción, bombeo, transporte, suministro y aplicación del agua requerida; la señalización preventiva de la vía y el ordenamiento de todo tipo de tránsito durante la ejecución de los trabajos y el período adicional que indica este artículo o fije el interventor y, en general, todo costo adicional en el cual se incurra para la realización completa y a satisfacción de los trabajos descritos en el presente artículo. Solamente se exceptúa el suministro, la mezcla y la compactación del agregado pétreo de adición, cuando este se requiera.

El pago del agregado pétreo de adición se debe hacer por metro cúbico (m^3) al respectivo precio unitario del contrato, por todo agregado suministrado; aprobado por el interventor. El precio unitario debe incluir la compensación total por el suministro del agregado pétreo de adición en el lugar de la obra, los equipos necesarios, la mezcla del agregado con el afirmado existente y la compactación de dicha mezcla. También, incluye los costos de todos los permisos y las licencias de toda índole que se requieran para la obtención de los materiales; la señalización preventiva de la vía y el ordenamiento de todo tipo de tránsito durante la colocación del material sobre la vía y su mezcla y compactación con el afirmado existente y, en general, todo costo adicional en el cual se incurra para la realización completa y a satisfacción de este trabajo.

Cada precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

312.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
312.1	Tratamiento paliativo de polvo aplicado en forma sólida en hojuelas	Kilogramo (kg)
312.2	Tratamiento paliativo de polvo aplicado en forma sólida en esferas	Kilogramo (kg)
312.3	Tratamiento paliativo de polvo aplicado en forma líquida	Litro (L)
312.4	Material granular de adición	Metro cúbico (m^3)

Subbase granular

Artículo 320 – 22

320.1 Descripción

Este trabajo consiste en el suministro, el transporte, la colocación, el humedecimiento o aireación, la extensión y la conformación, la compactación y el terminado de material de subbase granular aprobado sobre una superficie preparada, en una o varias capas, de conformidad con los alineamientos, las pendientes y las dimensiones indicados en los documentos del proyecto.

Para los efectos de estas especificaciones, se denomina subbase granular a la capa o capas granulares localizadas entre la subrasante y la base granular o la capa estabilizada, en todo tipo de pavimento, sin perjuicio de que los documentos del proyecto le señalen otra utilización.

320.2 Materiales

320.2.1 Clases de subbase granular

Se definen tres clases de subbase granular, en función de la calidad de los agregados (clases A, B y C), como se indica en el numeral 320.2.2. Así mismo, se debe definir el tipo de granulometría que se va a emplear.

Si los documentos del proyecto no indican otra cosa, las clases de subbase granular se deben usar como se indica en la Tabla 320 — 1, en función del nivel de tránsito del proyecto, definido en el artículo 100, Ámbito de aplicación, términos y definiciones.

Tabla 320 — 1. Uso típico de las diferentes clases de subbase granular

Clase de subbase granular	Nivel de tránsito
Clase A	NT3
Clase B	NT2
Clase C	NT1

320.2.2 Requisitos de calidad para los agregados

Los agregados para la construcción de la subbase granular deben satisfacer los requisitos de calidad indicados en la Tabla 320 — 2. Además, se deben ajustar a alguna de las franjas granulométricas que se muestran en la Tabla 320 — 3.

Tabla 320 — 2. Requisitos de los agregados para subbases granulares

Característica	Norma de ensayo INV	Subbase granular		
		Clase A	Clase B	Clase C
Dureza (O)				
Desgaste en la máquina de Los Ángeles (Granulometría A), máximo (%): - 500 revoluciones	E-218	 50	 50	 50
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%).	E-238	30	35	-
Durabilidad (O)				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%). (Nota): - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	E-220	 12 18	 12 18	 12 18
Limpieza (F)				
Límite líquido, máximo (%).	E-125	25	25	25
Índice de Plasticidad, máximo (%).	E-125 y E-126	6	6	6
Equivalente de arena, mínimo (%).	E-133	25	25	25
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%).	E-211	2	2	2
Resistencia del material (F)				
CBR (%): porcentaje asociado al valor mínimo especificado de la densidad seca, medido en una muestra sometida a cuatro días (4 d) de inmersión, mínimo.	E-148	40	30	30

Nota: se puede validar el requisito de durabilidad, empleando cualquiera de los dos sulfatos indicados.

Tabla 320 — 3. Franjas granulométricas del material de subbase granular

Tipo de gradación	Tamiz (mm / U.S. *Standard*)								
	50,0	37,5	25,0	12,5	9,5	4,75	2,00	0,425	0,075
	2 Pulgadas	1 ½ Pulgadas	1 Pulgada	1/2 Pulgada	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 10	Nro. 40	Nro. 200
	Pasa tamiz (%)								
SBG-50 (Nota)	100	70 — 95	60 — 90	45 — 75	40 — 70	25 — 55	15 — 40	6 — 25	2 — 15
SBG-38 (Nota)	-	100	75 — 95	55 — 85	45 — 75	30 —60	20 — 45	8 — 30	2 —15
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	0 %	7 %				6 %			3 %

Nota: el número indica el tamaño máximo, en milímetros, de las partículas en la gradación empleada.

Para prevenir segregaciones y garantizar los niveles de compactación y resistencia exigidos por la presente especificación, el material que produzca el constructor debe dar lugar a una curva granulométrica uniforme y sensiblemente paralela a los límites de la franja, sin saltos bruscos de la parte superior de un tamiz a la inferior de otro adyacente y viceversa.

Dentro de la franja elegida, el constructor debe proponer al interventor una fórmula de trabajo a la cual se debe ajustar durante la construcción de la capa, con las tolerancias que se indican en la Tabla 320 — 3, pero sin permitir que la curva se salga de la franja adoptada.

Una vez elegida la franja granulométrica, no se puede cambiar por otra sin previa autorización del interventor.

Además, la relación entre el porcentaje que pasa el tamiz de 0,075 mm (nro. 200) y el porcentaje que pasa el tamiz de 0,425 mm (nro. 40), no debe exceder de dos tercios (2/3) del espesor de la capa compactada, y el tamaño máximo nominal no debe exceder un tercio (1/3) del mismo espesor.

320.3 Equipo

Al respecto, rigen las condiciones generales que se indican en el numeral 300.3 del artículo 300. Para la construcción de la subbase granular se requieren equipos para la explotación de los materiales, eventualmente una planta de trituración, una unidad clasificadora y, de ser necesario, un equipo de lavado. Además, equipos para mezclado, cargue, transporte, extensión, humedecimiento y compactación del material, así como herramientas menores. Estos equipos deben ser capaces de asegurar la completa homogeneización de los componentes dentro de las tolerancias fijadas. Los equipos de cargue y transporte deben contar con superficies lisas y limpias, y disponer de lonas o cobertores adecuados para proteger el material durante su transporte.

Para la extensión del material, cuando la obra tenga una superficie por pavimentar superior a los setenta mil metros cuadrados (> 70 000 m^2), se recomienda utilizar extendedoras automotrices, que deben estar dotadas de sistemas automáticos de nivelación y de los dispositivos necesarios para la puesta en obra de la capa de subbase, con la configuración deseada y para proporcionarle un mínimo de compactación. No obstante, la selección del equipo para la extensión debe ser responsabilidad del constructor, con la aprobación del interventor y se debe validar durante su operación.

El equipo de humedecimiento y mezclado debe ser capaz de asegurar la completa homogeneización de los componentes dentro de las tolerancias fijadas.

320.4 Ejecución de los trabajos

320.4.1 Explotación de materiales y elaboración de agregados

Rige lo indicado en el numeral 300.4.1 del artículo 300.

320.4.2 Preparación de la superficie existente

El interventor solo debe autorizar la colocación de material de subbase granular, cuando la superficie sobre la cual se debe asentar tenga la compactación apropiada y las cotas y secciones indicadas en los documentos del proyecto, con las tolerancias establecidas.

Además, debe estar concluida la construcción de los desagües y los filtros necesarios para el drenaje de la calzada.

Si en la superficie de apoyo existen irregularidades que excedan las tolerancias determinadas en la especificación de la capa de la cual forma parte, de acuerdo con lo que se prescribe en la unidad de obra correspondiente, el constructor debe realizar las correcciones necesarias, hasta ser aprobadas por el interventor.

320.4.3 Fase de experimentación

Rige lo indicado en el numeral 300.4.2 del artículo 300.

320.4.4 Transporte y almacenamiento del material

El transporte y el almacenamiento de materiales deben cumplir lo establecido en los numerales 300.4.5 y 300.4.3 de artículo 300, respectivamente.

320.4.5 Colocación, extensión y conformación del material

La colocación del material sobre la capa subyacente se debe hacer en una longitud que no sobrepase mil quinientos metros (1 500 m) de las operaciones de extensión, conformación y compactación del material.

El material se debe disponer en un cordón de sección uniforme, donde el interventor debe verificar su homogeneidad. Si la capa de subbase granular se va a construir mediante la combinación de dos (2) o más materiales, su mezcla se puede realizar en planta o en un patio fuera de la vía.

En el caso de realizar la mezcla en planta, se debe agregar la dosificación requerida de agua para luego transportar el material a su sitio de colocación. Cuando se vaya a realizar la mezcla directamente en el sitio, esta se debe hacer en un patio fuera de la vía, porque su mezcla dentro del área de colocación no está permitida. La mezcla se debe realizar en seco y posteriormente se debe agregar el agua que sea requerida.

En caso de que sea necesario humedecer o airear el material para lograr el contenido de agua óptimo de compactación, el constructor debe emplear el equipo adecuado y aprobado, de manera que no perjudique la capa subyacente y deje el material con un contenido de agua uniforme. Este, después de humedecido o aireado, se debe extender en todo el ancho previsto en una capa uniforme que permita obtener el espesor y el grado de compactación exigidos, de acuerdo con los resultados obtenidos en la fase de experimentación.

El material se debe extender de tal forma, que no requiera mayor manipulación para obtener el espesor, el ancho y el bombeo especificados en los diseños, evitando en lo posible adiciones de forma sectorizada.

En todo caso, la cantidad de material extendido debe ser tal, que el espesor de la capa compactada no resulte inferior a cien milímetros (100 mm) ni superior a doscientos milímetros (200 mm). Si el espesor de subbase compactada, por construir, es superior a doscientos milímetros (200 mm), el material se debe colocar en dos o más capas, procurándose que el espesor de ellas sea sensiblemente igual y nunca inferior a cien milímetros (100 mm). El material extendido debe mostrar una distribución granulométrica

uniforme, sin segregaciones evidentes. El interventor no debe permitir la colocación de la capa siguiente, antes de verificar y aprobar la compactación de la precedente, según lo estipulado en el numeral 320.5.2.2.2 de esta especificación. A menos que el interventor apruebe algún procedimiento alternativo, la capa ya compactada se debe escarificar superficialmente con el propósito de ligarla con la siguiente.

En operaciones de bacheo o en aplicaciones en áreas reducidas, el constructor debe proponer al interventor los métodos de extensión que garanticen la uniformidad y la calidad de la capa.

320.4.6 Compactación

Una vez que el material extendido de la subbase granular tenga el contenido de agua apropiado para asegurar la densidad de diseño requerida, se debe conformar ajustándose a los alineamientos y las secciones típicas del proyecto, y se debe compactar con el equipo aprobado por el interventor, hasta alcanzar la densidad seca especificada.

Aquellas zonas que, por su reducida extensión, su pendiente o su proximidad a obras de arte, no permitan el uso del equipo que normalmente se utiliza, se deben compactar con los medios adecuados para el caso, en forma tal que las densidades secas que se alcancen no sean inferiores a la obtenida en el resto de la capa.

La compactación se debe efectuar longitudinalmente, comenzando por los bordes exteriores y avanzando hacia el centro, traslapando en cada recorrido una longitud no menor de la mitad del ancho del rodillo compactador. En las zonas peraltadas, la compactación se debe hacer del borde inferior al superior.

El acabado final de la subbase debe garantizar una superficie lisa y apropiada para la conformación de las capas superiores.

320.4.7 Construcción de la subbase granular sobre un afirmado existente

Si el proyecto contempla que el afirmado existente forme parte de la capa de subbase granular, aquel se debe escarificar en una profundidad de cien milímetros (100 mm) o la que especifique los documentos del proyecto, y se debe conformar y compactar con el fin de obtener el mismo nivel de compactación exigido a la subbase granular, en un espesor de ciento cincuenta milímetros (150 mm).

Si el espesor del afirmado es menor de cien milímetros (100 mm), el interventor puede autorizar que el material de subbase granular se mezcle con el del afirmado, previa la escarificación de este. En todo caso, se deben respetar los espesores de capa mencionados en el numeral 320.4.5.

320.4.8 Apertura al tránsito

Sobre las capas en ejecución se debe prohibir la acción de todo tipo de tránsito mientras no se haya completado la compactación. Si ello no es factible, el tránsito que necesariamente deba pasar sobre ellas se debe distribuir en forma tal que no se concentren ahuellamientos sobre la superficie. El constructor debe responder por los daños originados por esa causa y debe repararlos, sin costo adicional

para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), de acuerdo con las instrucciones del interventor.

320.4.9 Limitaciones en la ejecución

No se debe permitir la extensión de ninguna capa de material de subbase granular mientras no haya sido realizada la nivelación y la comprobación del grado de compactación de la capa precedente. Tampoco se puede construir la subbase granular en momentos en que haya lluvia o fundado temor que ella ocurra, ni cuando la temperatura ambiente sea inferior a dos grados Celsius (2 °C).

Los trabajos de construcción de la subbase granular se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que sea aprobado por este. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

320.4.10 Bacheos

Las excavaciones para la reparación de un pavimento asfáltico existente de estructura convencional (capas asfálticas densas, base granular y subbase granular), cuya profundidad sea superior a trescientos milímetros (300 mm), se deben rellenar con material de subbase granular desde el fondo de la excavación hasta una profundidad de doscientos cincuenta milímetros (250 mm) por debajo de la rasante existente. Este material debe ser compactado con el equipo adecuado hasta alcanzar la densidad seca especificada.

Teniendo en cuenta que algunos pavimentos asfálticos de la Red Vial Nacional tienen estructuras muy gruesas y complejas, debido a que han sido sometidos a varias intervenciones de rehabilitación, el eventual uso de materiales de subbase granular en las operaciones de bacheo en ellos, se debe definir en los documentos del proyecto.

320.4.11 Conservación

El constructor debe conservar la capa de subbase granular en las condiciones en las cuales le fue aceptada por el interventor hasta el momento de ser recubierta por la capa inmediatamente superior, aun cuando aquella sea librada parcial o totalmente al tránsito público. Durante dicho lapso, el constructor debe reparar, sin costo adicional para INVÍAS, todos los daños que se produzcan en la subbase granular y restablecer el mismo estado en el cual ella se aceptó.

320.4.12 Manejo ambiental

Rige lo indicado en el numeral 300.4.8 del artículo 300.

320.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

320.5.1 Controles

Rige lo indicado en el numeral 300.5.1 del artículo 300.

320.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

Los retrasos en el cronograma debidos a las deficiencias o al reemplazo de materiales, así como los costos asociados a estas circunstancias, son responsabilidad del constructor.

320.5.2.1 Calidad de los agregados

320.5.2.1.1 Control de procedencia

De cada fuente de agregados pétreos y por cada dos mil metros cúbicos (2 000 m^3) del material de un mismo tipo, se deben tomar cuatro (4) muestras representativas para realizar los ensayos especificados en la Tabla 320 — 2. Los resultados deben satisfacer las exigencias indicadas en dicha tabla, so pena de rechazo de los materiales deficientes.

Estos ensayos se deben repetir durante el suministro siempre que se produzca un cambio de procedencia, y no se puede utilizar el material hasta contar con los resultados de ensayo y la aprobación del interventor.

Durante esta etapa, el interventor debe comprobar, además, que el material de descapote de la fuente sea retirado correctamente y que todas las vetas de material granular inadecuado sean descartadas.

320.5.2.1.2 Control de producción

Durante la etapa de producción, se deben examinar las descargas a los acopios y se debe ordenar el retiro de los agregados que, a simple vista, contengan tierra vegetal, presenten restos de materia orgánica, o tamaños superiores al máximo especificado. Así mismo, se debe ordenar que se acopien por separado aquellos que presenten una anomalía evidente de aspecto, como distinta coloración, plasticidad o segregación.

Al material ya colocado en la vía se le deben realizar controles con la frecuencia que se indica en la Tabla 320 — 4.

Tabla 320 — 4. Verificaciones periódicas de la calidad del material de subbase granular

Ensayo	Norma de ensayo INV	Frecuencia
Granulometría	E-213	Una (1) vez por jornada
Límite líquido	E-125	Una (1) vez por jornada
Índice de Plasticidad	E-125 y E-126	Una (1) vez por jornada
Desgaste en máquina de Los Ángeles	E-218	Una (1) vez por semana
Equivalente de arena	E-133	Una (1) vez por semana
Ensayo modificado de compactación	E-142	Una (1) vez por semana
CBR de laboratorio	E-148	Una (1) vez por semana

El interventor puede reducir la frecuencia de los ensayos a la mitad de lo indicado en la Tabla 320 — 4, siempre que considere que los materiales son suficientemente homogéneos, o si en el control de recibo de la obra terminada hubiese aceptado sin objeción diez (10) lotes consecutivos.

En el caso de mezcla de dos (2) o más materiales, los controles se deben realizar sobre el material mezclado y con la fórmula de trabajo aprobada para el proyecto.

Cuando el interventor considere que las características del material que está siendo explotado en una fuente han cambiado, se deben repetir todos los ensayos especificados en la Tabla 320 — 2 y adoptar los correctivos que sean necesarios.

No se debe permitir el empleo de materiales que no cumplan con los requisitos de calidad indicados en el numeral 320.2.2.

En la eventualidad de que el resultado de alguna prueba no sea satisfactorio, se deben tomar dos (2) muestras adicionales del material y se debe repetir la prueba. Los resultados de ambos ensayos deben ser satisfactorios o, de lo contrario, el interventor no debe autorizar la utilización de este material.

320.5.2.1.3 Conservación de las propiedades de los agregados

Los agregados no deben sufrir una degradación excesiva con motivo de su manejo y compactación en obra. Para verificarlo, cada semana se deben tomar muestras representativas, al menos cada doscientos metros (200 m) del material colocado y compactado durante la semana previa, las cuales se deben someter a los ensayos que se indican en la Tabla 320 — 5. Los resultados de estos ensayos deben satisfacer las exigencias indicadas en el numeral 320.2.2. Si no las cumplen, se debe suspender inmediatamente el empleo del material y se debe delimitar el área donde se haya utilizado, la cual debe ser demolida y reconstruida por el constructor, sin costo adicional para INVÍAS, empleando un material de subbase granular apropiado y que conserve sus propiedades según se especifica en este numeral.

Tabla 320 — 5. Ensayos para verificar la conservación de las propiedades de los agregados

Característica	Norma de ensayo INV
Granulometría	E-213
Límite líquido	E-125
Índice de Plasticidad	E-125 y E-126
Equivalente de arena	E-133

320.5.2.2 Calidad del producto terminado

320.5.2.2.1 Terminado

La capa de subbase granular terminada debe presentar una superficie uniforme, sin agrietamientos, baches, laminaciones ni segregaciones. Si el interventor considera que es necesario realizar correcciones por este concepto, debe delimitar el área afectada y el constructor la debe escarificar en un espesor de cien milímetros (100 mm) y, después de efectuar las correcciones necesarias, debe mezclar y compactar de nuevo hasta

que, tanto el área delimitada como las adyacentes, cumplan todos los requisitos exigidos en el presente artículo.

La rasante de la superficie terminada no debe superar a la teórica en ningún punto. Tampoco debe quedar por debajo de ella en más de quince milímetros (15 mm). La distancia entre el eje del proyecto y el borde de la berma no debe ser inferior a la señalada en los documentos del proyecto.

Cuando los niveles de la rasante no se cumplan por defecto y no existan problemas de encharcamiento, el interventor puede aceptar la superficie siempre que la capa superior a ella compense la disminución con el espesor adicional necesario, sin incremento de costo para INVÍAS. De lo contrario, estas áreas deben ser rebajadas, humedecidas, compactadas y terminadas nuevamente, hasta cumplir las cotas y el espesor establecidos en los documentos del proyecto y con las exigencias de la presente especificación.

Cuando no se cumpla por exceso, este se debe corregir por cuenta del constructor, siempre que ello no suponga una reducción del espesor de la capa por debajo del valor especificado en los documentos del proyecto.

La verificación de los perfiles longitudinales y transversales del proyecto se debe hacer mediante puntos de referencia altimétrica a distancias no superiores a veinte metros (20 m). En las zonas de transición de peraltes, esta verificación se debe realizar cada diez metros (10 m) como máximo. El ancho de la sección en ningún caso debe ser inferior al establecido en los documentos del proyecto.

320.5.2.2.2 Compactación

Para efectos del control, se debe considerar como lote, que se acepta o rechaza en conjunto, la menor área construida que resulte de aplicar los siguientes criterios:

- Quinientos metros (500 m) de capa compactada en el ancho total de la subbase granular.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m^2) de subbase granular compactada.
- La obra ejecutada en una jornada de trabajo.
- La obra ejecutada con el mismo material, de la misma procedencia y con el mismo equipo y procedimiento de trabajo.

Los sitios para la determinación de la densidad de la capa se deben elegir al azar, según la norma de ensayo INV E-730, pero de manera que se realice al menos una (1) prueba por hectómetro. Se deben efectuar, como mínimo, cinco (5) ensayos por lote.

Para el control de la compactación de una capa de subbase granular, se debe calcular su grado de compactación a partir de los resultados de los ensayos de densidad en el terreno y del ensayo de relaciones contenido de agua-peso unitario (ensayo modificado de compactación), mediante la expresión que resulte aplicable entre las siguientes:

- Material sin sobretamaños:

$$GC_i = \frac{\gamma_{d,i}}{\gamma_{d,máx}} * 100 \qquad [320.1]$$

- Material con sobretamaños:

$$GC_i = \frac{\gamma_{d,i}}{C\gamma_{d,máx}} * 100 \qquad [320.2]$$

Donde:

GC_i, valor individual del grado de compactación, en porcentaje.

$\gamma_{d,i}$, valor individual del peso unitario seco del material en el terreno, determinado por cualquier método aplicable de los descritos en las normas de ensayo INV E-161, E-162 y E-164, sin efectuar corrección por presencia de sobretamaños, de manera que corresponda a la muestra total.

$\gamma_{d,máx}$, valor del peso unitario seco máximo del material, obtenido según la norma de ensayo INV E-142 (ensayo modificado de compactación) sobre una muestra representativa del mismo.

$C\gamma_{d,máx}$, valor del peso unitario seco máximo del material, obtenido según la norma de ensayo INV E-142 sobre una muestra representativa del mismo, y corregido por sobretamaños según la norma de ensayo INV E-143, numeral 3.1, de manera que corresponda a la muestra total.

Sobretamaños (fracción gruesa) (P_{FG}), porción de la muestra total retenida en el tamiz de control correspondiente al método utilizado para realizar el ensayo de compactación (norma INV E-142).

El peso unitario seco máximo corregido del material ($C\gamma_{d,máx}$) que se use para calcular el grado de compactación individual (GC_i) se debe obtener, para cada sitio, a partir del contenido de sobretamaños (P_{FG}) presente en ese sitio.

Para la aceptación del lote se deben aplicar los siguientes criterios:

$$GC_l\ (90) \geq 95{,}0\ \%\quad \textit{se acepta el lote} \quad [320.3]$$

$$GC_l\ (90) < 95{,}0\ \%\quad \textit{se rechaza el lote} \quad [320.4]$$

Donde:

GC_l (90), límite inferior del intervalo de confianza en el que, con una probabilidad del noventa por ciento (90 %), se encuentra el valor promedio del grado de compactación del lote, en porcentaje. Este límite se calcula según el numeral 107.3.1.3 del artículo 107, Control y aceptación de los trabajos, a partir de los valores individuales del grado de compactación (GC_i).

Las verificaciones de compactación se deben efectuar en todo el espesor de la capa que se está controlando.

Los lotes que no alcancen las condiciones mínimas de compactación se deben escarificar, homogenizar, llevar al contenido de agua adecuado y compactar nuevamente hasta obtener el valor de densidad seca especificado.

320.5.2.2.3 Espesor

Sobre la base de los sitios escogidos para el control de la compactación, el interventor debe determina el espesor medio de la capa compactada (e_m), el cual no puede ser inferior al espesor de diseño (e_d).

$$e_m \geq e_d \quad [320.5]$$

Además, el espesor obtenido en cada determinación individual (e_i) debe ser, cuando menos, igual al noventa por ciento (90 %) del espesor de diseño (e_d). Se admite solo un (1) valor por debajo de dicho límite, siempre y cuando este valor sea igual o mayor al ochenta y cinco por ciento (85 %) del espesor de diseño.

$$e_i \geq 0{,}90 * e_d \quad [320.6]$$

Si uno o más de estos requisitos se incumplen, el constructor debe escarificar la capa en un espesor mínimo de cien milímetros (100 mm), añadir el material necesario de las mismas características, compactar nuevamente y terminar la capa conforme lo exige el presente artículo.

Si el espesor medio (e_m) resulta inferior al espesor de diseño (e_d), pero ningún valor individual es inferior al noventa por ciento (90 %) del espesor de diseño, el interventor puede admitir el espesor construido, siempre que el constructor se comprometa, por escrito, a compensar la disminución con el espesor adicional necesario de la capa superior, sin que ello implique ningún incremento en los costos para INVÍAS. Si el constructor no suscribe este compromiso, se debe proceder como en el párrafo anterior.

320.5.2.2.4 Planicidad

Se debe comprobar la uniformidad de la superficie de la obra ejecutada mediante la regla de tres metros (3 m), según la norma de ensayo INV E-793, en todos los sitios que el interventor considere conveniente. La regla se debe colocar tanto paralela como perpendicularmente al eje de la vía, y no se deben admitir variaciones superiores a veinte milímetros (20 mm) para cualquier punto que no esté afectado por un cambio de pendiente. Cualquier área donde se detecten irregularidades que excedan esta tolerancia, debe ser delimitada por el interventor, y el constructor debe corregirla con reducción o adición de material en capas de poco espesor, en cuyo caso, para asegurar buena adherencia, es obligatorio escarificar la capa existente y compactar nuevamente la zona afectada, hasta alcanzar los niveles de compactación exigidos en el presente artículo.

320.5.2.2.5 Zonas de bacheos

En las zonas de bacheos se deben satisfacer las mismas exigencias de terminado, compactación, espesor y planicidad incluidas en este numeral, pero queda a criterio del interventor la decisión sobre la frecuencia de las pruebas, la cual debe depender del tamaño de las áreas tratadas.

320.5.2.2.6 Correcciones por variaciones en el diseño o por causas no imputables al constructor

Cuando sea necesario efectuar correcciones a la capa de subbase granular, por modificaciones en el diseño estructural o por fuerza mayor u otras causas inequívocamente no imputables al constructor, el interventor debe delimitar el área afectada y ordenar las correcciones necesarias, por cuyo trabajo debe autorizar el pago al constructor, al respectivo precio unitario del contrato.

320.6 Medida

La subbase granular se debe medir según lo descrito en el numeral 300.6.1 del artículo 300. En el caso de bacheos con material granular de subbase, se debe aplicar lo señalado en el numeral 300.6.2 del mismo artículo. En todos los casos, la medición de volúmenes de material colocado se debe hacer al metro cúbico (m^3), aproximado a la décima (0,1).

320.7 Forma de pago

La subbase granular se debe pagar según lo que sea aplicable del numeral 300.7 del artículo 300.

320.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
320.1	Subbase granular clase A	Metro cúbico (m^3)
320.2	Subbase granular clase B	Metro cúbico (m^3)
320.3	Subbase granular clase C	Metro cúbico (m^3)
320.4	Subbase granular para bacheo clase A	Metro cúbico (m^3)
320.5	Subbase granular para bacheo clase B	Metro cúbico (m^3)
320.6	Subbase granular para bacheo clase C	Metro cúbico (m^3)

Subbase estabilizada con mezcla asfáltica natural

Artículo 321 - 22

321.1 Descripción

Este trabajo consiste en la construcción de una subbase estabilizada con mezcla asfáltica natural en vías con un nivel de tránsito NT1, de acuerdo con los alineamientos y secciones indicados en los documentos del proyecto. El material por estabilizar puede ser aquel que resulta al escarificar una capa superficial existente, un material que se adiciona o una mezcla de ambos.

Para efectos de aplicación de esta especificación se define como subbase estabilizada con una mezcla asfáltica natural, la adición en una planta, zona de acopio o in situ, de una mezcla asfáltica natural seleccionada a un agregado pétreo, que cumplan los requisitos del presente artículo.

321.2 Materiales

321.2.1 Agregados pétreos

Los agregados susceptibles de estabilizar con una mezcla asfáltica natural pueden provenir de la trituración de materiales pétreos de la vía, piedra de cantera o de grava natural o estar constituidos por una mezcla de ambos. Independientemente de su procedencia, los agregados deben estar exentos de materia orgánica, terrones de arcilla o cualquier otra sustancia que pueda resultar ambientalmente nociva o inconveniente para el buen comportamiento de la capa estabilizada.

La estructura de los pétreos resultante (combinada) para la construcción de la capa de subbase estabilizada con una mezcla asfáltica natural debe presentar una gradación que se ajuste a alguna de las franjas señaladas en la Tabla 321-1. La gradación por emplear se debe indicar en los documentos del proyecto. Dentro de la franja elegida, el constructor debe proponer al interventor una fórmula de trabajo la cual se debe ajustar durante la construcción de la capa con las tolerancias que se indican en la Tabla 321-1, pero sin permitir que la curva se salga de la franja adoptada.

Los agregados pétreos resultantes no deben ser susceptibles de ningún tipo de meteorización o alteración físico - química apreciable bajo las más desfavorables condiciones que presumiblemente se puedan dar en la zona de empleo. Tampoco pueden, junto con el agua, dar origen a disoluciones que puedan causar daños a estructuras, otras capas del pavimento o contaminar corrientes de agua. Los agregados pétreos por estabilizar deben cumplir los requisitos de calidad indicados en la Tabla 321- 2.

El constructor, como responsable de los materiales que suministre para la ejecución de los trabajos, debe realizar todos los ensayos necesarios para establecer la calidad e inalterabilidad de los agregados a utilizar, independiente y complementariamente de los que taxativamente se exigen en esta especificación.

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

Tabla 321-1 Franjas granulométricas de los agregados combinados para la construcción de capas de subbases estabilizadas con una mezcla asfáltica natural

Tipo de mezcla	Tamiz (mm / U.S. Standard)								
	50,0	37,5	25,0	12,5	9,5	4,75	2,00	0,425	0,075
	2 Pulgadas	1 ½ Pulgadas	1 Pulgada	1/2 Pulgada	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 10	Nro. 40	Nro. 200
	Pasa tamiz (%)								
SBEMAN-50	100	70 - 95	60 - 90	45 - 75	40 - 70	25 - 55	15 - 40	6 - 25	2 - 15
SBEMAN-38	-	100	75 - 95	55 - 85	45 - 75	30 - 60	20 - 45	8 - 30	2 - 15
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	0 %	7 %				6 %			3 %

Tabla 321-2 Requisitos de los agregados pétreos por estabilizar

Característica	Norma de ensayo INV	Requisito
Dureza, agregado grueso (O)		
Desgaste en la Máquina de los Ángeles, máximo (%) - 500 revoluciones	E-218	50
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio, Máximo (%)	E-220	18
Limpieza (F)		
Límite líquido, máximo (%)	E-125	35
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 E-126	9
Terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%)	E-211	2
Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	20
Capacidad de soporte (F)		
CBR del agregado a estabilizar (%): porcentaje asociado al valor mínimo especificado de la densidad seca medido en una muestra sometida a cuatro días de Inmersión.	E-148	≥ 15

321.2.2 Mezcla Asfáltica Natural

La mezcla asfáltica natural es un material compuesto esencialmente de arenas finas y conglomerado que están impregnadas de asfalto, siendo este parámetro común para la mayoría de los depósitos que se encuentran en el territorio colombiano. El contenido de asfalto residual puede variar según la fuente de explotación. El material pétreo presente en el asfalto natural debe estar exento de materia orgánica o cualquier otra sustancia perjudicial.

321.3 Equipo

Al respecto rigen las condiciones generales que se indican en el numeral 300.3 del artículo 300, Disposiciones generales para la ejecución de afirmados, subbases, bases granulares y capas granulares estabilizadas.

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

Para la construcción de las capas de subbase estabilizada con mezcla asfáltica natural se requieren, además, equipos para la explotación de los materiales, eventualmente una planta de trituración, una unidad clasificadora, equipos para mezclado y homogenización, cargue, transporte, extensión, humedecimiento y compactación del material, equipos para la elaboración, extensión, compactación y nivelación de la mezcla estabilizada, así como herramientas menores y un equipo apropiado para escarificar la capa existente, en caso de que su utilización esté prevista en el proyecto.

321.4 Ejecución de los trabajos

321.4.1 Explotación de materiales y elaboración de agregados

Rige lo indicado en el numeral 300.4.1 del artículo 300. En la explotación de la mezcla asfáltica natural se debe hacer la respectiva clasificación del material con el fin de evitar sobretamaños, materiales fósiles u otros elementos nocivos o contaminantes para la capa a conformar o cualquier otra sustancia que pueda resultar ambientalmente nociva o inconveniente para el buen comportamiento de la capa estabilizada. Se debe obtener en lo posible, una mezcla asfáltica natural con un porcentaje de asfalto relativamente homogéneo.

321.4.2 Diseño de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo

321.4.2.1 Generalidades

Con suficiente antelación al inicio de los trabajos, el constructor debe entregar al interventor, para su verificación, muestras de los materiales que se propone utilizar, avaladas por los resultados de ensayos que demuestren la conveniencia de utilizarlos. Si a criterio del interventor los materiales resultan objetables, el constructor debe efectuar las modificaciones necesarias para corregir las deficiencias. Una vez el interventor manifieste su conformidad con los materiales, el constructor debe definir la fórmula de trabajo para determinar las proporciones de los materiales utilizados y parámetros de compactación que permitan cumplir con los requerimientos exigidos a la capa de subbase estabilizada construida. Una vez el interventor manifieste su conformidad con los materiales y el diseño de la mezcla, este solo puede ser modificado durante la ejecución de los trabajos si se llega a presentar una variación inevitable en alguno de los componentes que intervienen en ella.

Las mezclas de subbase estabilizada con una mezcla asfáltica natural se deben diseñar utilizando el método inmersión – compresión, siguiendo el procedimiento definido por la norma de ensayo INV E-622. Para la aplicación de este método de dosificación, se debe tener en cuenta que al agregado pétreo ya se le ha colocado el ligante asfáltico a través de la adición de la cantidad necesaria de mezcla asfáltica natural, por lo tanto, se debe determinar la humedad óptima de compactación del material granular estabilizado siguiendo el procedimiento definido por la norma INV E-142 y proceder a la evaluación de la resistencia a la compresión en estado seco y después del proceso de inmersión, tal como lo describe la norma INV E- 622.

321.4.2.2 Diseño de la subbase con mezcla asfáltica natural por resistencia

La evaluación de las propiedades del material pétreo estabilizado con la mezcla asfáltica natural se debe realizar por el método de

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

inmersión – compresión. La dosificación óptima propuesta debe cumplir con los criterios establecidos en la Tabla 321-3.

El porcentaje óptimo de mezcla asfáltica natural debe ser aquel que, cumpliendo las exigencias indicadas, permita alcanzar el valor máximo de resistencia tras curado húmedo Rh.

Tabla 321-3 Criterios de resistencia para la determinación de la dosificación óptima de mezcla asfáltica natural

Parámetro	Norma de ensayo INV	Valor
Resistencia de probetas curadas en seco Rs, mínimo (MPa)	E-622	1,5
Resistencia conservada tras curado húmedo Rc = Rh/Rs, mínimo (%)		50

321.4.2.3 Informe de diseño de la mezcla

El informe de diseño que presente el constructor, en el cual debe proponer la fórmula de trabajo por aplicar en cada tramo homogéneo, para consideración y eventual aprobación del interventor, debe contener por lo menos la siguiente información:

- La identificación y la proporción (en masa seca) de cada fracción del material granular a estabilizar.
- La granulometría de cada fracción del material granular.
- Las proporciones (en masa seca) de la mezcla asfáltica natural y del material granular.
- La granulometría combinada (agregado pétreo y mezcla asfáltica natural).
- El porcentaje de ligante asfáltico en la dosificación de diseño, con relación a la masa seca del componente mineral.
- El porcentaje de agua para compactación, con relación a la masa seca del componente mineral.
- Las resistencias a la compresión obtenidas en la prueba de inmersión - compresión.
- La masa unitaria seca máxima y la humedad óptima correspondientes a la dosificación de diseño.
- Los resultados de los ensayos complementarios que indiquen los documentos del proyecto.

321.4.2.4 Ajuste de la fórmula de trabajo

La fórmula de trabajo establecida en el laboratorio se puede ajustar con los resultados de las pruebas realizadas durante la fase de experimentación. Igualmente, si durante la ejecución de las obras varía la procedencia de alguno de los componentes de la mezcla, se debe requerir el estudio de una nueva fórmula de trabajo.

Los trabajos no pueden ser iniciados a escala industrial, si la fórmula de trabajo definitiva para cada tramo no ha sido aprobada por el interventor.

La aprobación de la fórmula de trabajo por parte del interventor no exime al constructor

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

de su plena responsabilidad de alcanzar, con base en ella, la calidad exigida en este artículo.

321.4.3 Preparación de la superficie existente

Si el material pétreo por estabilizar es totalmente de aporte, sea que la mezcla se realice en vía o en planta, antes de construir la subbase estabilizada se debe comprobar que la superficie que le va a servir de apoyo se encuentre limpia, tenga la densidad y la planicidad apropiadas y cumpla con las cotas indicadas en los documentos del proyecto. Todas las irregularidades que excedan las tolerancias establecidas en la especificación respectiva se deben corregir, de acuerdo con lo indicado en ella, hasta contar con la aprobación del interventor.

Si los documentos del proyecto exigen la aplicación previa de una imprimación, esta se debe efectuar de acuerdo con lo previsto en el artículo 420, Riego de imprimación.

En caso de que la construcción se vaya a realizar mediante el procedimiento de mezcla en vía en varias pasadas utilizando el material existente, este se debe escarificar en todo el ancho de la capa que se va a mezclar, hasta una profundidad suficiente para que, una vez compactada, la capa estabilizada alcance el espesor señalado en los documentos del proyecto. Si se contempla la adición de un material de aporte para mejorar el existente, ambos se deben mezclar uniformemente antes de iniciar la aplicación del ligante asfáltico a través de la mezcla asfáltica natural. Además, se debe comprobar que el material que se encuentre bajo el espesor por estabilizar presente adecuadas condiciones de resistencia y, en caso de no tenerlas, el interventor debe ordenar las modificaciones previas que considere necesarias en el procedimiento de trabajo.

En todos los casos debe estar concluida la construcción de los dispositivos necesarios que sean requeridos para el drenaje de la calzada, previamente a la construcción de la subbase estabilizada con mezcla asfáltica natural.

321.4.4 Transporte y almacenamiento de agregados de aporte

Cuando la estabilización incluya agregados de aporte, estos se deben transportar a la planta de mezcla o a la vía, según sea el caso, en vehículos apropiados, protegidos con lonas u otros cobertores adecuados, los cuales se deben asegurar a la carrocería para impedir que parte del material caiga sobre las vías por las cuales transitan los vehículos.

La mezcla asfáltica natural se puede acopiar, ya sea a lo largo de la vía a intervenir o en una zona aledaña a la misma, para después movilizarla en volquetas, cuidando que no pierda sus condiciones de calidad. Si el material está expuesto a condiciones climáticas adversas, deben tomarse las precauciones que se estimen convenientes para garantizar que la calidad de este se vea inmodificable.

Cuando se requiera almacenar los agregados destinados a la construcción de la subbase estabilizada con la mezcla asfáltica natural, se deben tener en cuenta los cuidados señalados en el numeral 300.4.3 del artículo 300.

321.4.5 Elaboración de la mezcla

Se recomienda realizar la mezcla del agregado pétreo seleccionado y la mezcla asfáltica natural en un patio fuera de la vía,

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

utilizando un cargador o un equipo que sea capaz de homogenizar los materiales en la proporción definida en la fórmula de trabajo.

En caso de utilizar parte de la capa existente como el material por estabilizar, la mezcla puede ser elaborada en la vía. El material que conforma la capa existente debe ser escarificado y pulverizado previamente. Si es necesario adicionar material de aporte, este se debe transportar a la vía para ser extendido en el ancho y en el espesor adecuados que permitan que la capa, luego de mezclada con el material pulverizado y la mezcla asfáltica natural, cumpla con las secciones indicadas en los documentos del proyecto.

Cuando la mezcla entre el agregado y la mezcla asfáltica natural se realice en la vía, el interventor debe aprobar por escrito el sector sobre el cual se van a homogenizar los materiales mediante las siguientes opciones: planta de mezcla, máquina estabilizadora con cámara de tambor rotatorio y motoniveladora. Si los documentos del proyecto no indican el equipo por utilizar, se debe dar por definido el uso de una máquina estabilizadora con cámara de tambor rotatorio de paso sencillo. Solo se debe permitir el uso de motoniveladora para la mezcla cuando los documentos del proyecto lo señalen taxativamente. Cualquiera que sea la forma utilizada, los materiales deben ser mezclados uniformemente y para ello debe distribuirse en dos cordones, verificando en cada uno de ellos la cantidad y la uniformidad de tal manera que garantice la obtención del contenido de asfalto y la granulometría combinada definida en la fórmula de trabajo. Previa verificación de la humedad se incorpora la cantidad debida de agua, en caso de requerirse, efectuando la mezcla correspondiente, perfilando la superficie de modo que presente aproximadamente la sección indicada en los documentos del proyecto. En caso de que el espesor de diseño exceda de quince centímetros (15 cm) la construcción de la capa estabilizada se debe fraccionar en dos (2) capas, preferiblemente de igual espesor.

321.4.6 Transporte de la mezcla

Si la mezcla es elaborada en una zona aledaña o en un patio de mezclado, esta se debe transportar a la vía en volquetas acondicionadas para tal fin. Durante el transporte de la mezcla se deben tomar las precauciones necesarias para reducir al mínimo la segregación y garantizar la uniformidad de la granulometría. La mezcla elaborada en el patio se debe transportar a la vía en volquetas hasta una hora del día en que las operaciones de extensión y compactación se puedan realizar correctamente con luz solar. Solo se permite el trabajo en horas de la noche si, por aprobación del interventor, existe una iluminación artificial que permita la extensión y compactación de la mezcla de manera adecuada.

321.4.7 Extensión y compactación de la mezcla

Después de las operaciones de mezclado y eventual transporte, la mezcla se extiende mecánicamente en el ancho especificado y en un espesor tal que, después de compactada, se ajuste a la sección transversal y a las cotas indicadas en los documentos del proyecto, con la verificación del constructor y el interventor.

Una vez se verifique que la mezcla tiene la humedad óptima de apisonado y el contenido óptimo de asfalto, se continúa con la compactación mediante el procedimiento definido durante la fase de experimentación,

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

hasta alcanzar los niveles de densidad exigidos en el numeral 321.5.2.4.3.

Independientemente del tipo de compactadores empleados, la compactación final se debe realizar con equipo neumático para eliminar las huellas de la maquinaria de construcción.

En las zonas que, por su reducida extensión o su proximidad a estructuras rígidas, no permitan el empleo del equipo aprobado durante la fase de experimentación, la mezcla se debe extender y compactar con los medios que resulten adecuados para el caso, de manera que la densidad alcanzada no sea inferior a la exigida por la presente especificación.

321.4.8 Juntas de trabajo

Todas las juntas de trabajo se deben disponer de forma que su borde quede vertical, cortando parte de la capa terminada. A todas las superficies de contacto de franjas construidas con anterioridad se les debe aplicar una capa uniforme y delgada de emulsión asfáltica, antes de colocar la mezcla nueva, de acuerdo con lo previsto en el artículo 421, Riego de liga. Las juntas transversales en la capa de rodadura se deben compactar transversalmente.

Si se trabaja por franjas, se deben disponer juntas longitudinales en todos los casos en que transcurra más de una jornada entre las operaciones en franjas contiguas. En lo posible, la mezcla se debe colocar en franjas del ancho apropiado para realizar el menor número de juntas longitudinales y conseguir la mayor continuidad de las operaciones de extendido teniendo en cuenta el ancho de la sección, las necesidades del tránsito, las características de la terminadora y la producción del material.

Cuando se emplee una terminadora, que es la opción recomendada, se debe regular de manera que la superficie de la capa extendida resulte lisa y uniforme, sin arrastres ni segregaciones, y con un espesor tal que, luego de compactada, se ajuste a la rasante y sección transversal indicadas en los documentos del proyecto con las tolerancias establecidas en la presente especificación. Por ningún motivo se permite el empleo de máquinas terminadoras que dejen marcas o depresiones en la superficie u otros defectos permanentes en ella.

Tampoco se permite la segregación de materiales. Si ocurre, la extensión de la mezcla debe ser suspendida inmediatamente hasta que su causa sea determinada y corregida. Toda área segregada que no sea corregida antes de la compactación debe ser removida y reemplazada con material apropiado, a expensas del constructor.

La colocación de la mezcla se debe realizar con la mayor continuidad posible, verificando dejar la superficie a las cotas previstas en el proyecto, con el objeto de no tener que corregir la capa extendida.

321.4.9 Fase de experimentación

Rige lo indicado en el numeral 300.4.2 del artículo 300.

Al comienzo de los trabajos, el constructor debe elaborar secciones de prueba cuya longitud, ancho y espesor deben quedar definidos en acuerdo con el interventor, para probar tanto el equipo como los materiales, y así establecer el método definitivo de trabajo, de manera que se cumplan los requisitos de la presente especificación.

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

El interventor debe tomar muestras del material estabilizado para determinar su conformidad en relación con las condiciones especificadas sobre el grado de disgregación del material mineral, espesor de capa, proporción de mezcla asfáltica natural, contenido de ligante asfáltico, compactación y demás requisitos exigidos, conforme a lo determinado en la fórmula de trabajo.

En caso de que los ensayos indiquen que el material estabilizado no se ajusta a dichas condiciones, el constructor debe hacer inmediatamente todas las correcciones necesarias y, si fuere preciso, modificar la fórmula de trabajo repitiendo las secciones de ensayo una vez efectuadas las correcciones hasta que ellas sean aprobadas por el interventor.

321.4.10 Apertura al tránsito

No se debe permitir el tránsito público hasta que la mezcla haya adquirido la densidad especificada y la capa compactada pueda soportar el paso de los vehículos sin que se produzcan desplazamientos. Si esto no es posible, el tránsito que necesariamente deba circular sobre ella se debe distribuir de manera que no se concentren las huellas de su circulación sobre la superficie. Los daños producidos por esta causa deben ser reparados por el constructor sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías – INVÍAS.

321.4.11 Conservación

El constructor debe conservar la capa estabilizada con la mezcla asfáltica natural en perfectas condiciones hasta que se construya la capa superior prevista en el proyecto. Todo daño que se presente debe ser corregido para lograr los requisitos de la presente especificación previa aprobación del interventor, sin costo adicional para INVÍAS.

321.4.12 Limitaciones en la ejecución

No se permite la extensión y compactación de mezclas cuando la temperatura ambiente a la sombra sea inferior a cinco grados Celsius (5 °C), esté lloviendo o exista alta probabilidad de que ello ocurra.

En caso de que la mezcla sin compactar o compactada sea afectada por el agua de lluvia, el constructor debe, a su costa, retirar la mezcla afectada y reconstruir el sector deteriorado con una nueva mezcla, hasta ser aprobado por el interventor.

Los trabajos de construcción de la capa de subbase estabilizada con una mezcla asfáltica natural se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en jornada nocturna, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial adecuado. Si el constructor no ofrece esta garantía, debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicional para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

321.4.13 Manejo ambiental

En relación con el manejo ambiental, debe regir todo lo que resulte aplicable del numeral 300.4.8 del artículo 300.

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

321.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

321.5.1 Controles

En adición a lo exigido por el numeral 300.5.1 del artículo 300, se deben efectuar ensayos para el control de calidad de la mezcla y de densidad y resistencia de la capa luego de compactada.

321.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

321.5.2.1 Calidad de los agregados pétreos a estabilizar

Se deben realizar los siguientes controles:

321.5.2.1.1 Aprobación inicial

De cada procedencia de los agregados pétreos a estabilizar con la mezcla asfáltica natural y para cualquier volumen previsto, se deben tomar cuatro (4) muestras y a cada fracción de ellas se le debe realizar los ensayos que se encuentran indicados en la Tabla 321-2, según corresponda. Los resultados de estas pruebas deben satisfacer las exigencias indicadas en ellas, so pena de rechazo de los materiales defectuosos.

321.5.2.1.2 Control durante el proceso de producción

Durante la etapa de producción de la mezcla estabilizada, se deben examinar las descargas a los acopios, ordenando el retiro de los agregados que, a simple vista, presenten restos de tierra vegetal, materia orgánica o tamaños superiores al máximo especificado. También se debe acopiar por separado aquellos materiales que presenten alguna anomalía de aspecto, vigilando la altura de todos los acopios y el estado de sus elementos separadores.

Tabla 321-4 Ensayos de verificación sobre los agregados pétreos por estabilizar

Característica	Norma de ensayo INV	Frecuencia
Composición (F)		
Granulometría combinada	INV E-213	1 por jornada
Dureza, agregado grueso (O)		
Desgaste en la Máquina de los Ángeles	INV E-218	1 por mes
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio	INV E-220	1 por mes
Limpieza, gradación combinada (F)		
Límite líquido	INV E-125	1 por jornada
Índice de plasticidad	INV E-125 INV E-126	1 por jornada
Terrones de arcilla y partículas deleznables	INV E-211	1 por semana
Equivalente de arena	INV E-133	1 por semana
Capacidad de soporte (F)		
CBR	INV E-148	1 por mes

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

Nota: Si no se especifica lo contrario, las características se deben verificar al agregado por estabilizar

Además, se deben efectuar las verificaciones de calidad a los agregados pétreos por estabilizar con la mezcla asfáltica natural, indicadas en la Tabla 321-4.

No se permite el empleo de materiales que no satisfagan los requisitos pertinentes del presente artículo. En la eventualidad de que alguna prueba reporte un resultado no satisfactorio, se deben tomar dos (2) muestras adicionales del material para proceder a repetir la prueba. Los resultados de ambos ensayos deben ser satisfactorios, de lo contrario, el interventor debe impedir el uso del volumen de material al cual representen dichos ensayos.

El interventor puede reducir la frecuencia de los ensayos a la mitad de lo indicado en la Tabla 321-4, siempre que considere que los materiales son suficientemente homogéneos o si en el control de recibo de la obra terminada haya aceptado sin objeción diez (10) lotes consecutivos.

321.5.2.2 Composición de la mezcla

Para efectos del control se considera como lote el volumen de material que resulte de aplicar los criterios del numeral 321.5.2.4.1.

Cuantitativamente se deben realizar los siguientes controles:

321.5.2.2.1 Contenido de asfalto

Sobre tres (3) muestras de la mezcla elaborada correspondiente a un lote definido como se indica en el numeral 321.5.2.4.1, se determina el contenido de asfalto residual (Norma de ensayo INV E-732).

El porcentaje de asfalto residual promedio del lote (ART %) debe tener una tolerancia de uno por ciento (1,0 %) para estabilizaciones realizadas en vía y cero coma cinco por ciento (0,5 %) para mezclas elaboradas en planta, con respecto al establecido en la fórmula de trabajo (ARF %).

(mezcla en vía)

$$ARF\% - 1{,}0\ \% \leq ART\ \% \leq ARF\ \% + 1{,}0\ \% \quad [321.1]$$

(mezcla en planta)

$$ARF\% - 0{,}5\ \% \leq ART\ \% \leq ARF\ \% + 0{,}5\ \% \quad [321.2]$$

A su vez, el contenido de asfalto residual de cada muestra individual (ARI %) no puede diferir del valor medio del lote (ART %) en más de uno por ciento (1,0 %), admitiéndose solo un (1) valor por fuera de este intervalo.

$$ART\ \% - 1{,}0\ \% \leq ARI\ \% \leq ART\ \% + 1{,}0\ \% \quad [321.3]$$

Un porcentaje de asfalto residual fuera de tolerancia, así como un número mayor de muestras individuales por fuera de los límites implica el rechazo del lote salvo que, en el caso de exceso del ligante, el constructor demuestre que no hay problemas de comportamiento de la capa estabilizada.

En caso de rechazo, la capa correspondiente al lote controlado debe ser levantada mediante fresado y corregida o reemplazada por el constructor, hasta contar con la aprobación del interventor, sin costo adicional para INVÍAS.

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

321.5.2.2.2 Granulometría

Sobre las muestras utilizadas para hallar el contenido de asfalto, se debe determinar la composición granulométrica de los agregados mediante la norma de ensayo INV E-782, la cual debe cumplir la gradación de la fórmula de trabajo dentro de las tolerancias establecidas en la Tabla 321-1.

Cuando los valores obtenidos incumplan estos requisitos, el constructor debe preparar en el laboratorio una mezcla con la gradación defectuosa. Ella se debe someter a las pruebas mencionadas en el numeral 321.4.2. Si todos los requisitos allí indicados no se cumplen, se rechaza el lote al cual correspondan esas muestras.

En caso de rechazo, la capa correspondiente al lote controlado debe ser levantada mediante fresado y corregida o reemplazada por el constructor, hasta contar con la aprobación del interventor, sin costo adicional para INVÍAS.

321.5.2.3 Calidad de la mezcla

321.5.2.3.1 Resistencia

Con un mínimo de dos (2) muestras por lote de la mezcla elaborada, se deben moldear probetas (tres (3) probetas por muestra) para verificar en el laboratorio su resistencia en los ensayos de inmersión-compresión (norma de ensayo INV E–622). Una muestra se debe curar en seco y otra en condición húmeda.

El promedio de la resistencia de las tres (3) probetas sometidas a curado seco (R_m) debe superar, o al menos igualar, el noventa por ciento (90 %) de la respectiva resistencia de la mezcla definitiva de trabajo (R_t). Un criterio similar se debe aplicar para las probetas sometidas a curado húmedo.

$$R_m \geq 0{,}90 \qquad [321.4]$$

Además, la resistencia de cada probeta (R_i) debe ser igual o superior al ochenta por ciento (80 %) del valor medio de su respectivo grupo. Se admite solo un (1) valor individual por debajo de ese límite:

$$R_i \geq 0{,}80 \qquad [321.5]$$

La resistencia conservada promedio (R_{cm}) debe ser, como mínimo, el cincuenta por ciento (50 %) sin que al respecto se admita ninguna tolerancia.

Si uno o más de estos requisitos se incumplen, se debe rechazar el lote al cual representan las muestras. En caso de rechazo, la capa correspondiente al lote controlado debe ser levantada mediante fresado y corregida o reemplazada por el constructor, hasta contar con la aprobación del interventor, sin costo adicional para INVÍAS.

Si el incumplimiento se presenta en dos (2) lotes consecutivos se deben suspender los trabajos hasta que se estudie una nueva fórmula de trabajo que garantice el cumplimiento de todos los requisitos establecidos en el numeral 321.4.2.

321.5.2.4 Calidad del producto terminado

321.5.2.4.1 Tamaño del lote

Se considera como lote que se acepta o rechaza en bloque, la menor área construida que resulte de los siguientes criterios, para una sola capa de subbase estabilizada con una mezcla asfáltica natural:

- Longitud de quinientos metros (500 m), medida a lo largo del eje de vía, de mezcla

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

colocada en todo el ancho de la calzada.

- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m^2) de mezcla colocada.

- La obra ejecutada con el mismo material, de la misma procedencia y con el mismo equipo y procedimiento de trabajo.

321.5.2.4.2 Aspectos generales

La capa terminada debe presentar una superficie uniforme y ajustarse a las rasantes y pendientes establecidas. La distancia entre el eje del proyecto y el borde de la capa, excluidos sus chaflanes, no debe ser menor que la señalada en los documentos del proyecto. La cota definitiva de cualquier punto de la capa no puede variar en más de diez milímetros (10 mm) de la proyectada.

321.5.2.4.3 Compactación

Los sitios para la determinación de la densidad de la capa se deben elegir al azar, según la norma de ensayo INV E-730 pero de manera que se realice al menos una (1) prueba por hectómetro. Se deben efectuar, como mínimo, cinco (5) ensayos por lote.

Para el control de la compactación de una capa de subbase estabilizada con una mezcla asfáltica natural, se debe calcular su grado de compactación a partir de los resultados de los ensayos de densidad en el terreno y del ensayo de relaciones humedad-peso unitario (ensayo modificado de compactación INV E-142), mediante la expresión que resulte aplicable entre las siguientes:

- Material sin sobre tamaños:

$$GC_i = \frac{\gamma_{d,i}}{\gamma_{d,máx}} \times 100 \qquad [321.6]$$

- Material con sobretamaños:

$$GC_i = \frac{\gamma_{d,}}{C\gamma_{d,máx}} \times 100 \qquad [321.7]$$

Siendo:

GC_i: Valor individual del grado de compactación, en porcentaje.

$\gamma_{d,i}$: Valor individual del peso unitario seco del material en el terreno determinado por cualquier método aplicable descrito en las normas de ensayo INV E-161, E-162 y E-164, sin efectuar corrección por presencia de sobretamaños de manera que corresponda a la muestra total.

$\gamma_{d,máx}$: Valor del peso unitario seco máximo del material obtenido según la norma de ensayo INV E-142 (ensayo modificado de compactación) sobre una muestra representativa del mismo.

$C\gamma_{d,máx}$: Valor del peso unitario seco máximo del material obtenido según la norma de ensayo INV E-142 sobre una muestra representativa del mismo, y corregido por sobretamaños según la norma de ensayo INV E-143, numeral 3.1, de manera que corresponda a la muestra total.

Sobretamaños (fracción gruesa) (P_{FG}), Porción de la muestra total retenida en el tamiz de control correspondiente al método utilizado para realizar el ensayo de compactación (norma INV E-142).

El peso unitario seco máximo corregido del material ($C\gamma_{d,máx}$) que se use para calcular el grado de compactación individual (GC_i) se debe obtener, para cada sitio, a partir del contenido de sobretamaños, (P_{FG}), presente en sitio.

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

Para la aceptación del lote se deben aplicar los siguientes criterios:

GC_l (90) ≥ 95,0 % se acepta el lote **[321.8]**

GC_l (90) < 95,0 % se rechaza el lote **[321.9]**

Donde:

GC_l (90): Límite inferior del intervalo de confianza en el que con una probabilidad del noventa por ciento (90 %), se encuentra el valor promedio del grado de compactación del lote, en porcentaje; se calcula según el numeral 107.3.1.3 del artículo 107, Control y aceptación de los trabajos, a partir de los valores individuales del grado de compactación (GC_i).

Las verificaciones de compactación se deben efectuar en todo el espesor de la capa que se está controlando.

En caso de rechazo la capa de subbase estabilizada correspondiente al lote controlado debe ser levantada mediante fresado y corregida por el constructor, hasta contar con la aprobación del interventor, sin costo adicional para INVÍAS.

321.5.2.4.4 Espesor

Sobre la base del lote escogido para el control de la compactación y en los mismos puntos de verificación, se debe determinar el espesor promedio de la capa compactada (e_m), el cual no debe ser inferior al espesor de diseño (e_d).

$$e_m \geq e_d \quad [321.10]$$

Además, el valor obtenido en cada determinación individual (e_i) debe ser como mínimo, igual al noventa por ciento (90 %) del espesor de diseño (e_d), admitiéndose un (1) solo valor por debajo de dicho límite, siempre que este último valor sea igual o mayor al ochenta y cinco por ciento (85 %) del espesor de diseño.

$$e_i \geq 0.90 * e_d \quad [321.11]$$

Si se incumple alguno de estos requisitos se debe rechazar el lote, salvo que el constructor se comprometa a compensar la deficiencia incrementando el espesor de la capa superior del pavimento en el espesor faltante, sin que ello genere costo alguno para INVÍAS, ni problemas por gálibo.

321.5.2.4.5 Planicidad

La superficie acabada no puede presentar, en ningún punto, zonas de acumulación de agua ni irregularidades mayores de quince milímetros (15 mm) cuando se compruebe con una regla de tres metros (3 m), según la norma de ensayo INV E-793. La regla se debe colocar tanto paralela como perpendicularmente al eje de la vía, en los sitios que escoja el interventor, los cuales no pueden corresponder a puntos donde haya cambios de pendiente transversal de acuerdo con el diseño.

321.5.2.4.6 Correcciones por variaciones en el diseño o por causas no imputables al Constructor

Cuando sea necesario efectuar correcciones a la capa estabilizada, por modificaciones en el diseño estructural o por fuerza mayor u otras causas inequívocamente no imputables al constructor, el interventor debe delimitar el área afectada y ordenar las correcciones necesarias por cuyo trabajo autoriza el pago al constructor, al respectivo precio unitario del contrato.

321.6 Medida

La subbase estabilizada con mezcla asfáltica natural se debe medir según lo descrito en el numeral 300.6.1 del artículo 300.

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

321.7 Forma de pago

La subbase estabilizada con mezcla asfáltica natural se debe pagar según lo descrito en el numeral 300.7 del artículo 300.

En el precio unitario se deben incluir todos los costos de explotación para los agregados pétreos de adición y/o importados y los de la mezcla natural.

321.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
321.1	Subbase estabilizada con mezcla asfáltica natural tipo SBEMAN-50	Metro cúbico (m^3)
321.2	Subbase estabilizada con mezcla asfáltica natural tipo SBEMAN-38	Metro cúbico (m^3)

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

Subbase granular con agregado siderúrgico

Artículo 323 - 22

323.1 Descripción

Este trabajo consiste en el suministro, transporte, colocación, humedecimiento, aireación, extensión, conformación, compactación y terminado de material de subbase granular adicionada con agregado siderúrgico instalada en una o varias capas sobre una superficie preparada, según sean los alineamientos pendientes y dimensiones indicados en los planos y demás documentos del proyecto aprobados por el interventor. Esta especificación hace referencia a la utilización de agregado siderúrgico proveniente de la trituración de escorias negras de horno eléctrico. No hacen parte de esta especificación escorias siderúrgicas de otras tipologías.

Para los efectos de esta especificación, se considera el agregado siderúrgico un material proveniente de la producción y refinado del acero, compuesto por óxidos y silicatos de alta resistencia al desgaste, inerte, tratado previamente para reducir su potencial expansivo y triturado conforme requerimientos granulométricos para subbase.

323.2 Materiales

323.2.1 Subbase granular

Inicialmente se definen tres clases de subbase granular con agregado siderúrgico en función de la calidad de los agregados siderúrgicos (clases A, B y C), como se indica en la Tabla 323-1. Los documentos del proyecto deben definir la clase de subbase con material granular siderúrgico para utilizar en el proyecto; asimismo, deben definir el tipo de granulometría por emplear.

Si los documentos del proyecto no orientan otra indicación, las clases de subbase granular con agregado siderúrgico se deben usar como se muestra en la Tabla 323-1, en función del nivel de tránsito del proyecto.

Tabla 323-1 Uso de subbase granular siderúrgica

Clase de sub-base granular con agregado siderúrgico	Nivel de tránsito
Clase C	NT1
Clase B	NT2
Clase A	NT3

Los agregados para la construcción de la subbase granular con agregado siderúrgico deben satisfacer los requisitos de calidad indicados en la Tabla 323-2; además, se debe ajustar a alguna de las franjas granulométricas que se muestran en la Tabla 323-3, salvo que los documentos del proyecto indiquen lo contrario.

Para niveles de tránsito NT3 se deben usar subbases granulares con agregado siderúrgico de gradación gruesa.

323.2.2 Requisitos de calidad de la mezcla de subbase granular con agregado siderúrgico

Tabla 323-2 Requisitos de calidad de la mezcla de subbase granular adicionada con agregado siderúrgico

Característica	Norma de ensayo INV/ASTM	Subbase granular adicionada con agregado siderúrgico		
		Clase c	Clase b	Clase a
Dureza (O)				
Desgaste en la máquina de los Ángeles (gradación A) máximo (%) 500 revoluciones (%)	INV E-218	50	50	50
Degradación por abrasión en el equipo Micro Deval máximo (%)	INV E-238	-	35	30
Durabilidad (O)				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%) - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	INV E-220	 12 18	 12 18	 12 18
Limpieza (F)				
Límite líquido, máximo (%)	INV E-125	25	25	25
Índice de plasticidad, máximo (%)	INV E-125 y INV E-126	6	6	6
Equivalente de arena, mínimo (%)	INV E-133	25	25	25
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%)	INV E-211	2	2	2
Resistencia del material (F)				
CBR (%): porcentaje asociado al grado de compactación mínimo especificado; el CBR se medirá sobre muestras previamente a cuatro días de inmersión	INV E-148	30	30	40
Absorción				
Absorción (%): Porcentaje asociado al Incremento de la masa de un agregado, debido a la penetración de agua dentro de los poros de sus partículas durante un período especificado	INV E-223	4,0 (máximo)	4,0 (máximo)	4,0 (máximo)
Expansión				
Expansión potencial de agregados por reacciones de hidratación máximo (%)	ASTM D4792	0,5	0,5	0,5

Tabla 323-3 Franjas granulométricas del material de subbase granular con agregado siderúrgico

Tipo de gradación	Tamiz (mm /U.S. Standard)								
	50,0	37,50	25,00	19,00	9,50	4,75	2,00	0,425	0,075
	2 Pulgada	1 ½ Pulgada	1 Pulgada	¾ Pulgada	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 10	Nro. 40	Nro. 200
	Pasa tamiz (%)								
SBG-50	100	70-95	60-90	45-75	40-70	22-55	15-40	6-25	2-15
SBD-38		100	75-95	55-85	45-75	30-60	20-45	8-30	2-15
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)		0%	7%			6%			3%

Para prevenir segregaciones y garantizar los niveles de compactación y resistencia exigidos por la presente especificación, el material que produzca el constructor debe dar lugar a una curva granulométrica uniforme y sensiblemente paralela a los límites de la franja, sin saltos bruscos de la parte superior de un tamiz a la parte inferior de un tamiz adyacente.

Dentro de la franja elegida el constructor debe proponer al interventor una "fórmula de trabajo" a la cual se debe ajustar durante la construcción de la capa, con las tolerancias que se indican en la Tabla 323-3, pero sin permitir que la curva se salga de la franja adoptada, por otra parte la relación entre el porcentaje que pasa el tamiz de cero coma cero setenta y cinco milímetros (0,075 mm) (nro. 200) y el porcentaje que pasa el tamiz de cuatro coma sententa y cinco milímetros (4,75 mm) (nro. 4) no debe exceder de dos tercios (2/3) y el tamaño máximo nominal no debe exceder de un tercio (1/3) del espesor de la capa compactada.

Los agregados siderúrgicos eventualmente pueden ser mezclados con otro tipo de agregados pétreos o de suelos con el objetivo de efectuar una compensación granulométrica y poder cumplir los requerimientos de desempeño establecidos en la presente especificación (Tabla 323-2). Esta estabilización granulométrica debe ser específica en diseño y aprobada por el interventor.

En caso de utilizar material cien por ciento (100%) de origen siderúrgico, se debe evaluar en obra la facilidad de compactación del material mediante la concepción de un tramo de prueba.

323.3 Equipo

En este aspecto rigen las condiciones generales que se indican del artículo 300, Disposiciones generales para la ejecución de afirmados, subbases granulares y bases granulares y estabilizadas, en el numeral 300.3. Para la construcción de la subbase granular con agregado siderúrgico se requieren equipos para la explotación de los materiales, una planta de trituración, una unidad clasificadora, equipo de lavado (de ser necesario), equipos para mezclado, cargue y transporte desde la siderúrgica del material especificado, extensión, humedecimiento y compactación del material, así como herramientas menores.

323.4 Ejecución de los trabajos

323.4.1 Preparación de la superficie existente

El interventor solo debe autorizar la colocación de material de subbase granular con agregado siderúrgico, cuando la superficie sobre la cual se debe apoyar tenga la compactación apropiada y las cotas y secciones indicadas en los planos y definidas con las tolerancias establecidas.

De igual forma debe estar concluida la construcción de las cunetas, desagües y filtros necesarios para el drenaje de la calzada. Si en la superficie de apoyo existen irregularidades que excedan las tolerancias determinadas en la especificación de la capa, la cual forma parte de acuerdo con lo que se prescribe en la unidad de obra correspondiente, el constructor debe hacer las correcciones necesarias a satisfacción del interventor.

323.4.2 Transporte y almacenamiento de material

El transporte y almacenamiento de materiales deben cumplir lo establecido en el artículo 300, específicamente en los numerales 300.4.5 y 300.4.3 respectivamente.

323.4.3 Extensión, colocación y conformación del material

El material se debe disponer en un cordón de sección uniforme donde el interventor debe verificar su homogeneidad. Si la capa de subbase granular con agregado siderúrgico se va a construir mediante la combinación de dos (2) o más materiales, estos se deben mezclar en un patio fuera de la vía, por cuanto su mezcla dentro del área del proyecto no está permitida.

En caso de que sea necesario humedecer o airear el material para lograr la humedad óptima de compactación, el constructor debe emplear el equipo adecuado y aprobado, de manera que no perjudique la capa subyacente y deje el material con una humedad uniforme.

El material después de humedecido o aireado, se debe extender en todo el ancho previsto en una capa de espesor uniforme que permita obtener el espesor y el grado de compactación exigidos, de acuerdo con los resultados obtenidos en la fase de experimentación.

En todo caso, la cantidad de material extendido debe ser tal, que el espesor de la capa compactada no resulte inferior a cien milímetros (100 mm) ni superior a doscientos milímetros (200 mm). Si el espesor de subbase compactada por construir es superior a doscientos milímetros (200 mm), el material se debe colocar en dos o más capas, procurando que el espesor de ellas sea sensiblemente igual y nunca inferior a cien milímetros (100 mm).

El material extendido debe mostrar una distribución granulométrica uniforme, sin segregaciones evidentes. El interventor no debe permitir la colocación de la capa siguiente, antes de verificar y aprobar la compactación de la precedente. En operaciones de bacheo o en aplicaciones en áreas reducidas, el constructor debe proponer al interventor los métodos de extensión que garanticen la uniformidad y calidad de la capa.

323.4.4 Compactación

Una vez que el material presente la humedad apropiada, se deben ajustar los alineamientos y secciones típicas del proyecto, igualmente debe ser compactado con el equipo aprobado por el interventor hasta alcanzar la densidad seca especificada en el ensayo Proctor modificado (INV E-142).

Aquellas zonas que por su reducida extensión, su pendiente o su proximidad a obras de arte no permitan la utilización del equipo que

normalmente se utiliza, se debe compactar por los medios adecuados para el caso, en tal forma que la densidad seca que se alcance no sea inferior a la obtenida en el resto de la capa.

La compactación se debe efectuar longitudinalmente, comenzando por los bordes exteriores y avanzando hacia el centro, traslapando en cada recorrido un ancho no menor de la mitad del ancho del rodillo compactador. En las zonas peraltadas, la compactación se realiza del borde inferior al superior.

El acabado final de la subbase debe garantizar una superficie lisa y apropiada para la conformación de las capas superiores.

323.4.5 Apertura al tránsito

Sobre las capas en ejecución se prohíbe la acción de todo tipo de tránsito mientras no se haya completado la compactación. Si ello no es factible, el tránsito que necesariamente deba pasar sobre ellas se debe distribuir de forma que no se concentren ahuellamientos sobre la superficie. El constructor debe responder por los daños producidos por esta causa y proceder a la reparación de estos de acuerdo a las indicaciones del interventor.

323.4.6 Limitaciones en la ejecución

No se permite la extensión de ninguna capa de material de subbase granular con agregado siderúrgico mientras no haya sido realizada la nivelación y comprobación del grado de compactación de la capa precedente, tampoco se puede ejecutar la subbase granular con agregado siderúrgico en momentos en que haya lluvia o su temperatura ambiente sea inferior a dos grados Celsius (2° C).

Los trabajos de construcción de la subbase granular con agregado siderúrgico se deben realizar de preferencia en condiciones de luz solar, sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVIAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horario nocturno, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que resulte satisfactorio para este.

Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

323.4.7 Conservación

El constructor debe conservar la capa de subbase granular con agregado siderúrgico en las condiciones aceptada por el interventor, hasta el momento de ser recubierta por la capa inmediatamente superior, aun cuando aquella sea librada parcial o totalmente al tránsito público.

Durante dicho lapso el constructor debe reparar sin costo adicional para INVIAS, todos los daños que se produzcan en la subbase granular con agregado siderúrgico y restablecer el mismo estado en el cual ella se aceptó.

323.4.8 Manejo ambiental

Se aplica lo pertinente al artículo 300, específicamente el numeral 300.4.8. En adición a lo estipulado en el artículo 106, Aspectos ambientales, se describen a continuación algunos de los cuidados relevantes en relación con la protección ambiental, sin perjuicio de los que exijan los documentos de cada proyecto en particular o la legislación ambiental vigente.

El interventor acepta el uso de las fuentes de materiales alternativos como los agregados siderúrgicos, y debe exigir:

a) Las instalaciones de trituración de agregados siderúrgicos no pueden estar localizadas en áreas de preservación ambiental.

b) El proveedor del agregado siderúrgico debe contar con las pruebas de peligrosidad del material citadas en el decreto 1076 del 2015 artículo 2.2.6.2.3.6 o su equivalente. Para determinar la peligrosidad de un residuo exiten las pruebas descritas en la Tabla 323-4. Los valores de referencia para los parámetros evaluados en las pruebas de peligrosidad deben estar conforme con lo dispuesto en el anexo III del decreto 4741 de 2005 para ser considerado un residuo no peligroso. El agregado siderúrgico debe ser certificado por el proveedor y previamente aprobado por el interventor siempre y cuando no supere los límites de peligrosidad admisibles y que el muestreo ser realice según resolución 062 2007 IDEAM o la norma que llegue a reemplazarla.

Tabla 323-4 Pruebas de peligrosidad del material (agregado siderúrgico)

Prueba	Norma
Corrosividad	EPA 1110 A
Inflamabilidad	EPA 1030
Reactividad	EPA Literal 7.3 capítulo 7 SW-846
Toxicidad	EPA 1311 (Ácido Nítrico clorhídrico)
Ecotoxicidad	Res 0062 de 2007 del IDEAM (actualizada y no más de tres (3) años de antigüedad.

Nota: La sigla EPA se refiere a U.S. Environmental Protection Agency

c) El agregado siderúrgico para usar debe haber pasado por el proceso de desmetalización y contar con la madurez de estabilización requerida minina de seis (6) meses. El proveedor debe garantizar que el agregado siderúrgico cumple con las condiciones de desmetalización para poder ser aprobado por el interventor.

d) El interventor debe suministrar al fabricante del agregado siderúrgico información en relación con el uso en concreto que se le vaya a dar.

323.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

323.5.1 Controles

Rige lo indicado en el numeral 300.5.1 del artículo 300.

Además, se deben llevar en consideración las siguientes recomendaciones:

- Los agregados no deben sufrir una degradación excesiva con motivo de su manejo y compactación en obra.

- El uso de agregado siderúrgico en la ejecución de la subbase debe estar incluido en la documentación específica para el establecimiento del proceso de licencia ambiental del proyecto. Se deben seguir las indicaciones y requisitos relevantes del órgano ambiental competente para proceder con la licencia.

- Es importante verificar la capacidad de absorción y la porosidad del agregado siderúrgico, así como también debe ser evaluado el potencial expansivo del agregado.

323.5.2 Condiciones especiales para recibo y tolerancia

Los retrasos en el cronograma debidos a las deficiencias o al reemplazo de materiales, así como los costos asociados a estas circunstancias son responsabilidad del constructor.

323.5.2.1 Calidad de los agregados siderúrgicos

Control de procedencia

De cada fuente de agregado siderúrgico y para cualquier volumen previsto se deben tomar cuatro (4) muestras representativas para realizar los ensayos especificados en la Tabla 323-2, los resultados de ellos deben satisfacer las exigencias indicadas en dicha tabla.

Control de producción

Durante la etapa de producción se examinan las descargas a los acopios y se ordena el retiro de los agregados que a simple vista, presenten restos de tierra vegetal, materia orgánica o tamaños superiores al máximo especificado, así mismo, se ordena que se acopien por aparte aquellos que presenten una anomalía evidente de aspecto, como distinta coloración, plasticidad o segregación.

Al material ya colocado en la vía se le realizan controles con la frecuencia que se indica en laTabla 323-5.

Tabla 323-5 Verificaciones periódicas de la calidad del material de subbase con agregado siderúrgico

Características	Norma de ensayo	Frecuencia
Granulometría	INV E-213	Una (1) vez por jornada
Limite líquido	INV E-125	Una (1) vez por jornada
Índice de plasticidad	INV E-25 y INV E-126	Una (1) vez por jornada
Equivalente de arena	INV E-133	Una (1) vez por semana
Desgaste en máquina de los Ángeles	INV E-218	Una (1) vez por semana
Ensayo modificado de compactación	INV E-142	Una (1) vez por semana
CBR de laboratorio	INV E-148	Una (1) vez por semana
Ensayo de densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso	INV E-223	Una (1) vez por semana

El interventor puede reducir la frecuencia de los ensayos a la mitad de lo indicado en la Tabla 323-5, siempre que considere que los materiales son suficientemente homogéneos o si en el control de recibo de la obra terminada hubiese aceptado sin objeción diez (10) lotes consecutivos.

En el caso de mezcla de dos (2) o más materiales, los controles se realizan sobre el material mezclado y con la fórmula de trabajo aprobada para el proyecto. Cuando el interventor considere que las características del material que está siendo explotado en una fuente han cambiado, se deben repetir todos los ensayos especificados en la Tabla 323-2 y adoptar los correctivos que sean necesarios.

Conservación de las propiedades de los agregados siderúrgicos

Los agregados siderúrgicos no deben sufrir una degradación excesiva con motivo de su manejo y compactación en obra, para verificarlo, cada semana se deben tomar muestras representativas del material colocado y

compactado durante la semana previa, las cuales se someten a los ensayos que se indican en la Tabla 323-5. Los resultados de estos ensayos deben satisfacer las exigencias indicadas en el numeral 323.2.2, si no las cumplen, se debe suspender inmediatamente el empleo del material y se debe delimitar el área donde se haya utilizado la cual debe ser demolida y reconstruida por el constructor sin costo adicional para INVIAS, empleando un material de subbase granular apropiado, es importante resaltar que el material de reemplazo debe ser una subbase que cumpla los requisitos del artículo 320, Subbase granular.

323.5.2.2 Calidad del producto terminado

Terminado

La capa de subbase granular con agregado siderúrgico terminada debe presentar una superficie uniforme, sin agrietamientos, baches, laminaciones ni segregaciones; si el interventor considera que es necesario realizar correcciones por este concepto, debe delimitar el área afectada y el constructor la debe escarificar en un espesor de cien milímetros (100 mm) y después de efectuar las correcciones necesarias, debe mezclar y compactar de nuevo hasta que tanto el área delimitada como las adyacentes, cumplan todos los requisitos exigidos en el presente artículo.

La rasante de la superficie terminada no debe superar a la teórica en ningún punto, de igual forma no debe quedar por debajo de ella en más de quince milímetros (15 mm). La distancia entre el eje del proyecto y el borde de la berma no debe ser inferior a la señalada en los documentos del proyecto.

Cuando los niveles de la rasante no se cumplan por defecto y no existan problemas de encharcamiento, el interventor puede aceptar la superficie siempre que la capa superior a ella compense la disminución con el espesor adicional necesario, sin incremento de costo para INVIAS, de lo contrario, estas áreas deben ser rebajadas, humedecidas, compactadas y terminadas nuevamente hasta cumplir las cotas y el espesor establecidos en los documentos del proyecto y con las exigencias de la presente especificación.

Cuando no se cumpla por exceso, este se debe corregir por cuenta del constructor, siempre y cuando no suponga una reducción del espesor de la capa por debajo del valor especificado en los documentos del proyecto.

La verificación de los perfiles longitudinales y transversales del proyecto se debe hacer mediante puntos de referencia altimétrica a distancias no superiores a veinte metros (20 m). En las zonas de transición de peraltes, esta verificación se debe realizar cada diez metros (10 m) como máximo. El ancho de la sección en ningún caso debe ser inferior al establecido en los documentos del proyecto.

Compactación

Para efectos del control, se debe considerar como lote, que se acepta o rechaza en conjunto, la menor área construida que resulte de aplicar los siguientes criterios:

- Quinientos metros (500 m) de capa compactada en el ancho total de la subbase granular con agregado siderúrgico.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m^2) de subbase granular con agregado siderúrgico compactada.
- La obra ejecutada en una jornada de trabajo.
- La obra ejecutada con el mismo material de la misma procedencia con el mismo equipo y procedimiento de trabajo.
- Los sitios para la determinación de la densidad de la capa se deben elegir al azar,

según la norma de ensayo INV E-730, pero de manera que se realice al menos una (1) prueba por hectómetro. Se deben efectuar, como mínimo, cinco (5) ensayos por lote. Para el control de la compactación de una capa de subbase granular, se debe calcular su grado de compactación a partir de los resultados de los ensayos de densidad en el terreno y del ensayo de relaciones contenido de agua-peso unitario (ensayo modificado de compactación), mediante la expresión que resulte aplicable entre las siguientes:

- Material sin sobretamaños:

$$GC_i = \frac{\gamma_{d,i}}{\gamma_{d,máx}} * 100 \qquad [323.1]$$

- Material con sobretamaños:

$$GC_i = \frac{\gamma_{d,i}}{C\gamma_{d,máx}} * 100 \qquad [323.2]$$

Donde:

GC_i, valor individual del grado de compactación, en porcentaje.

$\gamma_{d,i}$, valor individual del peso unitario seco del material en el terreno determinado por cualquier método aplicable de los descritos en las normas de ensayo INV E-161, E-162 y E-164, sin efectuar corrección por presencia de sobre tamaños de manera que corresponda a la muestra total.

$\gamma_{d,máx}$, valor del peso unitario seco máximo del material, obtenido según la norma de ensayo INV E-142 (ensayo modificado de compactación) sobre una muestra representativa del mismo.

$C\gamma_{d,máx}$, valor del peso unitario seco máximo del material, obtenido según la norma de ensayo INV E-142 sobre una muestra representativa del mismo y corregido por sobre tamaños según la norma de ensayo INV E-143, numeral 3.1, de manera que corresponda a la muestra total.

– Sobretamaños (fracción gruesa) (P_{FG}), porción de la muestra total retenida en el tamiz de control correspondiente al método utilizado para realizar el ensayo de compactación (norma INV E-142).

– El peso unitario seco máximo corregido del material ($C\gamma_{d,máx}$) que se use para calcular el grado de compactación individual (GC_i) se debe obtener, para cada sitio, a partir del contenido de sobretamaños (P_{FG}) presente en ese sitio.

– Para la aceptación del lote se deben aplicar los siguientes criterios:

GC_i (90) ≥ 95 % se acepta el lote. [323.3]
GC_i (90) < 95 % se rechaza el lote. [323.4]

Donde:

GC_i (90), límite inferior del intervalo de confianza en el que, con una probabilidad del noventa por ciento (90 %), se encuentra el valor promedio del grado de compactación del lote, en porcentaje. Este límite se calcula según el numeral 107.3.1.3 del artículo 107, Control y aceptación de los trabajos, a partir de los valores individuales del grado de compactación (GC_i).

– Las verificaciones de compactación se deben efectuar en todo el espesor de la capa que se está controlando.

– Los lotes que no alcancen las condiciones mínimas de compactación se deben escarificar, homogenizar, llevar al contenido de agua adecuado y compactar nuevamente hasta obtener el valor de densidad seca especificado.

Espesor

Sobre la base de los sitios escogidos para el control de la compactación, el interventor debe determinar el espesor medio de la capa compactada (e_m), el cual no puede ser inferior al espesor de diseño (e_d).

$$e_m \geq e_d \qquad [323.5]$$

Además, el espesor obtenido en cada determinación individual (e_i) debe ser cuando menos, igual al noventa por ciento (90 %) del espesor de diseño (e_d). Se admite solo un (1) valor por debajo de dicho límite siempre y cuando este valor sea igual o mayor al ochenta y cinco por ciento (85 %) del espesor de diseño.

$$e_i \geq 0{,}90 * e_d \qquad [323.6]$$

Si uno o más de estos requisitos se incumplen, el constructor debe escarificar la capa en un espesor mínimo de cien milímetros (100 mm), añadir el material necesario de las mismas características, compactar nuevamente y terminar la capa conforme lo exige el presente artículo.

Si el espesor medio (e_m) resulta inferior al espesor de diseño (e_d), pero ningún valor individual es inferior al noventa por ciento (90 %) del espesor de diseño, el interventor puede admitir el espesor construido, siempre que el constructor se comprometa, por escrito, a compensar la disminución con el espesor adicional necesario de la capa superior, sin que ello implique ningún incremento en los costos para INVIAS. Si el constructor no suscribe este compromiso se debe proceder como en el párrafo anterior.

Regularidad

Se debe comprobar la uniformidad de la superficie de la obra ejecutada mediante la regla de tres metros (3 m), según la norma de ensayo INV E-793, en todos los sitios que el interventor considere conveniente. La regla se debe colocar tanto paralela como perpendicularmente al eje de la vía y no se deben admitir variaciones superiores a veinte milímetros (20 mm) para cualquier punto que no esté afectado por un cambio de pendiente.

Cualquier área donde se detecten irregularidades que excedan esta tolerancia, debe ser delimitada por el interventor y el constructor debe corregirla con reducción o adición de material en capas de poco espesor, en cuyo caso, para asegurar buena adherencia es obligatorio escarificar la capa existente y compactar nuevamente la zona afectada hasta alcanzar los niveles de compactación exigidos en el presente artículo.

Zonas de bacheos

En las zonas de bacheos se deben satisfacer las mismas exigencias de terminado, compactación, espesor y regularidad incluidas en este numeral, pero queda a criterio del interventor la decisión sobre la frecuencia de las pruebas, la cual debe depender del tamaño de las áreas tratadas.

Correcciones por variaciones en el diseño o por causas no imputables al constructor

Cuando sea necesario efectuar correcciones a la capa de subbase granular con agregado siderúrgico, por modificaciones en el diseño estructural o por fuerza mayor u otras causas inequívocamente no imputables al constructor, el interventor debe delimitar el área afectada y ordenar las correcciones necesarias, por cuyo trabajo debe autorizar el pago al constructor, al respectivo precio unitario del contrato.

323.6 Medida

La subbase granular con agregado siderúrgico se mide según lo descrito en el numeral 300.6.1 del artículo 300.

323.7 Forma de pago

La subbase granular con agregado siderúrgico se debe pagar según lo que sea aplicable del numeral 300.7 del artículo 300.

323.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
323.1	Subbase granular con agregado siderúrgico clase A	Metro cúbico (m^3)
323.2	Subbase granular con agregado siderúrgico clase B	Metro cúbico (m^3)
323.3	Subbase granular con agregado siderúrgico clase C	Metro cúbico (m^3)
323.4	Subbase granular con agregado siderúrgico para bacheo clase A	Metro cúbico (m^3)
323.5	Subbase granular con agregado siderúrgico para bacheo clase B	Metro cúbico (m^3)
323.6	Subbase granular para con agregado siderúrgico bacheo clase C	Metro cúbico (m^3)

Base granular

Artículo 330 – 22

330.1 Descripción

Este trabajo consiste en el suministro, el transporte, la colocación, el humedecimiento o la aireación, la extensión y la conformación, la compactación y el terminado de material de base granular aprobado sobre una superficie preparada, en una o varias capas, de conformidad con los alineamientos, las pendientes y las dimensiones indicados en los documentos del proyecto.

330.2 Materiales

330.2.1 Clases de base granular

Se definen tres clases de base granular en función de la calidad de los agregados (clases A, B y C), como se indica en la Tabla 330 — 2. Los documentos del proyecto deben definir la clase de base granular por utilizar, así mismo, definir el tipo de granulometría que se debe emplear.

Si los documentos del proyecto no indican otra cosa, las clases de base granular se deben usar como se indica en la Tabla 330 — 1, en función del nivel de tránsito del proyecto.

Tabla 330 — 1. Uso típico de las diferentes clases de base granular

Clase de base granular	Nivel de tránsito
Clase A	NT3
Clase B	NT2
Clase C	NT1

330.2.2 Requisitos de calidad para los agregados

Los agregados para la construcción de la base granular deben satisfacer los requisitos de calidad indicados en la Tabla 330 — 2. Además, se deben ajustar a alguna de las franjas granulométricas que se muestran en la Tabla 330 — 3; salvo que los documentos del proyecto indiquen otra cosa, para niveles de tránsito NT3 se deben usar bases granulares de gradación gruesa. Cuando los materiales de base no cumplan los requisitos de la Tabla 330 — 2, estos pueden ser tratados con cemento para mejorar sus propiedades. Las recomendaciones de construcción para tener en cuenta son las establecidas en el artículo 350, Materiales granulares tratados con cemento como capa estructural.

No se debe aceptar el suministro y la utilización de materiales que no cumplan los requisitos indicados en esta especificación.

Tabla 330 — 2. Requisitos de los agregados para bases granulares

Característica	Norma de ensayo INV	Base granular		
		Clase A	Clase B	Clase C
Dureza (O)				
Desgaste en la máquina de Los Ángeles (Granulometría A), máximo (%): - 500 revoluciones - 100 revoluciones	E-218	 35 7	 40 8	 40 8
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%).	E-238	25	30	-
Evaluación de la resistencia mecánica por el método del 10 % de finos: - Valor en seco, mínimo (kN) - Relación húmedo/seco, mínimo (%)	E-224	 90 75	 70 75	 - -
Durabilidad (O)				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%). (Nota 1): - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	E-220	 12 18	 12 18	 12 18
Limpieza (F)				
Límite líquido, máximo (%).	E-125	-	-	25
Índice de Plasticidad, máximo (%).	E-125 y E-126	0	0	3
Equivalente de arena, mínimo (%).	E-133	30	30	30
Valor de azul de metileno, máximo (Nota 2).	E-235	10	10	10
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%).	E-211	2	2	2
Geometría de las Partículas (F)				
Índices de alargamiento y aplanamiento, máximo (%).	E-230	35	35	35
Caras fracturadas, mínimo (%). (Nota 3): - Una cara - Dos caras	E-227	 90 85	 70 50	 50 -
Angularidad de la fracción fina, mínimo (%).	E-239	35	35	-
Resistencia de material (F)				
CBR (%): porcentaje asociado al grado de compactación mínimo especificado (numeral 330.5.2.2.2); el CBR se debe medir sobre muestras sometidas previamente a cuatro días (4 d) de inmersión.	E-148	≥ 95	≥ 80	≥ 80

Nota 1: el ensayo de solidez se puede realizar con sulfato de sodio o sulfato de magnesio, de acuerdo con los documentos del proyecto, o con lo solicitado por el interventor.

Nota 2: el ensayo de valor de azul de metileno solo se debe exigir cuando el equivalente de arena del material de base granular sea inferior a treinta por ciento (30 %), pero igual o superior a veinticinco por ciento (25 %).

Nota 3: se puede reducir el porcentaje de partículas con caras fracturadas, siempre y cuando el constructor demuestre, mediante ensayos de laboratorio o tramos de prueba, que no se ve afectada la resistencia requerida por los materiales.

Tabla 330 — 3. Franjas granulométricas del material de base granular

Tipo de gradación	Tamiz (mm / U.S. *Standard*)							
	37,5	25,0	19,0	9,5	4,75	2,00	0,425	0,075
	1½ Pulgadas	1 Pulgada	3/4 Pulgada	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 10	Nro. 40	Nro. 200
	Pasa tamiz (%)							
Bases granulares de gradación gruesa								
BG-40	100	75 — 100	65 — 90	45 — 68	30 — 50	15 — 32	7 — 20	0 — 9
BG-27	-	100	75 — 100	52 — 78	35 — 59	20 — 40	8 — 22	0 — 9
Bases granulares de gradación fina								
BG-38	100	70 — 100	60 — 90	45 — 75	30 — 60	20 — 45	10 — 30	5 — 15
BG-25	-	100	70 — 100	50 — 80	35 — 65	20 — 45	10 — 30	5 — 15
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	0 %	7 %			6 %			3 %

Para prevenir segregaciones y garantizar los niveles de compactación y resistencia exigidos por la presente especificación, el material que produzca el constructor debe dar lugar a una curva granulométrica uniforme y sensiblemente paralela a los límites de la franja, sin saltos bruscos de la parte superior de un tamiz a la inferior de otro adyacente y viceversa.

Dentro de la franja elegida, el constructor debe proponer al interventor una fórmula de trabajo a la cual se debe ajustar durante la construcción de la capa, con las tolerancias que se indican en la Tabla 330 — 3, pero sin permitir que la curva se salga de la franja adoptada. Una vez elegida la franja granulométrica, esta no se puede cambiar por otra, sin previa autorización del interventor.

Los agregados gruesos, retenidos sobre el tamiz de 4,75 mm (nro. 4), deben ser partículas resistentes, durables, constituidas de fragmentos de roca o grava. No se deben usar materiales que se quiebran o degradan con los ciclos alternados de humedecimiento-secado.

Los agregados finos, que pasan por el tamiz de 4,75 mm (nro. 4), deben estar constituidos por arenas naturales o trituradas, y por partículas minerales que pasan por el tamiz de 0,075 mm (nro. 200).

Además, la relación entre el porcentaje que pasa el tamiz de 0,075 mm (nro. 200) y el porcentaje que pasa el tamiz de 0,425 mm (nro. 40), no debe exceder de dos tercios (2/3) del espesor de la capa compactada, y el tamaño máximo nominal no debe exceder un tercio (1/3) del mismo espesor.

330.3 Equipo

Al respecto, rigen las condiciones generales que se indican en el numeral 300.3 del artículo 300. Para la construcción de la base granular se requieren equipos para la explotación de los materiales, una planta de trituración, una unidad clasificadora y, de ser necesario, un equipo de lavado. También se requieren equipos para mezclado, cargue, transporte, extensión, humedecimiento y compactación del material, así como herramientas menores.

Estos equipos deben ser capaces de asegurar la completa homogeneización de los componentes dentro de las tolerancias fijadas; los equipos de cargue y transporte deben contar con superficies lisas y limpias, y disponer de lonas o cobertores adecuados para proteger el material durante su transporte. Para la extensión del material, cuando la obra tenga una superficie por conformar superior a los setenta mil metros cuadrados (> 70 000 m^2), se deben utilizar extendedoras automotrices, que deben estar dotadas de sistemas automáticos de nivelación y de los dispositivos necesarios para la puesta en obra de la capa de base con la configuración deseada, y para proporcionarle un mínimo de compactación. En el resto de los casos el constructor debe disponer los equipos necesarios para la extensión del material, con previa autorización del interventor.

Todos los compactadores deben ser autopropulsados y tener inversores del sentido de la marcha de acción suave. Como mínimo se debe emplear un (1) compactador vibratorio de rodillos metálicos.

El rodillo metálico del compactador vibratorio debe tener una carga estática sobre la generatriz no inferior a treinta kilonewtons por metro (30 kN/m) y debe ser capaz de alcanzar una masa de al menos quince mil kilogramos (15 000 kg), con amplitudes y frecuencias de vibración adecuadas.

Si se utilizan compactadores de neumáticos, estos deben ser capaces de alcanzar una masa de, al menos, veintiocho mil kilogramos (28 000 kg) y una carga por rueda de al menos treinta y nueve coma dos kilonewtons (39,2 kN) aproximadamente, con una presión de inflado que pueda llegar a alcanzar un valor no inferior a cero coma ocho megapascales (0,8 MPa).

Los compactadores de rodillos metálicos deben tener dispositivos automáticos para eliminar la vibración al invertir el sentido de la marcha, y no deben presentar surcos ni irregularidades en ellos. Los compactadores de neumáticos deben tener ruedas lisas, en número, tamaño y configuración tales que permitan el solape de las huellas de las delanteras con las de las traseras. En los lugares inaccesibles para los equipos de compactación convencionales, el constructor debe emplear otros de tamaño y diseño adecuados para la labor que se pretenda realizar, y siempre deben ser autorizados por el interventor.

El agua añadida se debe controlar mediante un caudalímetro, cuya precisión debe ser superior al dos por ciento (2 %), y un

totalizador con indicador en la cabina de mando de la central. El equipo de humedecimiento y mezclado debe ser capaz de asegurar la completa homogeneización de los componentes dentro de las tolerancias fijadas.

330.4 Ejecución de los trabajos

330.4.1 Explotación de materiales y elaboración de agregados

Rige lo indicado en el numeral 300.4.1 del artículo 300.

330.4.2 Preparación de la superficie existente

El interventor solo debe autorizar la colocación de material de base granular cuando la superficie sobre la cual se debe asentar tenga la compactación apropiada, así como las cotas y las secciones indicadas en los documentos del proyecto, con las tolerancias establecidas. Además, debe estar concluida la construcción de los desagües y los filtros necesarios para el drenaje de la calzada.

Si en la superficie de apoyo existen irregularidades que excedan las tolerancias determinadas en la especificación de la capa de la cual forma parte, de acuerdo con lo que se prescribe en la unidad de obra correspondiente, el constructor debe hacer las correcciones necesarias, las cuales deben ser aprobadas por el interventor.

La base granular no se debe extender sobre superficies que presenten capas blandas, arcillosas u orgánicas.

330.4.3 Fase de experimentación

Rige lo indicado en el numeral 300.4.2 del artículo 300.

330.4.4 Transporte y almacenamiento del material

El transporte y el almacenamiento de materiales deben cumplir lo establecido en los numerales 300.4.5 y 300.4.3 del artículo 300, respectivamente.

330.4.5 Colocación, extensión y conformación del material

La colocación del material sobre la capa subyacente se debe hacer en una longitud que no sobrepase mil quinientos metros (1 500 m) de las operaciones de extensión, conformación y compactación del material.

El material se debe disponer en un cordón de sección uniforme donde el interventor debe verificar su homogeneidad. Si la capa de base granular se va a construir mediante la combinación de dos (2) o más materiales, su mezcla, se puede realizar en planta o directamente en el sitio.

En el caso de realizar la mezcla en planta, se debe agregar la dosificación requerida de agua para luego transportar el material a su sitio de colocación; y en el caso en el que se vaya a realizar la mezcla directamente en el sitio, esta se debe hacer en un patio fuera de la vía, por cuanto su mezcla dentro del área de colocación no está permitida. La mezcla se debe realizar en seco y posteriormente se debe agregar el agua que sea requerida.

En caso de que sea necesario humedecer o airear el material para lograr el contenido de agua óptimo de compactación, el constructor debe emplear el equipo adecuado y aprobado, de manera que no perjudique la capa subyacente y deje el material con un contenido de agua uniforme. Este, después de humedecido o aireado, se debe extender en todo el ancho previsto en una capa uniforme que permita obtener el espesor y el grado de compactación exigidos, de acuerdo con los resultados obtenidos en la fase de experimentación.

El material se debe extender de tal forma, que no requiera mayor manipulación para obtener el espesor, el ancho y el bombeo especificados en los diseños, evitando en lo posible adiciones de forma sectorizada.

En todo caso, la cantidad de material extendido debe ser tal, que el espesor de la capa compactada no resulte inferior a cien milímetros (100 mm) ni superior a doscientos milímetros (200 mm). Si el espesor de base compactada por construir es superior a doscientos milímetros (200 mm), el material se debe colocar en dos o más capas, procurándose que el espesor de ellas sea sensiblemente igual y nunca inferior a cien milímetros (100 mm). El material extendido debe mostrar una distribución granulométrica uniforme, sin segregaciones evidentes. El interventor no debe permitir la colocación de la capa siguiente, antes de verificar y aprobar la compactación de la precedente, siguiendo lo estipulado en la sección 330.5.2.2.2 de esta especificación. A menos que el interventor apruebe algún procedimiento alternativo, la capa ya compactada se debe escarificar superficialmente con el propósito de ligarla con la siguiente.

En operaciones de bacheo o en aplicaciones en áreas reducidas, el constructor debe proponer al interventor los métodos de extensión que garanticen la uniformidad y calidad de la capa.

330.4.6 Compactación

Una vez que el material extendido de la base granular tenga el contenido de agua apropiado, entendido como el contenido de agua igual que el óptimo, necesario para asegurar la densidad de diseño requerida, se debe conformar ajustándose a los alineamientos y las secciones típicas del proyecto y se debe compactar con el equipo aprobado por el interventor, hasta alcanzar la densidad seca especificada.

Aquellas zonas que, por su reducida extensión, su pendiente o su proximidad a obras de arte no permitan el uso del equipo que normalmente se utiliza, se deben compactar con los medios adecuados para el caso, en forma tal que las densidades secas que se alcancen no sean inferiores a la obtenida en el resto de la capa.

La compactación se debe efectuar longitudinalmente, comenzando por los bordes exteriores y avanzando hacia el centro, traslapando en cada recorrido una longitud no menor de la mitad del ancho del rodillo compactador. En las zonas peraltadas, la compactación se debe hacer del borde inferior al superior.

La última capa extendida debe garantizar una superficie lisa y apropiada para la conformación de las capas superiores.

330.4.7 Apertura al tránsito

Sobre las capas en ejecución se debe prohibir la acción de todo tipo de tránsito mientras no se haya completado la compactación. Si ello no es factible, el tránsito que necesariamente deba pasar sobre estas capas se debe distribuir en forma tal que no se concentren ahuellamientos sobre la superficie. El constructor debe responder por los daños producidos por esta causa y debe repararlos, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), de acuerdo con las instrucciones del interventor.

330.4.8 Limitaciones en la ejecución

No se debe permitir la extensión de ninguna capa de material de base granular mientras no haya sido realizada la nivelación y la comprobación del grado de compactación de la capa precedente. Tampoco se puede construir la base granular en momentos en que haya lluvia o fundado temor que ella ocurra, ni cuando la temperatura ambiente sea inferior a dos grados Celsius (2 °C).

Los trabajos de construcción de la base granular se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que sea aprobado por este. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

330.4.9 Bacheos

En las excavaciones para la reparación de un pavimento existente de estructura convencional (capas asfálticas densas, base granular y subbase granular), que tengan una profundidad superior a trescientos milímetros (300 mm), se debe emplear material de base granular para su relleno por encima de la subbase granular descrita en el numeral 320.4.10 del artículo 320, y hasta una profundidad de setenta y cinco milímetros (75 mm) por debajo de la rasante existente.

Si la excavación tiene una profundidad mayor de ciento cincuenta milímetros (150 mm) y menor o igual a trescientos milímetros (300 mm), ella se debe rellenar con material de base granular hasta setenta y cinco milímetros (75 mm) por debajo de la rasante existente.

En las excavaciones para reparación del pavimento existente cuya profundidad sea menor o igual a ciento cincuenta milímetros (150 mm), no se debe emplear material de base granular en su relleno.

El material de base granular colocado en estos rellenos debe ser compactado hasta alcanzar la densidad seca especificada.

Teniendo en cuenta que algunos pavimentos asfálticos de la Red Vial Nacional tienen estructuras no convencionales, muy gruesas y complejas, debido a que han sido sometidas a varias intervenciones de rehabilitación, el eventual uso de materiales de base granular en las operaciones de bacheo en ellos y las respectivas profundidades de colocación, se debe definir en los documentos del proyecto.

330.4.10 Conservación

El constructor debe conservar la capa de base granular en las condiciones en las cuales le fue aceptada por el interventor, hasta el momento de ser recubierta por la capa inmediatamente superior, aun cuando aquella sea librada parcial o totalmente al tránsito público. Durante dicho lapso, el constructor debe reparar, sin costo adicional para INVÍAS, todos los daños que se produzcan en la base granular y restablecer el mismo estado en el cual ella se aceptó.

330.4.11 Manejo ambiental

Rige lo indicado en el numeral 300.4.8 del artículo 300.

330.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

330.5.1 Controles

Rige lo indicado en el numeral 300.5.1 del artículo 300.

330.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

Los retrasos en el cronograma debidos a las deficiencias o al reemplazo de materiales, así como los costos asociados a estas circunstancias, son responsabilidad del constructor.

330.5.2.1 Calidad de los agregados

330.5.2.1.1 Control de procedencia

De cada fuente de agregados pétreos y por cada dos mil metros cúbicos (2000 m^3) del material de un mismo tipo se deben tomar cuatro (4) muestras representativas para realizar los ensayos especificados en la Tabla 330 — 2. Los resultados deben satisfacer las exigencias indicadas en dicha tabla, so pena de rechazo de los materiales deficientes.

El ensayo para determinar el valor de azul de metileno sobre el agregado combinado solo es necesario si el valor del equivalente de arena es inferior a treinta por ciento (< 30 %), pero es igual o superior a veinticinco por ciento (≥ 25 %).

Durante esta etapa, el interventor debe comprobar, además, que el material del descapote de la fuente sea retirado correctamente y que todas las vetas de material granular inadecuado sean descartadas.

330.5.2.1.2 Control de producción

Durante la etapa de producción, se deben examinar las descargas a los acopios y se debe ordenar el retiro de los agregados que, a simple vista, contengan tierra vegetal, presenten restos de materia orgánica, o tamaños superiores al máximo especificado. Así mismo, se debe ordenar que se acopien por separado aquellos que presenten una anomalía evidente de aspecto, como distinta coloración, plasticidad o segregación.

Al material ya colocado en la vía se le deben realizar controles con la frecuencia que se indica en la Tabla 330 — 4.

Tabla 330 — 4. Verificaciones periódicas de la calidad del material de base granular

Característica	Norma de ensayo INV	Frecuencia
Granulometría	E-213	Una (1) vez por jornada
Límite líquido	E-125	Una (1) vez por jornada
Índice de Plasticidad	E-125 y E-126	Una (1) vez por jornada
Equivalente de arena	E-133	Una (1) vez por semana
Valor de azul de metileno (si aplica)	E-235	Una (1) vez por semana
Ensayo modificado de compactación	E-142	Una (1) vez por semana
CBR de laboratorio	E-148	Una (1) vez por semana

El interventor puede reducir la frecuencia de los ensayos a la mitad de lo indicado en la Tabla 330 — 4, siempre que considere que los materiales son suficientemente homogéneos o si en el control de recibo de la obra terminada hubiese aceptado sin objeción diez (10) lotes consecutivos.

En el caso de mezcla de dos (2) o más materiales, los controles se deben realizar sobre el material mezclado y con la fórmula de trabajo aprobada para el proyecto.

Cuando el interventor considere que las características del material que está siendo explotado en una fuente han cambiado, se deben repetir todos los ensayos especificados en la Tabla 330 — 2 y adoptar los correctivos que sean necesarios.

No se debe permitir el empleo de materiales que no satisfagan los requisitos de calidad indicados en el numeral 330.2.2.

En la eventualidad de que el resultado de alguna prueba no sea satisfactorio, se deben tomar dos (2) muestras adicionales del material y se debe repetir la prueba. Los resultados de ambos ensayos deben ser satisfactorios, de lo contrario, el interventor no debe autorizar la utilización de este material.

330.5.2.1.3 Conservación de las propiedades de los agregados

Los agregados no deben sufrir una degradación excesiva por motivo de su manejo y compactación en obra. Para verificarlo, cada semana se deben tomar muestras representativas, al menos cada doscientos metros (200 m) del material colocado y compactado durante la semana previa, las cuales se deben someter a los ensayos que se indican en la Tabla 330 — 5. Los resultados de estos ensayos deben satisfacer las exigencias indicadas en el numeral 330.2.2. Si no las cumplen, se debe suspender inmediatamente el empleo del material y se debe delimitar el área donde se haya utilizado, la cual debe ser demolida y reconstruida por el constructor, sin costo adicional para INVÍAS, empleando un material de base granular apropiado y que conserve sus propiedades según se especifica en este numeral. La reparación de la zona del material extraído debe cumplir con lo especificado en este artículo para las zonas de bacheo.

Tabla 330 — 5. Ensayos para verificar la conservación de las propiedades de los agregados

Característica	Norma de ensayo INV
Granulometría	E-213
Límite líquido	E-125
Índice de Plasticidad	E-125 y E-126
Equivalente de arena	E-133

330.5.2.2 Calidad del producto terminado

330.5.2.2.1 Terminado

La capa de base granular terminada debe presentar una superficie uniforme, sin agrietamientos, baches, laminaciones ni segregaciones. La matriz de agregado fino no se debe desplazar bajo la acción del barrido o del tránsito normal. Si el interventor considera que es necesario realizar correcciones por este concepto, debe delimitar el área afectada y el constructor la debe escarificar en un espesor de cien milímetros (100 mm) y, después de efectuar las correcciones necesarias, debe mezclar y compactar de nuevo hasta que, tanto el área delimitada como las adyacentes, cumplan todos los requisitos exigidos en el presente artículo.

La rasante de la superficie terminada no debe superar a la teórica en ningún punto. Tampoco debe quedar por debajo de ella en más de quince milímetros (15 mm). En perfiles transversales cada veinte metros (20 m), se debe comprobar el ancho de la capa extendida, que en ningún caso debe ser inferior al establecido en los documentos del proyecto.

Cuando la tolerancia sea rebasada por defecto y no existan problemas de encharcamiento, el interventor puede aceptar la superficie siempre que la capa superior a esta compense la disminución con el espesor adicional necesario, sin que ello implique costo para INVÍAS. De lo contrario estas áreas deben ser rebajadas, humedecidas, compactadas y terminadas nuevamente, hasta cumplir las cotas y el espesor establecidos en los documentos del proyecto y con las exigencias de la presente especificación.

Cuando la tolerancia sea rebasada por exceso, el constructor debe corregirlo por su cuenta, siempre que esto no suponga una reducción del espesor de la capa por debajo del valor especificado en los documentos del proyecto.

330.5.2.2.2 Compactación

Para efectos del control, se debe considerar como lote, que se acepta o rechaza en conjunto, la menor área construida que resulte de aplicar los siguientes criterios:

- Quinientos metros (500 m) de capa compactada en el ancho total de la base granular.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m^2) de base granular compactada.
- La obra ejecutada en una jornada de trabajo.
- La obra ejecutada con el mismo material, de la misma procedencia y con el mismo equipo y procedimiento de trabajo.

Los sitios para la determinación de la densidad de la capa se deben elegir al azar, según la norma de ensayo INV E-730, pero de manera que se realice al menos una (1) prueba por hectómetro. Se deben efectuar, como mínimo, cinco (5) ensayos por lote.

Para el control de la compactación de una capa de base granular, se debe calcular su grado de compactación, a partir de los resultados de los ensayos de densidad en el terreno y del ensayo de relaciones contenido de agua-peso unitario (ensayo modificado de compactación), mediante la expresión que resulte aplicable entre las siguientes:

- Material sin sobretamaños:

$$GC_i = \frac{\gamma_{d,i}}{\gamma_{d,máx}} * 100 \quad [330.1]$$

- Material con sobretamaños:

$$GC_i = \frac{\gamma_{d,i}}{C\gamma_{d,máx}} * 100 \quad [330.2]$$

Donde:

GC_i, valor individual del grado de compactación, en porcentaje.

$\gamma_{d,i}$, valor individual del peso unitario seco del material en el terreno, determinado por cualquier método aplicable de los descritos en las normas de ensayo INV E-161, E-162 y E-164, sin efectuar corrección por presencia de sobretamaños, de manera que corresponda a la muestra total.

$\gamma_{d,máx}$, valor del peso unitario seco máximo del material, obtenido según la norma de ensayo INV E-142 (ensayo modificado de compactación) sobre una muestra representativa del mismo.

$C\gamma_{d,máx}$, valor del peso unitario seco máximo del material, obtenido según la norma de ensayo INV E-142 sobre una muestra representativa del mismo, y corregido por sobretamaños según la norma de ensayo INV E-143, numeral 3.1, de manera que corresponda a la muestra total.

Sobretamaños (fracción gruesa) (P_{FG}), porción de la muestra total retenida en el tamiz de control correspondiente al método utilizado para realizar el ensayo de compactación (norma INV E-142).

El peso unitario seco máximo corregido del material ($C\gamma_{d,máx}$) que se use para calcular el grado de compactación individual (GC_i) se debe obtener, para cada sitio, a partir del contenido de sobretamaños (P_{FG}) presente en ese sitio.

Para la aceptación del lote se deben aplicar los siguientes criterios:

GC_l (90) ≥ 98 % *se acepta el lote* [330.3]

GC_l (90) < 98 % *se rechaza el lote* [330.4]

Donde:

GC_l (90), límite inferior del intervalo de confianza en el que, con una probabilidad del noventa por ciento (90 %), se encuentra el valor promedio del grado de compactación del lote, en porcentaje; se calcula según el numeral 107.3.1.3 del artículo 107, Control y aceptación de los trabajos, a partir de los valores individuales del grado de compactación (GC_i).

Las verificaciones de compactación se deben efectuar en todo el espesor de la capa que se está controlando.

Los lotes que no alcancen las condiciones mínimas de compactación se deben escarificar, homogenizar, llevar al contenido de agua adecuado y compactar nuevamente hasta obtener el valor de densidad seca especificado.

330.5.2.2.3 Espesor

Sobre la base de los sitios escogidos para el control de la compactación, el interventor debe determinar el espesor medio de la capa compactada (e_m), el cual no debe ser inferior al espesor de diseño (e_d).

$$e_m \geq e_d \quad [330.5]$$

Además, el espesor obtenido en cada determinación individual (e_i) debe ser, cuando menos igual al noventa por ciento (90 %) del espesor de diseño (e_d). Se admite solo un (1) valor por debajo de dicho límite, siempre y cuando este valor sea igual o mayor al ochenta y cinco por ciento (85 %) del espesor de diseño.

$$e_i \geq 0{,}90 * e_d \quad [330.6]$$

Si se incumple alguno de estos requisitos, el constructor debe escarificar la capa en un espesor mínimo de cien milímetros (100 mm), añadir el material necesario de las mismas características, compactar nuevamente y terminar la capa conforme lo exige el presente artículo.

Si el espesor medio (e_m) resulta inferior al espesor de diseño (e_d), pero ningún valor individual es inferior al noventa por ciento (90 %) del espesor de diseño, el interventor puede admitir el espesor construido, siempre que el constructor se comprometa, por escrito, a compensar la disminución con el espesor adicional necesario de la capa superior, sin que ello implique ningún incremento en los costos para INVÍAS. Si el constructor no suscribe este compromiso, se debe proceder como en el párrafo anterior.

330.5.2.2.4 Planicidad

Se debe comprobar la uniformidad de la superficie de la obra ejecutada mediante la regla de tres metros (3 m), según norma de ensayo INV E-793, en todos los sitios que el interventor lo considere conveniente. La regla se debe colocar tanto paralela como perpendicularmente al eje de la vía, y no se deben admitir variaciones superiores a diez milímetros (10 mm) para cualquier punto que no esté afectado por un cambio de pendiente. Cualquier área donde se detecten irregularidades que excedan esta tolerancia, debe ser delimitada por el interventor, y el constructor la debe corregir con reducción o adición de material en capas de poco espesor, en cuyo caso, para asegurar buena adherencia, es obligatorio escarificar la capa existente y compactar nuevamente la zona afectada, hasta alcanzar los niveles de compactación exigidos en el presente artículo.

330.5.2.2.5 Zonas de bacheos

En las zonas de bacheos se deben satisfacer las mismas exigencias de terminado, compactación, espesor y planicidad incluidas en este numeral, pero queda a criterio del interventor la decisión sobre la frecuencia de las pruebas, la cual debe depender del tamaño de las áreas tratadas.

330.5.2.2.6 Correcciones por variaciones en el diseño o por causas no imputables al constructor

Cuando sea necesario efectuar correcciones a la capa de base granular, por modificaciones en el diseño estructural o por fuerza mayor u otras causas inequívocamente no imputables al constructor, el interventor debe delimitar el área afectada y ordenar las correcciones necesarias, por cuyo trabajo puede autorizar el pago al constructor, al respectivo precio unitario del contrato.

330.6 Medida

La base granular se debe medir según lo descrito en el numeral 300.6.1 del artículo 300. En el caso de bacheos con material granular de base, se debe aplicar lo señalado en el numeral 300.6.2 del mismo artículo. En todos los casos, la medición de volúmenes de material colocado se debe hacer al metro cúbico (m^3), aproximado a la décima (0,1).

330.7 Forma de pago

La base granular se debe pagar según lo que sea aplicable del numeral 300.7 del artículo 300.

330.8 Ítems de pago

Ítem	Descripción	Unidad
330.1	Base granular clase A	Metro cúbico (m^3)
330.2	Base granular clase B	Metro cúbico (m^3)
330.3	Base granular clase C	Metro cúbico (m^3)
330.4	Base granular para bacheo clase A	Metro cúbico (m^3)
330.5	Base granular para bacheo clase B	Metro cúbico (m^3)
330.6	Base granular para bacheo clase C	Metro cúbico (m^3)

Base estabilizada con emulsión asfáltica

Artículo 340 – 22

340.1 Descripción

Este trabajo consiste en la construcción de una base estabilizada con emulsión asfáltica, de acuerdo con los alineamientos y secciones indicados en los documentos del proyecto. El material por estabilizar puede ser aquel que resulta al escarificar una capa superficial existente, un material que se adiciona o una mezcla de ambos.

El Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) ha establecido la especificación 341, Base estabilizada con una mezcla asfáltica natural, que es totalmente independiente del presente artículo en cuanto a la calidad de los materiales, las especificaciones de procedimiento y los criterios de control. En principio, no se debe combinar lo establecido en el presente artículo con lo indicado en el artículo 341.

340.2 Materiales

340.2.1 Agregados y suelos

Los materiales por estabilizar pueden ser agregados pétreos o suelos naturales, cuyas características básicas se indican a continuación. Los agregados pétreos pueden ser utilizados en la construcción de bases estabilizadas para todo tipo de tránsito, en tanto que los suelos solo se pueden emplear en la construcción de bases estabilizadas en proyectos con nivel de tránsito NT1.

340.2.1.1 Agregados pétreos

Los agregados susceptibles de estabilizar con emulsión asfáltica pueden provenir de la trituración de roca de cantera o de grava, de fuentes de grava natural o estar constituidos por una mezcla de ambos. Independientemente de su procedencia, los agregados deben estar exentos de materia orgánica, terrones de arcilla o cualquier otra sustancia que pueda resultar ambientalmente nociva o inconveniente para el buen comportamiento de la capa estabilizada.

El agregado pétreo por estabilizar debe presentar una gradación que se ajuste a alguna de las franjas señaladas en la Tabla 340 — 1. La gradación por emplear se debe indicar en los documentos del proyecto.

Tabla 340 — 1. Franjas granulométricas de los agregados para construcción de bases estabilizadas con emulsión asfáltica

Tipo de material	Tamiz (mm / U.S. *Standard*)								
	37,5	25,0	12,5	9,5	4,75	2,36	0,425	0,150	0,075
	1 ½ Pulgadas	1 Pulgada	1/2 Pulgada	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 8	Nro. 40	Nro. 100	Nro. 200
	Pasa tamiz (%)								
BEE-38	100	80 — 95	50 — 80	45 — 75	30 — 60	20 — 45	10 — 27	5 — 18	3 — 15
BEE-25	-	100	60 — 90	50 — 80	30 — 60	20 — 45	10 — 27	5 — 18	3 — 15
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	5 %							3 %	

En adición a los requisitos de granulometría de la Tabla 340 — 1, la relación de polvo [% pasa tamiz nro. 200/% pasa tamiz nro. 40] no debe exceder de los dos tercios (2/3). Además, el producto del porcentaje que pasa el tamiz de 0,075 mm (nro. 200) del agregado combinado por su índice de plasticidad, no puede ser mayor de setenta y dos (72) con ambos valores dados como porcentajes.

Igualmente, los agregados deben cumplir los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 340 — 2.

Tabla 340 — 2. Requisitos de los agregados pétreos para la construcción de bases estabilizadas con emulsión asfáltica

Característica	Norma de ensayo INV	Requisito
Dureza, agregado grueso (O)		
Desgaste en la máquina de Los Ángeles (Granulometría A), máximo (%): - 500 revoluciones - 100 revoluciones	E-218	 50 10
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%). (Nota).	E-238	45
Resistencia mecánica por el método del 10 % de finos (tránsitos NT2 y NT3): - Valor en seco, mínimo (kN) - Relación húmedo/seco, mínima (%)	E-224	 30 50

Característica	Norma de ensayo INV	Requisito
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio, máximo (%).	E-220	18
Limpieza, gradación combinada (F)		
Límite líquido, máximo (%).	E-125	35
Índice de Plasticidad, máximo (%).	E-125 y E-126	7
Equivalente de arena, mínimo (%).	E-133	20
Terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%).	E-211	2
Porcentaje de partículas fracturadas, mínimo (%).	E-227	50
Índice global de partículas aplanadas y alargadas, máximo (%).	E-230	50
Capacidad de soporte (F)		
CBR del material sin emulsión asfáltica (%): porcentaje asociado al valor mínimo especificado de la densidad seca, medido en una muestra sometida a cuatro días (4 d) de inmersión, mínimo: - NT1 - NT2 o NT3	E-148	 20 30

Nota: este requisito no es necesario para obras con tránsito NT1.

340.2.1.2 Suelos granulares

Para la construcción de bases estabilizadas con emulsión en proyectos con tránsito NT1, se pueden emplear suelos granulares que sean disgregables, que se encuentren exentos de cantidades perjudiciales de materia orgánica, arcilla plástica, materiales micáceos y cualquier otra sustancia objetable.

Sus requisitos básicos de calidad son los indicados en la Tabla 340 — 3.

Tabla 340 — 3. Requisitos de los suelos granulares aptos para la construcción de bases estabilizadas con emulsión asfáltica

Característica	Norma de ensayo INV	Requisito
Tipo de suelo (F)		
Clasificación según el sistema AASHTO.	E-180	A-1-a o A-1-b o A-2-4
Limpieza, gradación combinada (F)		
Índice de Plasticidad, máximo (%).	E-125 y E-126	7
Equivalente de arena, mínimo (%).	E-133	40
Terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%).	E-211	2

Característica	Norma de ensayo INV	Requisito
Capacidad de soporte (F)		
CBR del material sin emulsión asfáltica (%): porcentaje asociado al noventa por ciento (90 %) de la densidad seca correspondiente al ensayo modificado de compactación (norma INV E-142), medido en una muestra sometida a cuatro días (4 d) de inmersión, mínimo.	E-148	20

La granulometría del material disgregado, listo para estabilizar, se debe ajustar a los límites señalados en la Tabla 340 — 4.

Tabla 340 — 4. Gradación de suelos granulares para la construcción de bases estabilizadas con emulsión asfáltica

Tipo de material	Tamiz (mm / U.S. *Standard*)	
	4,75	0,075
	Nro. 4	Nro. 200
	Pasa tamiz (%)	
BEE-5	100	5 – 25

En materiales en los que, por su naturaleza, no exista suficiente experiencia sobre su comportamiento, el interventor puede solicitar un estudio especial de propiedades físicas y/o químicas del material antes de estabilizar, si lo considera necesario, para determinar su aptitud. El objetivo principal de dicho estudio debe ser el de garantizar la conservación de las propiedades del material con el paso del tiempo, es decir, que la susceptibilidad a la meteorización física o química sea despreciable. Los resultados deben satisfacer los requisitos señalados en las Tablas 340 — 3 y 340 — 4, además de otros que establezca el interventor, so pena de rechazo de uso del material.

340.2.2 Material bituminoso

Debe ser una emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta, que corresponda a los tipos CRL-57 o CRL-57h, que cumpla los requisitos de calidad establecidos en el artículo 411, Suministro de emulsión asfáltica.

340.2.3 Puzolanas

Se consideran como tales, algunos llenantes comerciales que complementan la acción del ligante asfáltico en cuanto a su reactividad. Los más utilizados son el cemento hidráulico, la cal hidratada y las cenizas volantes, cuyas características se deben establecer en una especificación particular.

Si los llenantes son adicionados con el propósito de controlar la rotura de la emulsión asfáltica, no se deben considerar como puzolanas y, en consecuencia, no debe haber pago separado por su suministro.

340.2.4 Aditivos mejoradores de adherencia

En caso de requerir aditivos para rebajar la tensión superficial y mejorar la adherencia, estos se deben ajustar a lo descrito en el artículo 412, Suministro de aditivo mejorador de adherencia.

340.2.5 Agua

El agua que se requiera para la estabilización debe ser limpia y libre de materia orgánica, álcalis y otras sustancias perjudiciales. Puede ser agua potable. Si no lo es, debe cumplir los requisitos que se indican en la Tabla 340 — 5.

Tabla 340 — 5. Requisitos del agua no potable para la construcción de base estabilizada con emulsión asfáltica

Característica	Norma de ensayo	Requisito
pH	ASTM D1293	5,5 – 8,0
Contenido de sulfatos, expresado como $SO_4^=$, máximo (kg/m³)	UNE 83956	1,0

340.3 Equipo

En relación con el equipo, rigen las condiciones generales descritas en el numeral 300.3 del artículo 300. El equipo debe incluir elementos para la explotación, el cargue, el transporte, la eventual trituración, la clasificación y la extensión del material mineral; el almacenamiento, el transporte y la distribución del agua, de la emulsión asfáltica y de las puzolanas y los aditivos que eventualmente se requieran; para la elaboración, la extensión, la compactación y la nivelación de la mezcla estabilizada, así como un equipo apropiado para escarificar la capa existente, en caso que su utilización esté prevista en los documentos del proyecto.

340.3.1 Requisitos adicionales

El equipo que se requiera utilizar para el proceso constructivo del material estabilizado debe ser probado y aprobado en los tramos de experimentación.

La ejecución de los trabajos debe emplear equipos mecánicos, que pueden ser independientes, o equipos que realicen dos o más operaciones. En general, la maquinaria debe estar constituida por equipos para la escarificación y la disgregación del material (si se requiere), la elaboración de la mezcla (planta de mezcla o máquina estabilizadora), motoniveladora, compactadores metálicos vibratorios y neumáticos, carrotanques para aplicar agua y el material del riego de curado de la capa compactada, equipos de transporte y herramientas menores.

Si los documentos del proyecto así lo indican, la extensión de la mezcla elaborada en planta se debe hacer con una máquina extendedora autopropulsada.

340.3.2 Equipo para la elaboración de la mezcla

Los documentos del proyecto deben definir el tipo de equipo para elaborar la mezcla de

material estabilizado con emulsión asfáltica, dentro de las siguientes opciones: planta de mezcla, máquina estabilizadora con cámara de tambor rotatorio y motoniveladora.

Si los documentos del proyecto no indican el equipo por utilizar, se debe dar por definido el uso de una máquina estabilizadora con cámara de tambor rotatorio de paso sencillo. Solo se debe permitir el uso de motoniveladora para la mezcla cuando los documentos del proyecto lo señalen taxativamente.

340.4 Ejecución de los trabajos

340.4.1 Explotación de materiales y elaboración de agregados

Rige lo indicado en el numeral 300.4.1 del artículo 300.

340.4.2 Diseño de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo

340.4.2.1 Generalidades

Con suficiente antelación al inicio de los trabajos, el constructor debe entregar al interventor, para su verificación, muestras de los materiales que se propone utilizar, avaladas por los resultados de ensayos que demuestren la conveniencia de utilizarlos. Si a criterio del interventor, los materiales resultan objetables, el constructor debe efectuar las modificaciones necesarias para corregir las deficiencias. Una vez el interventor manifieste su conformidad con los materiales, el constructor debe definir el contenido óptimo de agua de preenvuelta y diseñar la mezcla.

El contenido óptimo de agua de preenvuelta se debe fijar en función del suelo o agregado por estabilizar, basándose principalmente en la experiencia obtenida en casos análogos. El contenido de agua por elegir debe ser aquel que dé lugar a un cubrimiento uniforme y homogéneo del material mineral por parte del ligante, mientras que el contenido de agua óptimo de compactación debe ser el determinado mediante la ejecución del ensayo modificado de compactación sobre el suelo o agregado por estabilizar (norma de ensayo INV E-142).

Las mezclas de base estabilizada con emulsión asfáltica se deben diseñar siguiendo los métodos indicados en la Tabla 340 — 6.

Tabla 340 — 6. Método de diseño para mezclas de bases estabilizadas con emulsión asfáltica

Tipo de base estabilizada	Norma de ensayo	Método
BEE-38 y BEE-25	INV E-622	Inmersión-compresión
BEE-5	NLT 170/77	Extrusión

Se pueden utilizar otros métodos para el diseño de las mezclas. En tal caso, los métodos de diseño y los criterios de selección del porcentaje óptimo de ligante se deben definir en una especificación particular.

340.4.2.2 Diseño de la mezcla por resistencia

340.4.2.2.1 Diseño de la mezcla por el método de inmersión-compresión para bases estabilizadas con agregados pétreos

Se deben elaborar mezclas con diferentes contenidos de ligante, por encima y por debajo del óptimo teórico (al menos cuatro (4) contenidos de ligante), para someterlas al ensayo de inmersión-compresión. El contenido óptimo de ligante se debe determinar aplicando los criterios de la Tabla 340 — 7.

Tabla 340 — 7. Criterios de resistencia para la determinación del contenido óptimo de emulsión asfáltica para bases estabilizadas con agregados pétreos BEE-38 y BEE-25

Parámetro	Norma de ensayo INV	Valor
Resistencia de probetas curadas en seco *Rs*, mínimo (MPa).	E-622	1,5
Resistencia conservada tras curado húmedo *Rc* = *Rh*/*Rs*, mínimo (%).		75

El porcentaje óptimo de ligante residual debe ser aquel que, al cumplir las exigencias indicadas, permita alcanzar el valor máximo de resistencia tras curado húmedo (*Rh*).

340.4.2.2.2 Diseño de la mezcla por el método de extrusión para bases estabilizadas con suelos granulares

Se deben elaborar mezclas con diferentes contenidos de ligante, por encima y por debajo del óptimo teórico (al menos cuatro (4) contenidos de ligante), para someterlas al ensayo de extrusión. En la Tabla 340 — 8, se presentan los criterios para la determinación del contenido óptimo de ligante.

Tabla 340 — 8. Criterios de resistencia para la determinación del contenido óptimo de emulsión asfáltica para bases estabilizadas con suelos granulares BEE-5

Parámetro	Norma de ensayo	Valor
Extrusión seca, mínimo (N)	NLT 170/77	4 500
Extrusión húmeda, mínimo (N)		1 500
Absorción de agua, máximo (%)		7
Hinchamiento, máximo (%)		5

340.4.2.3 Informe de diseño de la mezcla

El informe de diseño que presente el constructor, en el cual debe proponer la fórmula de trabajo por aplicar en cada tramo homogéneo, para consideración y eventual aprobación del interventor, debe contener, por lo menos, la siguiente información:

- La identificación y la proporción (en masa seca) de cada fracción del material granular.
- La granulometría de cada fracción del material granular y la granulometría combinada.
- El porcentaje de agua para mezcla y para compactación, en relación con la masa seca del componente mineral.
- El porcentaje óptimo de ligante residual y de emulsión en relación con la masa seca del material granular.
- La identificación y la dosificación de puzolanas y de aditivos, si se requieren, los cuales deben ser de la misma marca utilizada tanto en las pruebas de laboratorio como en la fase de experimentación y en la ejecución de los trabajos.
- Las resistencias obtenidas a la compresión en la prueba de inmersión-compresión o en la prueba de extrusión.
- El peso unitario seco máximo y el contenido de agua óptimo, correspondientes a la dosificación de diseño.
- Los resultados de los ensayos complementarios que indique el pliego de condiciones.

340.4.2.4 Ajuste de la fórmula de trabajo

La fórmula de trabajo establecida en el laboratorio se puede ajustar, de acuerdo con los resultados de las pruebas realizadas durante la fase de experimentación. Igualmente, si durante la ejecución de las obras varía la procedencia de alguno de los componentes de la mezcla, se requiere el estudio de una nueva fórmula de trabajo.

Los trabajos no se deben iniciar a escala industrial, si la fórmula de trabajo definitiva para cada tramo no ha sido aprobada por el interventor.

La aprobación de la fórmula de trabajo por parte del interventor no exime al constructor de su plena responsabilidad de alcanzar, con base en ella, la calidad exigida en este artículo.

Junto con la fórmula de trabajo ajustada, se deben indicar las características de cada etapa del proceso constructivo: método de mezclado, intervalo de temperatura aceptable de mezclado, tiempo de curado, intervalo de temperatura aceptable para la colocación de la mezcla en el sitio de trabajo, método de compactación, energía de compactación, tiempo de curado necesario antes de colocar la siguiente capa del pavimento, y cualquier otra especificación que sea requerida por el interventor.

340.4.3 Preparación de la superficie existente

Si el material por estabilizar es totalmente de aporte, sea que la mezcla se realice en vía o en planta, antes de construir la base estabilizada se debe comprobar que la superficie que le va a servir de apoyo se encuentre limpia, tenga la densidad y la planicidad apropiadas y las cotas indicadas en los documentos del proyecto. Todas las irregularidades que excedan las tolerancias establecidas en la especificación respectiva se deben corregir, de acuerdo con lo indicado en ella, hasta contar con la aprobación del interventor.

Se debe dar un tiempo de curado apropiado a la capa inmediatamente inferior a la capa de base estabilizada, que puede ser definido por el interventor. En todo caso, no debe ser menor al tiempo necesario para que el material alcance un contenido de agua igual o menor al ochenta y cinco por ciento (85 %) del contenido de agua óptimo de compactación.

Si los documentos del proyecto exigen la aplicación previa de una imprimación, esta se debe efectuar, de acuerdo con lo previsto en el artículo 420, Riego de imprimación.

En caso de que la construcción se vaya a realizar mediante el procedimiento de mezcla en vía en varias pasadas utilizando el suelo existente, este se debe escarificar en todo el ancho de la capa que se va a mezclar, hasta una profundidad suficiente para que, una vez compactada, la capa estabilizada alcance el espesor señalado en los documentos del proyecto. Esta operación se debe efectuar, por lo menos, dos días (2 d) antes del proceso de disgregación del material por estabilizar, si tal disgregación se va a realizar.

Si se contempla la adición de un suelo de aporte para mejorar el existente, ambos se deben mezclar uniformemente antes de iniciar la aplicación del ligante.

En los casos en que el proceso involucre el suelo del lugar, total o parcialmente, se debe comprobar que el material que se encuentre bajo el espesor por estabilizar presente adecuadas condiciones de resistencia y, en caso de no tenerlas, el interventor debe ordenar las modificaciones previas que considere necesarias en el procedimiento de trabajo.

En todos los casos, debe estar concluida la construcción de los dispositivos necesarios para el drenaje de la calzada, previamente a la ejecución de las obras de la base estabilizada con emulsión asfáltica.

340.4.4 Transporte y almacenamiento de suelos y agregados

Cuando la estabilización incluya suelos o agregados de aporte, estos se deben transportar a la planta de mezcla o a la vía, según sea el caso, en vehículos apropiados, protegidos con lonas u otros cobertores adecuados, los cuales se deben asegurar a la carrocería, para impedir que parte del material caiga sobre las vías por las cuales transitan dichos vehículos.

Cuando se requiera almacenar los suelos o agregados destinados a la construcción de la base estabilizada con emulsión asfáltica, se deben tener en cuenta los cuidados señalados en el numeral 300.4.3 del artículo 300.

340.4.5 Elaboración de la mezcla

La mezcla se puede elaborar en la vía, en una planta central o en una planta móvil de tipo continua, de acuerdo con los procedimientos generales que se indican a continuación.

En todos los casos en que se empleen aditivos o puzolanas, estos se deben adicionar al material granular antes de su mezcla con la emulsión asfáltica.

En cualquier caso, desde el momento que comienza la mezcla del material granular con la emulsión asfáltica, hasta el momento que termina la compactación, el contenido de agua no debe ser menor al ochenta por ciento

(80 %) del valor de contenido de agua óptimo de compactación definido en la fórmula de trabajo definitiva. Si el material se secara hasta un valor menor a dicho límite, se debe descartar y no se debe permitir su uso.

340.4.5.1 Mezcla en vía en varias pasadas

Si la mezcla se va a efectuar con material de aporte, este se debe transportar a la vía y se debe extender en el ancho y el espesor adecuados, de manera que permitan que la capa, luego de mezclada y compactada, cumpla con las secciones indicadas en los documentos del proyecto. Dicho material debe cumplir los requisitos establecidos en el numeral 340.2.1.

Cuando en el proceso se incorpore el suelo existente, este debe ser disgregado previamente hasta obtener una eficacia del ochenta y cinco por ciento (85 %) referida al tamiz de 9,5 mm (3/8 de pulgada), y del setenta y cinco por ciento (75 %) referida al tamiz de 4,75 mm (nro. 4), entendiendo por eficacia la relación entre los porcentajes que pasan por tamizado en seco en obra y por tamizado húmedo en laboratorio. Si el suelo es difícil de disgregar en estado natural, la operación se puede facilitar con un humedecimiento previo, el cual no puede rebasar el contenido de agua óptimo para la mezcla.

Inmediatamente antes de efectuar la mezcla con la emulsión, se debe verificar el contenido de agua y, si fuera necesario un aumento de este, se debe incorporar la cantidad debida de agua y efectuar la mezcla correspondiente, perfilando la superficie de modo que presente, aproximadamente, la sección indicada en los documentos del proyecto.

A continuación, se debe aplicar la emulsión asfáltica por medio de un carrotanque irrigador, con la dosificación y temperatura aprobadas por el interventor, procediendo a la mezcla con el equipo aceptado, hasta obtener un producto homogéneo, de color uniforme y exento de concentraciones de ligante.

En caso de que el espesor de diseño sea mayor a quince centímetros (15 cm), la construcción de la base se debe fraccionar en dos (2) capas, preferiblemente de igual espesor.

En cualquier caso, el espesor de la capa no debe ser inferior a siete centímetros (7 cm).

340.4.5.2 Mezcla en vía en una sola pasada

Cuando se emplee un equipo mezclador de paso sencillo, una vez preparada la superficie existente o extendido uniformemente el material de aporte (incluidos los aditivos y puzolanas), las operaciones de disgregación, adición de agua y emulsión, y mezcla de los tres componentes se deben efectuar en una sola pasada, regulando la velocidad de avance de la máquina y los caudales de agua y emulsión, de modo que la mezcla resulte homogénea y con las dosificaciones de agua y emulsión previstas en su diseño.

340.4.5.3 Mezcla en planta fija

Las plantas de mezcla pueden ser de tipo continuo o discontinuo y deben estar provistas de dispositivos adecuados que permitan dosificar por separado la emulsión, el agua y el material mineral, con una precisión compatible con las tolerancias aceptadas por esta especificación.

Si la planta es de tipo continuo, se deben introducir en el mezclador los suelos o agregados por estabilizar y, en forma sucesiva y con intervalos de tiempo apropiados, los caudales de agua y de emulsión requeridos para cumplir la fórmula de trabajo.

Si la planta es de tipo discontinuo, una vez introducidos los suelos o agregados por estabilizar dentro del mezclador, se debe añadir el agua necesaria de preenvuelta, de acuerdo con el estado de contenido de agua inicial de estos y, tras un lapso que permita el humedecimiento homogéneo del material granular, se debe añadir automáticamente la cantidad de emulsión calculada para cada bachada y se debe continuar la operación de mezcla durante el tiempo especificado.

Según el tipo de instalación, la mezcla puede caer directamente al camión de transporte, a una banda transportadora, a un silo desde donde se vierte al camión o directamente a una pila de almacenamiento. En el caso que se emplee una banda, se debe regular su velocidad, verificar el buen funcionamiento del raspador y lubricarla con una pequeña cantidad de agua, con el fin de evitar segregaciones de la mezcla.

340.4.5.4 Mezcla en planta móvil continua

Si la mezcla se realiza en una planta móvil continua, los materiales por estabilizar, preparados de manera que cumplan con la granulometría exigida, deben ser transportados al sitio de las obras y vertidos a la tolva receptora de la planta, la cual debe estar provista de dispositivos dosificadores similares a los de las plantas fijas continuas. Tales dosificadores deben ser sincrónicos para obtener las proporciones deseadas de los tres (3) ingredientes, que deben ser conducidos a una mezcladora continua que vierte, posteriormente, la mezcla en la carretera.

340.4.6 Transporte de la mezcla

La mezcla elaborada en planta fija se debe transportar a la vía en volquetas acondicionadas para tal fin. Durante el transporte de la mezcla, se deben tomar las precauciones necesarias para reducir al mínimo la segregación y la pérdida de contenido de agua.

340.4.7 Extensión y compactación de la mezcla

Después de las operaciones de mezclado y eventual transporte, la mezcla se debe extender mecánicamente en el ancho especificado y en un espesor tal que, después de compactada, se ajuste a la sección transversal y a las cotas indicadas en los documentos del proyecto.

Las mezclas elaboradas en planta fija se deben extender con una terminadora asfáltica.

Una vez que se verifique que la mezcla tiene el contenido de agua óptimo, se debe realizar la compactación, mediante el procedimiento definido durante la fase de experimentación, hasta alcanzar los niveles de densidad exigidos en el numeral 340.5.2.7.3.

En el caso de mezcla en vía con varias pasadas, cuando se hayan efectuado aproximadamente las dos terceras partes del trabajo de compactación se debe realizar, de ser necesario, un perfilado de la superficie

de las rasantes previstas, continuando esta última fase de la operación con los compactadores y la motoniveladora, hasta obtener la densidad y el perfil requeridos.

Independientemente del tipo de compactadores empleados, la compactación final se debe realizar con equipo neumático, para eliminar las huellas de los rodillos lisos y la motoniveladora.

En las zonas que por su reducida extensión o su proximidad a estructuras rígidas no permitan el empleo del equipo aprobado durante la fase de experimentación, la mezcla se debe extender y compactar con los medios que resulten adecuados para el caso, de manera que la densidad alcanzada no sea inferior a la exigida por la presente especificación.

340.4.8 Juntas de trabajo

Todas las juntas de trabajo se deben disponer de forma que su borde quede vertical, cortando parte de la capa terminada. A todas las superficies de contacto de franjas construidas con anterioridad se les debe aplicar una capa uniforme y delgada de emulsión asfáltica, antes de colocar la mezcla nueva.

Si se trabaja por franjas, se deben disponer juntas longitudinales en todos los casos en que transcurra más de una jornada entre las operaciones en franjas contiguas.

Estas juntas se deben localizar a no menos de quince centímetros (15 cm) de otras juntas longitudinales existentes en las capas inferiores de la estructura.

En el caso de construir juntas transversales, se deben localizar a no menos de cinco metros (5 m) respecto a las juntas transversales de capas inferiores de la estructura.

El material recolectado de los cortes de juntas debe ser claramente identificado y almacenado, y no se debe permitir su uso en la construcción de las capas de la estructura.

340.4.9 Fase de experimentación

Rige lo indicado en el numeral 300.4.2 del artículo 300.

Al comienzo de los trabajos, el constructor debe elaborar secciones de ensayo de longitud, ancho y espesor definidos en acuerdo con el interventor, donde se debe probar el equipo y los materiales, y se debe determinar el método definitivo de trabajo, de manera que se cumplan los requisitos de la presente especificación.

El interventor debe tomar muestras del material estabilizado y determinar su conformidad, en relación con las condiciones especificadas sobre el grado de disgregación del material mineral, espesor de capa, proporción de emulsión asfáltica, compactación y demás requisitos exigidos.

En caso de que los ensayos indiquen que el material estabilizado no se ajusta a dichas condiciones, el constructor debe hacer inmediatamente todas las correcciones necesarias y, si fuere preciso, debe modificar la fórmula de trabajo, repitiéndose las secciones de ensayo una vez efectuadas las correcciones, hasta ser aprobadas por el interventor.

340.4.10 Apertura al tránsito

No se debe permitir el tránsito público hasta que la mezcla compactada pueda soportar el

paso de los vehículos sin que se produzcan desplazamientos, en todo caso, no abrir el tránsito en menos de una hora (1 h) después de terminada la compactación. Las primeras cuarenta y ocho horas (48 h) a partir de la apertura, la velocidad de los vehículos se debe limitar a veinte kilómetros por hora (20 km/h) e impedir que sobre la capa se produzcan aceleraciones, frenados o giros bruscos.

En caso de apertura al tránsito, se deben utilizar elementos de control adecuados para evitar la circulación sobre los bordes de la capa construida o cerca de ellos, con el fin de evitar daños en estas aristas.

340.4.11 Curado y protección superficial de la capa compactada

Las capas de base estabilizada con emulsión requieren un período de curado para su maduración, antes de que se autorice su cobertura. El tiempo de curado debe ser el suficiente para que el contenido de agua del material mezclado y compactado sea inferior a uno por ciento (1 %). Por lo general, dicho período es, como mínimo, de diez días (10 d), dependiendo de las condiciones climáticas.

Durante dicho lapso, el constructor debe aplicar los riegos de protección que le solicite el interventor, para prevenir el deterioro de la capa por la acción de las aguas superficiales y del tránsito automotor. Dichos riegos se deben realizar de acuerdo con el artículo 422, Riego de curado, excepto que la emulsión debe estar diluida en agua, de manera que, el ligante residual sea aproximadamente treinta por ciento (30 %) y la dosificación del ligante debe estar entre dos y tres décimas de kilogramo de ligante residual por metro cuadrado (0,2 kg/m^2 – 0,3 kg/m^2).

340.4.12 Conservación

El constructor debe conservar la capa base estabilizada con emulsión asfáltica en perfectas condiciones, hasta que se construya la capa superior prevista en los documentos del proyecto. Todo daño que se presente debe ser corregido por este, y contar con la aprobación del interventor, sin costo adicional para INVÍAS.

340.4.13 Limitaciones en la ejecución

No se debe permitir la extensión y la compactación de mezclas para base estabilizada con emulsión asfáltica cuando la temperatura ambiente a la sombra sea inferior a cinco grados Celsius (5 °C), haya lluvia o fundados temores que ella ocurra, haya una capa de niebla intensa o esté previsto un clima con temperatura inferior a uno coma cinco grados Celsius (1,5 °C) en las siguientes cuarenta y ocho horas (48 h) al trabajo.

En caso de que la mezcla, sin compactar o compactada, sea afectada por el agua lluvia y como resultado de ello se lave la emulsión, el constructor debe, a su costa, retirar la mezcla afectada y reconstruir el sector deteriorado hasta contar con la aprobación del interventor.

Los trabajos de construcción de la base estabilizada con emulsión se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que resulte

satisfactorio para el desarrollo del trabajo en condiciones seguras. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

340.4.14 Manejo ambiental

Rige todo lo que resulte aplicable del numeral 300.4.8 del artículo 300.

340.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

340.5.1 Controles

En adición a lo exigido por el numeral 300.5.1 del artículo 300, se deben efectuar ensayos para el control de la calidad de la mezcla, y de la densidad y la resistencia de esta luego de compactada.

340.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

340.5.2.1 Calidad del producto bituminoso

Los requisitos de calidad, controles y criterios de aceptación para la emulsión asfáltica son los establecidos en el artículo 411.

340.5.2.2 Calidad del agua

Siempre que se tenga alguna incertidumbre en relación con la calidad del agua, se debe verificar su pH y su contenido de sulfatos. Los resultados deben satisfacer las exigencias del numeral 340.2.5 para permitir su empleo. Si no las satisfacen, se debe impedir el uso posterior de dicha agua y someter a observación los tramos ya elaborados con ella.

340.5.2.3 Calidad de los aditivos y elementos de aporte

Cada vez que el interventor lo considere necesario, se deben realizar las pruebas requeridas para verificar la calidad de estos productos. El incumplimiento de las especificaciones correspondientes implica el rechazo del respectivo envío.

340.5.2.4 Calidad de los agregados pétreos y suelos granulares

Se deben realizar los siguientes controles:

340.5.2.4.1 Aprobación inicial

De cada procedencia de los agregados pétreos y para cualquier volumen previsto, se deben tomar cuatro (4) muestras y a cada fracción de ellas se le debe realizar los ensayos indicados en la Tablas 340 — 2 o 340 — 3, según corresponda. Además, se deben realizar dos (2) ensayos de granulometría por cada pila de material granular recibido en el sitio de trabajo, sin importar si tienen la misma procedencia.

Los resultados de estas pruebas deben satisfacer las exigencias indicadas en las tablas mencionadas, so pena de rechazo de los materiales defectuosos.

340.5.2.4.2 Control de producción

Durante la etapa de producción, se deben examinar las descargas a los acopios y se debe ordenar el retiro de los agregados y suelos

que, a simple vista, contengan tierra vegetal, presenten restos de materia orgánica, o tamaños superiores al máximo especificado. Así mismo, se debe ordenar que se acopien por separado aquellos materiales que presenten alguna anomalía de aspecto, y se debe vigilar la altura de todos los acopios y el estado de sus elementos separadores.

Se debe procurar construir los acopios de agregados en forma de capas homogéneas de altura total no mayor a uno coma cinco metros (1,5 m). No es deseable el acopio en pilas de forma cónica, debido a la susceptibilidad de segregación de la fracción gruesa.

Además, se deben efectuar las verificaciones de calidad indicadas en la Tabla 340 — 9.

Tabla 340 — 9. Ensayos de verificación sobre los agregados pétreos y suelos granulares

Característica	Norma de ensayo INV	Frecuencia	
		Agregados	Suelos
Composición (F)			
Granulometría	E-123 y E-213	1 por jornada o 1 por cada 10^6 kg de material (Nota)	1 por jornada o 1 por cada 10^6 kg de material (Nota)
Dureza, agregado grueso (O)			
Desgaste en la máquina de Los Ángeles	E-218	1 por mes	No es aplicable
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval	E-238	1 por mes	
Resistencia mecánica por el método del 10 % de finos	E-224	1 por mes	
Durabilidad (O)			
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio	E-220	1 por mes	No es aplicable
Limpieza, gradación combinada (F)			
Límite líquido	E-125	1 por jornada	1 por jornada
Índice de Plasticidad	E-125 y E-126	1 por jornada	1 por jornada
Equivalente de arena	E-133	1 por semana	1 por semana
Terrones de arcilla y partículas deleznables	E-211	1 por semana	No es aplicable
Capacidad de soporte (F)			
CBR del material sin emulsión asfáltica	E-148	1 por mes	1 por mes

Nota: se debe realizar el número de ensayos que resulte mayor al aplicar estos dos criterios.

En el caso de suelos granulares, cada jornada se debe verificar la clasificación según el sistema AASHTO a partir de los resultados obtenidos de los ensayos diarios de granulometría, límite líquido e índice de plasticidad.

Los resultados de los ensayos de verificación se deben reportar en un periodo no mayor a veinticuatro horas (24 h) luego de la toma de las muestras, o un periodo menor, si lo permite el método de ensayo establecido, acordado previamente con el constructor.

El interventor puede reducir la cantidad de ensayos a la mitad de lo indicado en la Tabla 340 — 9, siempre que considere que los materiales son suficientemente homogéneos o si en el control de recibo de la obra terminada hubiese aceptado sin objeción diez (10) lotes consecutivos.

No se debe permitir el empleo de materiales que no satisfagan los requisitos pertinentes del presente artículo. En la eventualidad que alguna prueba dé lugar a un resultado no satisfactorio, se deben tomar dos (2) muestras adicionales del material y se debe repetir la prueba. Los resultados de ambos ensayos deben ser satisfactorios o, de lo contrario, el interventor debe impedir el uso del volumen de material al cual representen dichos ensayos.

340.5.2.5 Composición de la mezcla

Para efectos del control, se debe considerar como lote el volumen de material que resulte de aplicar los criterios del numeral 340.5.2.7.1.

Cuantitativamente, se deben realizar los siguientes controles:

340.5.2.5.1 Contenido de asfalto

Sobre tres (3) muestras de la mezcla elaborada correspondiente a un lote, definido, como se indica en el numeral 340.5.2.7.1, se debe determinar el contenido de asfalto residual (INV E-732).

El porcentaje de asfalto residual promedio del lote (*ART* %) debe tener una tolerancia de uno por ciento (1,0 %), para estabilizaciones realizadas en vía, y cero coma cinco por ciento (0,5 %), para mezclas elaboradas en planta, con respecto al establecido en la fórmula de trabajo (*ARF* %).

$$ARF\ \% - 1{,}0\ \% \leq ART\ \% \leq ARF\ \% + 1{,}0\ \%$$

(mezcla en vía) **[340.1]**

$$ARF\ \% - 0{,}5\ \% \leq ART\ \% \leq ARF\ \% + 0{,}5\ \%$$

(mezcla en planta) **[340.2]**

A su vez, el contenido de asfalto residual de cada muestra individual (*ARI* %), no puede diferir del valor medio del lote (*ART* %) en más de uno por ciento (1,0 %), admitiéndose solo un (1) valor por fuera de este intervalo.

$$ART\ \% - 1{,}0\ \% \leq ARI\ \% \leq ART\ \% + 1{,}0\ \%$$

[340.3]

Un porcentaje de asfalto residual fuera de tolerancia, así como un número mayor de muestras individuales por fuera de los límites, implica el rechazo del lote salvo que, en el caso de exceso del ligante, el constructor demuestre que no hay problemas de comportamiento de la base estabilizada.

En caso de rechazo, la capa correspondiente al lote controlado debe ser levantada mediante fresado y corregida o reemplazada por el constructor, hasta contar con la aprobación del interventor, sin costo adicional para INVÍAS.

340.5.2.5.2 Granulometría

Sobre las muestras utilizadas para hallar el contenido de asfalto, se debe determinar la composición granulométrica de los agregados,

mediante la norma de ensayo INV E-782, la cual debe cumplir la gradación de la fórmula de trabajo, dentro de las tolerancias establecidas en la Tabla 340 — 1.

Cuando los valores obtenidos incumplan estos requisitos, el constructor debe preparar en el laboratorio una mezcla con la gradación defectuosa y el porcentaje de emulsión asfáltica que dé lugar al contenido medio de asfalto residual de la mezcla elaborada con dicho material. Ella se debe someter a las pruebas mencionadas en el numeral 340.4.2. Si todos los requisitos allí indicados no se cumplen, se debe rechazar el lote al cual correspondan esas muestras.

En caso de rechazo, la capa correspondiente al lote controlado debe ser levantada mediante fresado y corregida o reemplazada por el constructor, hasta contar con la aprobación del interventor, sin costo adicional para INVÍAS.

340.5.2.5.2.1 Agregados pétreos

Las curvas obtenidas se deben ajustar a la establecida al determinar la fórmula de trabajo, con las tolerancias que se indican en la Tabla 340 — 1.

340.5.2.5.2.2 Suelos granulares

Las curvas obtenidas se deben encontrar dentro de la franja granulométrica de la Tabla 340 — 4.

340.5.2.6 Calidad de la mezcla

340.5.2.6.1 Resistencia

Con un mínimo de dos (2) muestras por lote de la mezcla elaborada, se deben moldear probetas (tres (3) por muestra) para verificar en el laboratorio su resistencia en los ensayos de inmersión-compresión o extrusión, según el tipo de material mineral que se estabilice (INV E-622 y NLT 170, respectivamente). Una muestra se debe curar en seco y otra en condición húmeda.

El promedio de la resistencia de las tres (3) probetas sometidas a curado seco (R_m), debe superar, o al menos igualar, al noventa por ciento (90 %) de la respectiva resistencia de la mezcla definitiva de trabajo (R_t). Un criterio similar se debe aplicar para las probetas sometidas a curado húmedo.

$$R_m \geq 0{,}90 * R_t \quad [340.4]$$

Además, la resistencia de cada probeta (R_i) debe ser igual o superior al ochenta por ciento (80 %) del valor medio de su respectivo grupo. Se admite solo un (1) valor individual por debajo de ese límite:

$$R_i \geq 0{,}80 * R_m \quad [340.5]$$

En el caso de base con agregados pétreos, la resistencia conservada promedio (R_{cm}), definida de acuerdo con el método de ensayo INV E-622, debe ser, como mínimo, el setenta y cinco por ciento (75 %), sin que al respecto se admita ninguna tolerancia.

Si uno o más de estos requisitos se incumplen, se debe rechazar el lote al cual representan las muestras. En caso de rechazo, la capa correspondiente al lote controlado debe ser levantada mediante fresado y corregida o reemplazada por el constructor, hasta contar con la aprobación del interventor, sin costo adicional para INVÍAS.

Si el incumplimiento se presenta en dos (2) lotes consecutivos, se deben suspender los trabajos hasta que se estudie una nueva fórmula de trabajo que garantice el cumplimiento de todos los requisitos establecidos en el numeral 340.4.2, para el tipo de base que se esté evaluando.

340.5.2.7 Calidad del producto terminado

340.5.2.7.1 Tamaño del lote

Se considera como lote, que se acepta o rechaza en conjunto, el volumen comprendido por la menor área construida que resulte de aplicar los siguientes criterios, para una sola capa de mezcla asfáltica densa en frío:

- Longitud de quinientos metros (500 m), medida a lo largo del eje de vía, de mezcla colocada en todo el ancho de la calzada.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m^2) de mezcla colocada.
- La obra ejecutada en una jornada de trabajo.
- La obra ejecutada con el mismo material, de la misma procedencia y con el mismo equipo y procedimiento de trabajo.

340.5.2.7.2 Aspectos generales

La capa terminada debe presentar una superficie uniforme y ajustarse a las rasantes y pendientes establecidas. La distancia entre el eje del proyecto y el borde de la capa, excluidos sus chaflanes, no debe ser menor que la señalada en los documentos del proyecto. La cota definitiva de cualquier punto de la capa no puede variar en más de diez milímetros (10 mm) de la proyectada.

La apariencia de la superficie terminada debe ser homogénea, de textura uniforme, sin presencia de fisuras, formación de láminas ni desprendimiento de partículas.

340.5.2.7.3 Compactación

Los sitios para la determinación de la densidad de la capa se deben elegir al azar, según la norma de ensayo INV E-730, pero de manera que se realice al menos una (1) prueba por hectómetro o una (1) cada *x*/450, donde *x* es el área en metros cuadrados del tramo construido en una (1) jornada, la que resulte en un mayor número de pruebas. Se deben efectuar, como mínimo, cinco (5) ensayos por lote.

Para el control de la compactación de una capa base estabilizada con emulsión, se debe calcular su grado de compactación, a partir de los resultados de los ensayos de densidad en el terreno y del ensayo de relaciones contenido de agua-peso unitario (ensayo modificado de compactación), mediante la expresión que resulte aplicable entre las siguientes:

- Material sin sobretamaños:

$$GC_i = \frac{\gamma_{d,i}}{\gamma_{d,máx}} * 100 \quad [340.6]$$

- Material con sobretamaños:

$$GC_i = \frac{\gamma_{d,i}}{C\gamma_{d,máx}} * 100 \quad [340.7]$$

Donde:

GC_i, valor individual del grado de compactación, en porcentaje.

$\gamma_{d,i}$, valor individual del peso unitario seco del material en el terreno, determinado por cualquier método aplicable de los descritos en las normas de ensayo INV E-161, E-162 y E-164, sin efectuar corrección por presencia de sobretamaños, de manera que corresponda a la muestra total.

$\gamma_{d,máx}$, valor del peso unitario seco máximo del material, obtenido según la norma de ensayo INV E-142 (ensayo modificado de compactación) sobre una muestra representativa del mismo.

$C\gamma_{d,máx}$, valor del peso unitario seco máximo del material, obtenido según la norma de ensayo INV E-142 sobre una muestra representativa del mismo y corregido por sobretamaños, según la norma de ensayo INV E-143, numeral 3.1, de manera que corresponda a la muestra total.

Sobretamaños (fracción gruesa) (P_{FG}), porción de la muestra total retenida en el tamiz de control correspondiente al método utilizado para realizar el ensayo de compactación (norma INV E-142).

El peso unitario seco máximo corregido del material ($C\gamma_{d,máx}$) que se use para calcular el grado de compactación individual (GC_i) se debe obtener, para cada sitio, a partir del contenido de sobretamaños (P_{FG}) presente en ese sitio.

Para la aceptación del lote se deben aplicar los siguientes criterios:

GC_l (90) ≥ 95,0% se acepta el lote **[340.8]**

GC_l (90) < 95,0% se rechaza el lote **[340.9]**

Donde:

GC_l (90), límite inferior del intervalo de confianza en el que, con una probabilidad del noventa por ciento (90 %), se encuentra el valor promedio del grado de compactación del lote, en porcentaje; se calcula según el numeral 107.3.1.3 del artículo 107, Control y aceptación de los trabajos, a partir de los valores individuales del grado de compactación (GC_i).

Las verificaciones de compactación se deben efectuar en todo el espesor de la capa que se está controlando.

Las comprobaciones de la compactación se deben realizar cuando se haya cumplido sustancialmente el período de curado de la mezcla, conforme se haya determinado en la fase de experimentación.

En caso de rechazo, la capa de base estabilizada correspondiente al lote controlado debe ser levantada mediante fresado y corregida por el constructor, hasta contar con la aprobación del interventor, sin costo adicional para INVÍAS.

340.5.2.7.4 Espesor

Sobre la base del lote escogido para el control de la compactación y en los mismos puntos de verificación, se debe determinar el espesor promedio de la capa compactada (e_m), el cual no puede ser inferior al espesor de diseño (e_d).

$$e_m \geq e_d \quad \textbf{[340.10]}$$

Además, el valor obtenido en cada determinación individual (e_i) debe ser, como mínimo,

igual al noventa por ciento (90 %) del espesor de diseño (e_d), admitiéndose un (1) solo valor por debajo de dicho límite, siempre que este último valor sea igual o mayor al ochenta y cinco por ciento (85 %) del espesor de diseño.

$$e_i \geq 0{,}90 * e_d \quad [340.11]$$

Si se incumple alguno de estos requisitos, se debe rechazar el lote, salvo que el constructor se comprometa a compensar la deficiencia, incrementando el espesor de la capa superior del pavimento en el espesor faltante, sin que ello genere costo alguno para INVÍAS.

340.5.2.7.5 Planicidad

La superficie acabada no puede presentar, en ningún punto, zonas de acumulación de agua ni irregularidades mayores de quince milímetros (15 mm) cuando se compruebe con una regla de tres metros (3 m), según la norma de ensayo INV E-793. La regla se debe colocar tanto paralela como perpendicularmente al eje de la vía, en los sitios que escoja el interventor, los cuales no pueden corresponder a puntos donde haya cambios de pendiente transversal de acuerdo con el diseño.

340.5.2.7.6 Correcciones por variaciones en el diseño o por causas no imputables al constructor

Cuando sea necesario efectuar correcciones a la capa de base estabilizada, por modificaciones en el diseño estructural o por fuerza mayor u otras causas inequívocamente no imputables al constructor, el interventor debe delimitar el área afectada y ordenar las correcciones necesarias, por cuyo trabajo debe autorizar pago al constructor, al respectivo precio unitario del contrato.

340.6 Medida

La base estabilizada con emulsión asfáltica se debe medir según lo descrito en el numeral 300.6.1 del artículo 300.

340.7 Forma de pago

La base estabilizada con emulsión asfáltica se debe pagar según lo descrito en el numeral 300.7 del artículo 300.

Se excluyen del precio unitario de la base estabilizada con emulsión asfáltica los siguientes aspectos:

- El suministro de la emulsión asfáltica, que se debe pagar de acuerdo con el artículo 411.
- La puzolana que se incluya en la mezcla para complementar la reactividad, de acuerdo con lo indicado en el numeral 340.2.3, que se debe pagar como se indique en una especificación particular.

340.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
340.1	Base estabilizada con emulsión asfáltica tipo BEE-38	Metro cúbico (m^3)
340.2	Base estabilizada con emulsión asfáltica tipo BEE-25	Metro cúbico (m^3)
340.3	Base estabilizada con emulsión asfáltica tipo BEE-5	Metro cúbico (m^3)

Base estabilizada con una mezcla asfáltica natural

Artículo 341 - 22

341.1 Descripción

Este trabajo consiste en la construcción de una base estabilizada con mezcla asfáltica natural en vías con un nivel de tránsito NT1, de acuerdo con los alineamientos y secciones indicados en los documentos del proyecto. El material por estabilizar puede ser aquel que resulta al escarificar una capa superficial existente, un material que se adiciona o una mezcla de ambos.

Para efectos de aplicación de esta especificación, se define como base estabilizada con una mezcla asfáltica natural, la adición en planta, zona de acopio o *in situ*, de una mezcla asfáltica natural seleccionada a un agregado pétreo.

341.2 Materiales

341.2.1 Agregados pétreos

Los agregados susceptibles de estabilizar con una mezcla asfáltica natural pueden provenir de la trituración de materiales pétreos de la vía, piedra de cantera o de grava natural o estar constituidos por una mezcla de ambos. Independientemente de su procedencia, los agregados deben estar exentos de materia orgánica, terrones de arcilla o cualquier otra sustancia que pueda resultar ambientalmente nociva o inconveniente para el buen comportamiento de la capa estabilizada.

La estructura de los pétreos resultante (combinada) para la construcción de la capa de base estabilizada con una mezcla asfáltica natural debe presentar una gradación que se ajuste a alguna de las franjas señaladas en la Tabla 341-1. La gradación por emplear se debe indicar en los documentos del proyecto. Dentro de la franja elegida, el constructor debe proponer al interventor una fórmula de trabajo la cual se debe ajustar durante la construcción de la capa con las tolerancias que se indican en la Tabla 341-1, pero sin permitir que la curva se salga de la franja adoptada.

Los agregados pétreos resultantes no deben ser susceptibles de ningún tipo de meteorización o alteración físico - química apreciable bajo las condiciones más desfavorables que presumiblemente puedan darse en la zona de empleo. Tampoco pueden, junto con el agua, dar origen a disoluciones que puedan causar daños a estructuras o a otras capas del pavimento o a contaminar corrientes de agua. Los agregados pétreos por estabilizar deben cumplir los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 341- 2.

El constructor, como responsable de los materiales que suministre para la ejecución de los trabajos, debe realizar todos los ensayos necesarios para establecer la calidad e inalterabilidad de los agregados a utilizar, independiente y complementariamente de los que taxativamente se exigen en esta especificación.

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

Tabla 341-1 Franjas granulométricas de los agregados combinados para la construcción de capas de bases estabilizadas con una mezcla asfáltica natural

Tipo de mezcla	Tamiz (mm / U.S. Standard)								
	37,5	25,0	12,5	9,5	4,75	2,36	0,425	0,150	0,075
	1 ½ Pulgadas	1 Pulgada	1/2 Pulgada	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 8	Nro. 40	Nro. 100	Nro. 200
	Pasa tamiz (%)								
BEMAN-38	100	70 - 100	50 - 80	45 - 75	30 - 60	20 - 45	10 - 27	5 - 18	3 - 15
BEMAN-25	-	100	60 - 90	50 - 80	30 - 60	20 - 45	10 - 27	5 - 18	3 - 15
Tolerancias en producción sobre la fórmula de Trabajo (±)	5 %							3 %	

Tabla 341-2 Requisitos de los agregados pétreos a estabilizar

Característica	Norma de ensayo INV	Requisito
Dureza, agregado grueso (O)		
Desgaste en la Máquina de los Ángeles, máximo (%) - 500 revoluciones	E- 218	50
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio, Máximo (%)	E-220	18
Limpieza (F)		
Límite líquido, máximo (%)	E-125	35
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 E-126	7
Terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%)	E-211	2
Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	20
Capacidad de soporte (F)		
CBR del agregado a estabilizar (%): porcentaje asociado al valor mínimo especificado de la densidad seca, medido en una muestra sometida a cuatro días de Inmersión, mínimo.	E-148	20

341.2.2 Mezcla asfáltica natural

La mezcla asfáltica natural es un material compuesto esencialmente de arenas finas y conglomerado impregnadas de asfalto, siendo este parámetro común para la mayoría de los depósitos que se encuentran en el territorio colombiano. El contenido de asfalto residual puede variar según la fuente de explotación. El material pétreo presente en el asfalto natural debe estar exento de materia orgánica o cualquier otra sustancia perjudicial.

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

341.3 Equipo

Al respecto rigen las condiciones generales que se indican en el numeral 300.3 del artículo 300, Disposiciones generales para la ejecución de afirmados, subbases y bases granulares y capas granulares estabilizadas. Para la construcción de las capas de base estabilizada con mezcla asfáltica natural se requieren, además, equipos para la explotación de los materiales, eventualmente una planta de trituración, una unidad clasificadora, equipos para mezclado y homogenización, cargue, transporte, extensión, humedecimiento y compactación del material; equipos para la elaboración, extensión, compactación y nivelación de la mezcla estabilizada, así como herramientas menores y un equipo apropiado para escarificar la capa existente en caso que su utilización esté prevista en el proyecto.

341.4 Ejecución de los trabajos

341.4.1 Explotación de materiales y elaboración de agregados

Rige lo indicado en el numeral 300.4.1 del artículo 300. En la explotación de la mezcla asfáltica natural se debe hacer la respectiva clasificación del material con el fin de evitar sobretamaños, materiales fósiles u otros elementos nocivos o contaminantes para la capa a conformar o cualquier otra sustancia que pueda resultar ambientalmente nociva o inconveniente para el buen comportamiento de la capa estabilizada. Se debe obtener en lo posible, una mezcla asfáltica natural con un porcentaje de asfalto relativamente homogéneo.

341.4.2 Diseño de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo

341.4.2.1 Generalidades

Con suficiente antelación al inicio de los trabajos, el constructor debe entregar al interventor, para su verificación, muestras de los materiales que se propone utilizar, avaladas por los resultados de ensayos que demuestren la conveniencia de utilizarlos. Si a criterio del interventor los materiales resultan objetables, el constructor debe efectuar las modificaciones necesarias para corregir las deficiencias. Una vez el interventor manifieste su conformidad con los materiales, el constructor debe definir la fórmula de trabajo para determinar las proporciones de los materiales utilizados y parámetros de compactación que permitan cumplir con los requerimientos exigidos a la capa de base estabilizada construida. Una vez el interventor manifieste su conformidad con los materiales y el diseño de la mezcla, este solo puede ser modificado durante la ejecución de los trabajos si se llega a presentar una variación inevitable en alguno de los componentes que intervienen en ella.

Las mezclas de base estabilizada con una mezcla asfáltica natural se deben diseñar utilizando el método inmersión – compresión, siguiendo el procedimiento definido por la norma de ensayo INV E-622. Para la aplicación de este método de dosificación se debe tener en cuenta que al agregado pétreo ya se le ha colocado el ligante asfáltico a través de la adición de la cantidad necesaria de mezcla asfáltica natural, por lo tanto, se debe determinar la humedad óptima de compactación del material granular estabilizado siguiendo el procedimiento definido por la norma de ensayo INV E-142 y

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

proceder a la evaluación de la resistencia a la compresión en estado seco y después del proceso de inmersión, tal como lo describe la norma INV E-622.

341.4.2.2 Diseño de la base estabilizada con mezcla asfáltica natural por resistencia

La evaluación de las propiedades del material pétreo estabilizado con la mezcla asfáltica natural se debe realizar por el método de inmersión – compresión. La dosificación óptima propuesta debe cumplir con los criterios establecidos en la Tabla 341-3.

Tabla 341-3 Criterios de resistencia para la determinación de la dosificación óptima de mezcla asfáltica natural

Parámetro	Norma de ensayo INV	Valor
Resistencia de probetas curadas en seco Rs, mínimo (Mpa)	INV E-622	1,5
Resistencia conservada tras curado húmedo Rc = Rh/Rs,mínimo (%)		60

El porcentaje óptimo de mezcla asfáltica natural debe ser aquel que, cumpliendo las exigencias indicadas, permita alcanzar el valor máximo de resistencia tras curado húmedo Rh.

341.4.2.3 Informe de diseño de la mezcla

El informe de diseño que presente el constructor, en el cual debe proponer la fórmula de trabajo por aplicar en cada tramo homogéneo, para consideración y eventual aprobación del interventor, debe contener por lo menos la siguiente información:

- La identificación y la proporción (en masa seca) de cada fracción del material granular a estabilizar.
- La granulometría de cada fracción del material granular.
- Las proporciones (en masa seca) de la mezcla asfáltica natural y del material granular.
- La granulometría combinada (agregado pétreo ymezcla asfáltica natural).
- El porcentaje de ligante asfáltico en la dosificación de diseño, con relación a la masa seca del componente mineral.
- El porcentaje de agua para compactación, con relación a la masa seca del componente mineral.
- Las resistencias a la compresión obtenidas en la prueba de inmersión - compresión.
- La masa unitaria seca máxima y la humedad óptima correspondientes a la dosificación de diseño.
- Los resultados de los ensayos complementarios que indiquen los documentos del proyecto.

341.4.2.4 Ajuste de la fórmula de trabajo

La fórmula de trabajo establecida en el laboratorio se puede ajustar con los resultados de las pruebas realizadas durante la fase de experimentación. Igualmente, si durante la ejecución de las obras varía la procedencia de

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

alguno de los componentes de la mezcla, se debe requerir el estudio de una nueva fórmula de trabajo.

Los trabajos no pueden ser iniciados a escala industrial, si la fórmula de trabajo definitiva para cada tramo no ha sido aprobada por el interventor.

La aprobación de la fórmula de trabajo por parte del interventor no exime al constructor de su plena responsabilidad de alcanzar, con base en ella, la calidad exigida en este artículo.

341.4.3 Preparación de la superficie existente

Si el material pétreo por estabilizar es totalmente de aporte, sea que la mezcla se realice en vía o en planta, antes de construir la base estabilizada se debe comprobar que la superficie que le va a servir de apoyo se encuentre limpia, tenga la densidad y la planicidad apropiadas y cumpla con las cotas indicadas en los documentos del proyecto. Todas las irregularidades que excedan las tolerancias establecidas en la especificación respectiva se deben corregir, de acuerdo con lo indicado en ella, hasta contar con la aprobación del interventor.

Si los documentos del proyecto exigen la aplicación previa de una imprimación, esta se debe efectuar de acuerdo con lo previsto en el artículo 420, Riego de imprimación.

En caso de que la construcción se vaya a realizar mediante el procedimiento de mezcla en vía en varias pasadas utilizando el material existente, este se debe escarificar en todo el ancho de la capa que se va a mezclar, hasta una profundidad suficiente para que, una vez compactada, la capa estabilizada alcance el espesor señalado en los documentos del proyecto. Si se contempla la adición de un material de aporte para mejorar el existente, ambos se deben mezclar uniformemente antes de iniciar la aplicación del ligante asfáltico a través de la mezcla asfáltica natural. Además, se debe comprobar que el material que se encuentre bajo el espesor por estabilizar presente adecuadas condiciones de resistencia y, en caso de no tenerlas, el interventor debe ordenar las modificaciones previas que considere necesarias en el procedimiento de trabajo.

En todos los casos debe estar concluida la construcción de los dispositivos necesarios que sean requeridos para el drenaje de la calzada, previamente a la construcción de la base estabilizada con mezcla asfáltica natural.

341.4.4 Transporte y almacenamiento de agregados de aporte

Cuando la estabilización incluya agregados de aporte, estos se deben transportar a la planta de mezcla o a la vía, según sea el caso, en vehículos apropiados, protegidos con lonas u otros cobertores adecuados, los cuales se deben asegurar a la carrocería para impedir que parte del material caiga sobre las vías por las cuales transitan los vehículos.

La mezcla asfáltica natural se puede acopiar, ya sea a lo largo de la vía a intervenir o en una zona aledaña a la misma, para después movilizarla en volquetas, cuidando que no pierda sus condiciones de calidad. Si el material está expuesto a condiciones climáticas adversas, deben tomarse las precauciones que se estimen convenientes para garantizar que la calidad de este se vea inmodificable.

Cuando se requiera almacenar los agregados destinados a la construcción de la base

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

estabilizada con la mezcla asfáltica natural, se deben tener en cuenta los cuidados señalados en el numeral 300.4.3 del artículo 300.

341.4.5 Elaboración de la mezcla

Se recomienda realizar la mezcla del agregado pétreo seleccionado con la mezcla asfáltica natural en un patio fuera de la vía, utilizando un cargador o un equipo que sea capaz de homogenizar los materiales en la proporción definida por la fórmula de trabajo.

En caso de utilizar parte de la capa existente como el material por estabilizar, la mezcla puede ser elaborada en la vía. El material que conforma la capa existente debe ser escarificado y pulverizado previamente. Si es necesario adicionar material de aporte, este se debe transportar a la vía para ser extendido en el ancho y en el espesor adecuados que permitan que la capa, luego de mezclada con el material pulverizado y la mezcla asfáltica natural, cumpla con las secciones indicadas en los documentos del proyecto.

Cuando la mezcla entre el agregado y la mezcla asfáltica natural se realice en la vía, el interventor debe aprobar por escrito el sector sobre el cual se van a homogenizar los materiales mediante las siguientes opciones: planta de mezcla, máquina estabilizadora con cámara de tambor rotatorio y motoniveladora. Si los documentos del proyecto no indican el equipo por utilizar, se debe dar por definido el uso de una máquina estabilizadora con cámara de tambor rotatorio de paso sencillo. Solo se debe permitir el uso de motoniveladora para la mezcla cuando los documentos del proyecto lo señalen taxativamente. Cualquiera que sea la forma utilizada, los materiales deben ser mezclados uniformemente y para ello debe distribuirse en dos cordones, verificando en cada uno de ellos la cantidad y la uniformidad de tal manera que garantice la obtención del contenido de asfalto y la granulometría combinada definida en la fórmula de trabajo. Previa verificación de la humedad se incorpora la cantidad debida de agua, en caso de requerirse, efectuando la mezcla correspondiente, perfilando la superficie de modo que presente aproximadamente la sección indicada en los documentos del proyecto. En caso de que el espesor de diseño exceda de quince centímetros (15 cm) la construcción de la capa estabilizada se debe fraccionar en dos (2) capas, preferiblemente de igual espesor.

341.4.6 Transporte de la mezcla

Si la mezcla es elaborada en una zona aledaña o en un patio de mezclado, esta se debe transportar a la vía en volquetas acondicionadas para tal fin. Durante el transporte de la mezcla se deben tomar las precauciones necesarias para reducir al mínimo la segregación y garantizar la uniformidad de la granulometría. La mezcla elaborada en el patio se debe transportar a la vía en volquetas hasta una hora del día en la que las operaciones de extensión y compactación se puedan realizar correctamente con luz solar. Solo se permite el trabajo en horas de la noche si, por aprobación del interventor, existe una iluminación artificial que permita la extensión y compactación de la mezcla de manera adecuada.

341.4.7 Extensión y compactación de la mezcla

Después de las operaciones de mezclado y eventual transporte, la mezcla se extiende mecánicamente en el ancho especificado y en un espesor tal que, después de compactada, se ajuste a la sección transversal y a las cotas

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

indicadas en los documentos del proyecto con la verificación del constructor y el interventor.

Una vez que se verifique que la mezcla tiene la humedad óptima de apisonado y contenido óptimo de asfalto, se continúa con la compactación mediante el procedimiento definido durante la fase de experimentación, hasta alcanzar los niveles de densidad exigidos en el numeral 341.5.2.4.3.

Independientemente del tipo de compactadores empleados, la compactación final se debe realizar con equipo neumático para eliminar las huellas de la maquinaria de construcción.

En las zonas que, por su reducida extensión o su proximidad a estructuras rígidas, no permitan el empleo del equipo aprobado durante la fase de experimentación, la mezcla se debe extender y compactar con los medios que resulten adecuados para el caso, de manera que la densidad alcanzada no sea inferior a la exigida por la presente especificación.

341.4.8 Juntas de trabajo

Todas las juntas de trabajo se deben disponer de forma que su borde quede vertical, cortando parte de la capa terminada. A todas las superficies de contacto de franjas construidas con anterioridad se les debe aplicar una capa uniforme y delgada de emulsión asfáltica, antes de colocar la mezcla nueva, de acuerdo con lo previsto en el artículo 421, Riego de liga. Las juntas transversales en la capa de rodadura se deben compactar transversalmente.

Si se trabaja por franjas, se deben disponer juntas longitudinales en todos los casos en que transcurra más de una jornada entre las operaciones en franjas contiguas. En lo posible, la mezcla se debe colocar en franjas del ancho apropiado para realizar el menor número de juntas longitudinales y conseguir la mayor continuidad de las operaciones de extendido teniendo en cuenta el ancho de la sección, las necesidades del tránsito, las características de la terminadora y la producción del material.

Cuando se emplee una terminadora, que es la opción recomendada, se debe regular de manera que la superficie de la capa extendida resulte lisa y uniforme, sin arrastres ni segregaciones, y con un espesor tal que, luego de compactada, se ajuste a la rasante y sección transversal indicadas en los documentos del proyecto con las tolerancias establecidas en la presente especificación. Por ningún motivo se permite el empleo de máquinas terminadoras que dejen marcas o depresiones en la superficie u otros defectos permanentes en ella.

Tampoco se permite la segregación de materiales. Si ocurre, la extensión de la mezcla debe ser suspendida inmediatamente hasta que su causa sea determinada y corregida. Toda área segregada que no sea corregida antes de la compactación debe ser removida y reemplazada con material apropiado, a expensas del constructor.

La colocación de la mezcla se debe realizar con la mayor continuidad posible, verificando dejar la superficie a las cotas previstas en el proyecto con el objeto de no tener que corregir la capa extendida.

341.4.9 Fase de experimentación

Rige lo indicado en el numeral 300.4.2 del artículo 300.

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

Al comienzo de los trabajos, el constructor debe elaborar secciones de prueba cuya longitud, ancho y espesor deben quedar definidos en acuerdo con el interventor, para probar tanto el equipo como los materiales, y así establecer el método definitivo de trabajo, de manera que se cumplan los requisitos de la presente especificación.

El interventor debe tomar muestras del material estabilizado para determinar su conformidad en relación con las condiciones especificadas sobre el grado de disgregación del material mineral, espesor de capa, proporción de mezcla asfáltica natural, contenido de ligante asfáltico, compactación y demás requisitos exigidos, conforme a lo determinado en la fórmula de trabajo.

En caso de que los ensayos indiquen que el material estabilizado no se ajusta a dichas condiciones, el constructor debe hacer inmediatamente todas las correcciones necesarias y, si fuere preciso, modificar la fórmula de trabajo repitiendo las secciones de ensayo una vez efectuadas las correcciones hasta que ellas sean aprobadas por el interventor.

341.4.10 Apertura al tránsito

No se debe permitir el tránsito público hasta que la mezcla haya adquirido la densidad especificada y la capa compactada pueda soportar el paso de los vehículos sin que se produzcan desplazamientos. Si esto no es posible, el tránsito que necesariamente deba circular sobre ella se debe distribuir de manera que no se concentren las huellas de su circulación sobre la superficie. Los daños producidos por esta causa deben ser reparados por el constructor sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías - INVÍAS.

341.4.11 Conservación

El constructor debe conservar la capa estabilizada con la mezcla asfáltica natural en perfectas condiciones hasta que se construya la capa superior prevista en el proyecto. Todo daño que se presente debe ser corregido para lograr los requisitos de la presente especificación previa aprobación del interventor, sin costo adicional para INVÍAS.

341.4.12 Limitaciones en la ejecución

No se permite la extensión y compactación de mezclas cuando la temperatura ambiente a la sombra sea inferior a cinco grados Celsius (5 °C), esté lloviendo o exista alta probabilidad de que ello ocurra.

En caso de que la mezcla sin compactar o compactada sea afectada por el agua de lluvia, el constructor debe, a su costa, retirar la mezcla afectada y reconstruir el sector deteriorado con una nueva mezcla, hasta ser aprobado por el interventor.

Los trabajos de construcción de la capa de base estabilizada con una mezcla asfáltica natural se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en jornada nocturna, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial adecuado.

Si el constructor no ofrece la anterior garantía, debe poner a disposición de la obra, el equipo y el personal adicional para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

341.4.13 Manejo ambiental

En relación con el manejo ambiental debe regir todo lo que resulte aplicable del numeral 300.4.8 del artículo 300.

341.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

341.5.1 Controles

En adición a lo exigido por el numeral 300.5.1 del artículo 300, se deben efectuar ensayos para el control de calidad de la mezcla y de densidad y resistencia de la capa luego de compactada.

341.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

341.5.2.1 Calidad de los agregados pétreos a estabilizar

Se deben realizar los siguientes controles:

341.5.2.1.1 Aprobación inicial

De cada procedencia de los agregados pétreos a estabilizar con la mezcla asfáltica natural y para cualquier volumen previsto, se deben tomar cuatro (4) muestras y a cada fracción de ellas se les debe realizar los ensayos que se encuentran indicados en la Tabla 341-2, según corresponda. Los resultados de estas pruebas deben satisfacer las exigencias indicadas en ellas, so pena de rechazo de los materiales defectuosos.

341.5.2.1.2 Control durante el proceso de producción

Durante la etapa de producción de la mezcla estabilizada, se deben examinar las descargas a los acopios ordenando el retiro de los agregados que, a simple vista, presenten restos de tierra vegetal, materia orgánica o tamaños superiores al máximo especificado. También se debe acopiar por separado aquellos materiales que presenten alguna anomalía de aspecto, vigilando la altura de todos los acopios y el estado de sus elementos separadores.

Además, se deben efectuar las verificaciones de calidad a los agregados pétreos por estabilizar con la mezcla asfáltica natural, indicadas en la Tabla 341-4.

No se permite el empleo de materiales que no satisfagan los requisitos pertinentes del presente artículo. En la eventualidad que alguna prueba reporte un resultado no satisfactorio, se deben tomar dos (2) muestras adicionales del material para proceder a repetir la prueba. Los resultados de ambos ensayos deben ser satisfactorios o, de lo contrario, el interventor debe impedir el uso del volumen de material al cual representen dichos ensayos.

El interventor puede reducir la frecuencia de los ensayos a la mitad de lo indicado en la Tabla 341-4, siempre que considere que los materiales son suficientemente homogéneos o si en el control de recibo de la obra terminada hubiese aceptado sin objeción diez (10) lotes consecutivos.

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

Tabla 341-4 Ensayos de verificación sobre los agregados pétreos

Característica	Norma de ensayo INV	Frecuencia
Composición (F)		
Granulometría combinada	INV E-213	1 por jornada
Dureza, agregado grueso (O)		
Desgaste en la Máquina de los Ángeles	INV E-218	1 por mes
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio	INV E-220	1 por mes
Limpieza, gradación combinada (F)		
Límite líquido	INV E-125	1 por jornada
Índice de plasticidad	INV E-125 INV E-126	1 por jornada
Terrones de arcilla y partículas deleznables	INV E-211	1 por semana
Equivalente de arena	INV E-133	1 por semana
Capacidad de soporte (F)		
CBR	INV E-148	1 por mes

Nota: Si no se especifica lo contrario, las características se verificarán al agregado a estabiliza

341.5.2.2 Composición de la mezcla

Para efectos del control se considera como lote el volumen de material que resulte de aplicar los criterios del numeral 341.5.2.4.1.

Cuantitativamente se realizarán los siguientes controles:

341.5.2.2.1 Contenido de asfalto

Sobre tres (3) muestras de la mezcla elaborada correspondiente a un lote definido como se indica en el numeral 341.5.2.4.1, se determina el contenido de asfalto residual (Norma de ensayo INV E-732).

El porcentaje de asfalto residual promedio del lote (ART %) debe tener una tolerancia de uno por ciento (1,0 %) para estabilizaciones realizadas en vía y cero coma cinco por ciento (0,5 %) para mezclas elaboradas en planta, con respecto al establecido en la fórmula de trabajo (ARF %).

(mezcla en vía) **[341.1]**

$$ARF\ \% - 1{,}0\ \% \leq ART\ \% \leq ARF\ \% + 1{,}0\ \%$$

(mezcla en planta) **[341.2]**

$$ARF\ \% - 0{,}5\ \% \leq ART\ \% \leq ARF\ \% + 0{,}5\ \%$$

A su vez, el contenido de asfalto residual de cada muestra individual (ARI %) no puede diferir del valor medio del lote (ART %) en más de uno por ciento(1,0 %), admitiéndose solo un (1) valor por fuera de este intervalo.

[341.3]

$$ART\ \% - 1{,}0\ \% \leq ARI\ \% \leq ART\ \% + 1{,}0\ \%$$

Un porcentaje de asfalto residual fuera de tolerancia, así como un número mayor de muestras individuales por fuera de los límites

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

implica el rechazo del lote salvo que, en el caso de exceso del ligante, el constructor demuestre que no hay problemas de comportamiento de la capa estabilizada.

En caso de rechazo, la capa correspondiente al lote controlado debe ser levantada mediante fresado y corregida o reemplazada por el constructor, hasta contar con la aprobación del interventor, sin costo adicional para INVÍAS.

341.5.2.2.2 Granulometría

Sobre las muestras utilizadas para hallar el contenido de asfalto, se debe determinar la composición granulométrica de los agregados mediante la norma de ensayo INV E-782, la cual debe cumplir la gradación de la fórmula de trabajo dentro de las tolerancias establecidas en la Tabla 341-1.

Cuando los valores obtenidos incumplan estos requisitos, el constructor debe preparar en el laboratorio una mezcla con la gradación defectuosa. Ella se debe someter a las pruebas mencionadas en el numeral 341.4.2. Si todos los requisitos allí indicados no se cumplen, se debe rechazar el lote al cual correspondan esas muestras.

En caso de rechazo, la capa correspondiente al lote controlado debe ser levantada mediante fresado y corregida o reemplazada por el constructor, hasta contar con la aprobación del interventor, sin costo adicional para INVÍAS.

341.5.2.3 Calidad de la mezcla

341.5.2.3.1 Resistencia

Con un mínimo de dos (2) muestras por lote de la mezcla elaborada, se deben moldear probetas (tres (3) por muestra) para verificar en el laboratorio su resistencia en los ensayos de inmersión-compresión (norma de ensayo INV E–622). Una muestra se debe curar en seco y otra en condición húmeda.

El promedio de la resistencia de las tres (3) probetas sometidas a curado seco (R_m) debe superar, o al menos igualar, el noventa por ciento (90 %) de la respectiva resistencia de la mezcla definitiva de trabajo (R_t). Un criterio similar se debe aplicar para las probetas sometidas a curado húmedo.

$$R_m \geq 0{,}90 \qquad \textbf{[341.4]}$$

Además, la resistencia de cada probeta (R_i) debe ser igual o superior al ochenta por ciento (80 %) del valor medio de su respectivo grupo.

$$R_i \geq 0{,}80\ R_m \qquad \textbf{[341.5]}$$

Se admite solo un (1) valor individual por debajo de ese límite:

La resistencia conservada promedio (R_{cm}) debe ser, como mínimo, el sesenta por ciento (60 %), sin que al respecto se admita ninguna tolerancia.

Si uno o más de estos requisitos se incumplen se debe rechazar el lote al cual representan las muestras. En caso de rechazo, la capa correspondiente al lote controlado debe ser levantada mediante fresado y corregida o reemplazada por el constructor, hasta contar con la aprobación del interventor, sin costo adicional para INVÍAS.

Si el incumplimiento se presenta en dos (2) lotes consecutivos, se deben suspender los trabajos hasta que se estudie una nueva fórmula de trabajo que garantice el cumplimiento de todos los requisitos establecidos en el numeral 341.4.2.

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

341.5.2.4 Calidad del producto terminado

341.5.2.4.1 Tamaño del lote

Se considerará como lote que se acepta o rechaza en bloque, la menor área construida que resulte de los siguientes criterios, para una sola capa de base estabilizada con una mezcla asfáltica natural:

- Longitud de quinientos metros (500 m), medida a lo largo del eje de vía, de mezcla colocada en todo el ancho de la calzada.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m^2) de mezcla colocada.
- La obra ejecutada con el mismo material, de la misma procedencia y con el mismo equipo y procedimiento de trabajo.

341.5.2.4.2 Aspectos generales

La capa terminada debe presentar una superficie uniforme y ajustarse a las rasantes y pendientes establecidas. La distancia entre el eje del proyecto y el borde de la capa, excluidos sus chaflanes, no debe ser menor que la señalada en los documentos del proyecto. La cota definitiva de cualquier punto de la capa no puede variar en más de diez milímetros (10 mm) de la proyectada.

341.5.2.4.3 Compactación

Los sitios para la determinación de la densidad de la capa se deben elegir al azar, según la norma de ensayo INV E-730, pero de manera que se realice al menos una (1) prueba por hectómetro. Se deben efectuar, como mínimo, cinco (5) ensayos por lote.

Para el control de la compactación de una capa de base estabilizada con una mezcla asfáltica natural, se debe calcular su grado de compactación a partir de los resultados de los ensayos de densidad en el terreno y del ensayo de relaciones humedad-peso unitario (ensayo modificado de compactación INV E-142), mediante la expresión que resulte aplicable entre las siguientes:

- Material sin sobretamaños:

$$GC_I = \frac{\gamma_{d,i}}{\gamma_{d,máx}} \times 100 \qquad [341.6]$$

- Material con sobretamaños

$$GC_I = \frac{\gamma_{d,i}}{C\gamma_{d,máx}} \times 100 \qquad [341.7]$$

Donde:

GC_i: Valor individual del grado de compactación en porcentaje.

$\gamma_{d,i}$: Valor individual del peso unitario seco del material en el terreno, determinado por cualquier método aplicable de los descritos en las normas de ensayo INV E-161, E-162 y E-164, sin efectuar corrección por presencia de sobretamaños de manera que corresponda a la muestra total.

$\gamma_{d,máx}$: Valor del peso unitario seco máximo del material, obtenido según la norma de ensayo INV E-142 (ensayo modificado de compactación) sobre una muestra representativa del mismo.

$C\gamma_{d,máx}$: Valor del peso unitario seco máximo del material, obtenido según la norma de ensayo INV E-142 sobre una muestra representativa del mismo y corregido por sobretamaños según la norma de ensayo INV E-143, numeral 3.1, de manera que corresponda a la muestra total.

Sobretamaños (fracción gruesa) (P_{FG}), porción de la muestra total retenida en el tamiz de

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

control correspondiente al método utilizado para realizar el ensayo de compactación (norma INV E-142).

El peso unitario seco máximo corregido del material ($C\gamma_{d,máx}$) que se use para calcular el grado de compactación individual (GC_i) se debe obtener, para cada sitio, a partir del contenido de sobretamaños (P_{FG}), presente en ese sitio.

Para la aceptación del lote se deben aplicar los siguientes criterios:

GC_l (90) ≥ 95,0 % se acepta el lote **[341.8]**

GC_l (90) < 95,0 % se rechaza el lote **[341.8]**

Donde:

GC_l(90): Límite inferior del intervalo de confianza en el que, con una probabilidad del noventa por ciento (90 %), se encuentra el valor promedio del grado de compactación del lote, en porcentaje; se calcula según el numeral 107.3.1.3 del artículo 107, Control y aceptación de los trabajos, a partir de los valores individuales del grado de compactación (GC_i).

Las verificaciones de compactación se deben efectuar en todo el espesor de la capa que se está controlando.

En caso de rechazo la capa de base estabilizada correspondiente al lote controlado debe ser levantada mediante fresado y corregida por el constructor, hasta contar con la aprobación del interventor, sin costo adicional para INVÍAS.

341.5.2.4.4 Espesor

Sobre la base del lote escogido para el control de la compactación y en los mismos puntos de verificación, se debe determinar el espesor promedio de la capa compactada (em), el cual no puede ser inferior al espesor de diseño (e_d).

$$e_m \geq e_d \quad \textbf{[341.10]}$$

Además, el valor obtenido en cada determinación individual (e_i) deberá ser, como mínimo, igual al noventa por ciento (90 %) del espesor de diseño (e_d), admitiéndose un (1) solo valor por debajo de dicho límite, siempre que este último valor sea igual o mayor al ochenta y cinco por ciento (85 %) del espesor de diseño.

$$e_i \geq 0.90 * e_d \quad \textbf{[341.11]}$$

Si se incumple alguno de estos requisitos se debe rechazar el lote, salvo que el constructor se comprometa a compensar la deficiencia incrementando el espesor de la capa superior del pavimento en el espesor faltante, sin que ello genere costo alguno para INVÍAS, ni problemas por gálibo.

341.5.2.4.5 Planicidad

La superficie acabada no puede presentar, en ningún punto, zonas de acumulación de agua ni irregularidades mayores de quince milímetros (15 mm) cuando se compruebe con una regla de tres metros (3 m), según la norma de ensayo INV E-793. La regla se debe colocar tanto paralela como perpendicularmente al eje de la vía, en los sitios que escoja el interventor, los cuales no pueden corresponder a puntos donde haya cambios de pendiente transversal de acuerdo con el diseño.

341.5.2.4.6 Correcciones por variaciones en el diseño o por causas no imputables al constructor

Cuando sea necesario efectuar correcciones a la capa estabilizada, por modificaciones en el

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

diseño estructural o por fuerza mayor u otras causas inequívocamente no imputables al constructor, el interventor debe delimitar el área afectada y ordenar las correcciones necesarias por cuyo trabajo debe autorizar pago al constructor, al respectivo precio unitario del contrato.

341.6 Medida

La base estabilizada con mezcla asfáltica natural se debe medir según lo descrito en el numeral 300.6.1 del artículo 300.

341.7 Forma de pago

La base estabilizada con mezcla asfáltica natural se debe pagar según lo descrito en el numeral 300.7 del artículo 300.

En el precio unitario se deben incluir todos los costos de explotación para los agregados pétreos de adición y/o importados y los de la mezcla natural.

341.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
341.1	Base estabilizada con mezcla asfáltica natural tipo BEMAN-38	Metro cúbico (m^3)
341.2	Base estabilizada con mezcla asfáltica natural tipo BEMAN-25	Metro cúbico (m^3)

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

Materiales granulares tratados con cemento como capa estructural

Artículo 350 – 22

350.1 Descripción

Este trabajo consiste en la construcción de una capa estructural de pavimento, constituida por una mezcla uniforme de suelos o agregados (material adicionado totalmente o resultante de la escarificación de la capa superficial existente, o una mezcla de ambos), cemento hidráulico, agua y eventualmente aditivos, de acuerdo con las dimensiones, los alineamientos y las secciones indicados en los documentos del proyecto.

A criterio del interventor, y de común acuerdo con el constructor, la capa estructural de pavimento, construida bajo las especificaciones presentadas en este artículo, puede ser considerada como una capa de base mejorada, u otra capa, siempre que se garantice su adecuado desempeño para las condiciones requeridas dentro de la estructura. Se debe especificar en el pliego de condiciones, el tipo de capa estructural que se planea lograr con este mejoramiento.

Para la estabilización de materiales granulares, se deben definir tramos homogéneos que permitan garantizar los diseños de mezcla, los procesos constructivos y el control de calidad de la obra.

Este artículo reemplaza a los artículos 350 — 13, Suelo-cemento; y 351 — 13, Base tratada con cemento.

350.2 Materiales

350.2.1 Clases de material estabilizado con cemento

Se definen cuatro (4) clases de material estabilizado con cemento, como se indica en la Tabla 350 — 1, en función de los criterios para el diseño de la mezcla.

Tabla 350 — 1. Clases de material para estabilizar con cemento

Clase de material estabilizado con cemento	Descripción	Nivel de tránsito
Clase-1	Material fino o granular que no cumple una gradación específica o que va a ser utilizado como capa estructural y como rodadura, cuando se trate de un pavimento unicapa.	NT1
Clase-2	Material fino o granular que no cumple una gradación específica y que va a ser utilizado como capa estructural.	NT1 y NT2

Clase de material estabilizado con cemento	Descripción	Nivel de tránsito
Clase-3	Mezcla uniforme de agregados pétreos que cumplen una gradación especificada en este artículo, para un nivel de tránsito medio, que va a ser utilizado como capa estructural (Nota).	NT2
Clase-4	Mezcla uniforme de agregados pétreos que cumplen una gradación especificada en este artículo, para un nivel de tránsito alto, que va a ser utilizado como capa estructural.	NT3

Nota: la mezcla uniforme de agregados pétreos puede provenir de material seleccionado y/o tratado de una planta de producción, o provenir de material escarificado del sitio y tratado. Cuando el constructor demuestre que el material escarificado del sitio cumple los requisitos indicados en el numeral 350.2.2, para el material Clase-4, se le permite usar dicho material para la construcción de capas en proyectos con tránsito NT3.

Los documentos del proyecto deben definir la clase de material por utilizar, además, deben definir el tipo de gradación, dentro de las opciones mencionadas en la Tabla 350 — 3. En el caso de las mezclas para rodadura, los documentos del proyecto pueden, además, especificar una resistencia mínima, superior a la establecida en el numeral 350.4.1.2.

350.2.2 Suelos o agregados por estabilizar

El material por estabilizar con cemento hidráulico puede provenir de la escarificación de la capa superficial existente, o ser un suelo natural proveniente de excavaciones o zonas de préstamo, o agregados locales, o escorias, o mezclas de ellos. El material, ya combinado, debe estar libre de toda sustancia que pueda perjudicar el correcto fraguado del cemento. Además, debe cumplir los requisitos generales que se indican en la Tabla 350 — 2, y se debe ajustar a alguna de las franjas granulométricas que se muestran en la Tabla 350 — 3.

Tabla 350 — 2. Requisitos de los materiales a ser tratados con cemento. (Nota 1)

Ensayo	Norma de ensayo	Material para tratar con cemento			
		Clase-1	Clase-2	Clase-3	Clase-4
Composición (F)					
Granulometría del material a tratar, listo para estabilizar.	INV E-123 e INV E-213	N/A	N/A	Tabla 350 — 3	Tabla 350 — 3
Tamaño máximo. (fracción del espesor de la capa compactada).		1/3	1/3	Tabla 350 — 3	Tabla 350 — 3

Ensayo	Norma de ensayo	Material para tratar con cemento			
		Clase-1	Clase-2	Clase-3	Clase-4
Dureza (O)					
Desgaste en la máquina de Los ángeles, máximo (%): - 500 revoluciones - 100 revoluciones	INV E-218	 N/A N/A	 N/A N/A	 40 8	 35 7
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%).	INV E-238	N/A	N/A	30	25
Resistencia mecánica por el método del 10 % de finos: - Valor en seco, mínimo (kN) - Relación húmedo/seco, mínimo (%)	INV E-224	 N/A N/A	 N/A N/A	 70 75	 90 75
Durabilidad (O)					
Pérdida en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%). (Nota 1): - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	INV E-220	 N/A N/A	 N/A N/A	 12 18	 12 18
Limpieza (F)					
Límite líquido, máximo (%).	INV E-125	30	30	25	25
Índice de Plasticidad, máximo (%). (Nota 2).	INV E-126 e INV E-125	12	12	6	6
Equivalente de arena, mínimo (%). (Nota 3).	INV E-133	15	15	35	35
Valor de azul de metileno, máximo (g/kg). (Nota 3).	INV E-235	20	20	10	10
Contenido de materia orgánica, máximo (%). (Nota 4).	INV E-121/ UNE-103204 (Nota 5)	2	2	1	1
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%).	INV E-211	N/A	N/A	2	2
Geometría de las partículas (F)					
Índices de alargamiento y aplanamiento, máximo (%).	INV E-230	N/A	N/A	N/A	35
Caras fracturadas (una cara), mínimo (%).	INV E-227	N/A	N/A	50	60
Resistencia del material (F)					
CBR del material a tratar sin cemento, para una compactación del noventa y cinco por ciento (95 %) del ensayo de compactación medido en una muestra sometida a cuatro días (4 d) de inmersión, mínimo (%). (Nota 6).	INV E-148	N/A	10	60	80

Ensayo	Norma de ensayo	Material para tratar con cemento			
		Clase-1	Clase-2	Clase-3	Clase-4
Características químicas (O)					
Proporción de sulfatos del material combinado, expresado como $SO_4^=$, máximo (%).	INV E-233	0,9	0,9	0,5	0,5

N/A: hace referencia a que no es aplicable; teniendo en cuenta la definición para cada clase de material.

Nota 1: todos los valores como requisitos exigidos para los materiales a ser tratados con cemento indicados en la Tabla 350 — 2, entendidos como ensayos de composición, dureza, durabilidad, limpieza, geometría de las partículas, resistencia del material y características químicas; pueden ser diferentes en el caso que sean establecidos en los documentos del proyecto y que el constructor, con aprobación del interventor, realice ensayos de validación de desempeño de estos materiales, en la fase de experimentación. El ensayo de solidez de sulfatos se puede realizar con sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

Nota 2: en el caso de índices de plasticidad o límites líquidos mayores al especificado para cada clase de material, se puede utilizar un tratamiento previo con cal y posteriormente el tratamiento con cemento, siempre que en la fase de experimentación se compruebe que el material tratado presenta un comportamiento adecuado, según los requerimientos de la estructura.

Nota 3: el ensayo de valor de azul de metileno solo se exige cuando el equivalente de arena del material sea inferior al indicado en la Tabla 350 — 2, pero igual o superior a diez por ciento (10 %) para los materiales utilizados en las clases 1 y 2, y veinticinco por ciento (25 %) para las clases 3 y 4.

Nota 4: opcionalmente, si no se cumple el requisito de materia orgánica, el constructor puede utilizar el material, si cumple las siguientes dos condiciones: (i) determinar que la materia orgánica presente no causa un aumento en el tiempo de fraguado mayor a ciento veinte minutos (120 min) en muestras de mortero; (ii) determinar que la materia orgánica presente no causa una reducción mayor a veinte por ciento (20 %) de la resistencia a la compresión en probetas con veintiocho días (28 d) de curado.

Nota 5: se puede determinar el contenido de materia orgánica por el método propuesto en la norma UNE, siempre que se considere que el método por ignición (según lo describe la norma de ensayo INV E-121) no es aplicable al material, debido a la naturaleza de la materia orgánica presente o a la presencia de minerales que pueden sufrir ignición y registrarse como materia orgánica erróneamente.

Nota 6: en el caso de CBR menores al especificado para cada clase de material, se puede utilizar un tratamiento previo con cal y posteriormente el tratamiento con cemento.

Tabla 350 — 3. Requisitos granulométricos de los materiales a tratar con cemento Clase-3 y Clase-4

Tipo de gradación	Tamiz (mm / U.S. *Standard*)								
	50	37,5	25,0	19,0	9,5	4,75	2,00	0,425	0,075
	2 Pulgadas	1 ½ Pulgadas	1 Pulgada	3/4 Pulgada	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 10	Nro. 40	Nro. 200
	Pasa tamiz (%)								
MGTC-50	100	70 — 100	60 — 100	50 — 90	40 — 80	30 — 70	20 — 55	10 — 40	2 — 20
MGTC-38	-	100	70 — 100	60 — 90	45 — 75	30 — 60	20 — 45	10 — 30	2 — 15
MGTC-25	-	-	100	70 — 100	50 — 80	35 — 65	25 — 50	15 — 30	2 — 15
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	0%	7 %	6 %			3 %			1,5 %

350.2.3 Cemento

Se debe utilizar cemento hidráulico, el cual debe cumplir con lo indicado en el artículo 501, Suministro de cemento hidráulico, o cementos de acuerdo con la NTC 4050. Cualquiera que sea el cemento por utilizar, se debe validar su comportamiento en la fase de experimentación. En general, no es recomendable usar cementos con tiempo de fraguado menor a una hora (1 h) ni mayor a diez horas (10 h).

No se debe permitir el empleo de cemento que haya fraguado parcialmente o que contenga terrones del producto endurecido. Tampoco se debe permitir el empleo de cemento extraído de bolsas usadas en jornadas anteriores. El constructor debe usar el cemento aproximadamente en el mismo orden cronológico en que fue producido y entregado por el fabricante.

350.2.4 Agua

El agua que se requiera para la estabilización debe ser limpia y libre de cantidades apreciables de aceites, ácidos, álcalis, azúcares, materia orgánica y cualquier otra sustancia perjudicial que pueda afectar al cemento. Así mismo, el agua no debe afectar negativamente el fraguado, el endurecimiento y el comportamiento de la mezcla.

Se debe establecer la fuente de agua en el pliego de condiciones. En el caso que, durante la ejecución del proyecto se deba cambiar de fuente de suministro o se tenga sospecha que la calidad del agua ha cambiado, se debe evaluar su calidad nuevamente so pena de rechazar su uso.

Puede ser agua potable; si no lo es, debe cumplir los requisitos que se indican en la Tabla 350 — 4.

Tabla 350 — 4. Requisitos del agua no potable para la construcción de material granular tratado con cemento

Característica	Norma de ensayo	Requisito
pH, mínimo	ASTM D1293	5,5
Contenido de sulfatos, expresado como $SO_4^=$, máximo (kg/m^3)	UNE 83956	1,0

350.2.5 Aditivos

Los documentos del proyecto pueden establecer el uso de aditivos para obtener la trabajabilidad adecuada o mejorar las características de la mezcla.

Los aditivos que se utilicen, según el diseño establecido, deben cumplir los requerimientos de la NTC 1299.

El empleo de aditivos retardadores de fraguado debe ser obligatorio cuando se prevea que la temperatura ambiente durante la construcción de la capa estabilizada es mayor a treinta grados Celsius (30 °C), salvo que el interventor, con base en los resultados de ensayos realizados para obtener la fórmula de trabajo, apruebe la construcción convencional sin uso de aditivos.

El constructor debe realizar los ensayos que demuestren que, los aditivos cumplen la función prevista con los materiales y dosificaciones de la fórmula de trabajo, y que estos no se encuentran vencidos.

350.3 Equipo

El equipo que se requiera utilizar para el proceso constructivo del material estabilizado debe ser probado y aprobado en los tramos de experimentación.

En la ejecución de los trabajos se deben emplear equipos mecánicos, que pueden ser independientes, o equipos que realicen dos o más operaciones. En general, la maquinaria debe estar constituida por equipos para la escarificación y la disgregación del material (si se requiere), la elaboración de la mezcla (planta de mezcla o máquina estabilizadora), motoniveladora, compactadores metálicos vibratorios y neumáticos, carrotanques para aplicar agua y el material de curado de la capa compactada, equipo para la formación de las juntas (si se requiere), equipos de transporte y herramientas menores.

Si los documentos del proyecto así lo indican, la extensión de la mezcla elaborada en planta se debe hacer con una máquina extendedora autopropulsada.

350.3.1 Equipo para la elaboración de la mezcla

Los documentos del proyecto deben definir el tipo de equipo para elaborar la mezcla de material estabilizado con cemento, dentro de las siguientes opciones: planta de mezcla, máquina estabilizadora con cámara de tambor rotatorio y motoniveladora.

Si los documentos del proyecto no indican el equipo por utilizar, se debe dar por definido el uso de una máquina estabilizadora con cámara de tambor rotatorio de paso sencillo. Solo se

debe permitir el uso de motoniveladora para la mezcla cuando los documentos del proyecto lo señalen taxativamente.

Si los documentos del proyecto exigen la preparación de la mezcla en una planta, se deben establecer, en detalle, las características de la planta y el procedimiento para la ejecución de los trabajos. Si no lo establecen, se deben aplicar las características de la planta y los procedimientos descritos en el artículo 630, Concreto estructural, para la elaboración de concreto.

En cualquier caso, el equipo para la mezcla, que suministre el constructor, debe ser capaz de lograr una completa homogenización de los componentes, dentro de las tolerancias establecidas en este artículo.

350.3.2 Equipos para explotación y manejo de materiales

En el caso que la estabilización incluya materiales transportados, el equipo debe incluir, también, elementos para su explotación, cargue, transporte, eventual trituración y clasificación.

350.3.3 Equipos para escarificación

Si está prevista la utilización de los materiales existentes en la vía, se debe contar con elementos apropiados para su escarificación.

350.4 Ejecución de los trabajos

350.4.1 Diseño de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo

350.4.1.1 Energía de referencia para la compactación

La energía de referencia para la compactación, en la construcción de las capas estructurales tratadas con cemento, debe ser establecida en los documentos del proyecto, en función del tipo de material granular por estabilizar, del nivel de tránsito, del tipo de pavimento y de la capacidad de soporte de la subrasante.

Todas las probetas necesarias para evaluar las propiedades de la mezcla se deben elaborar con el contenido de agua óptimo y el peso unitario seco máximo correspondientes a dicha energía de referencia.

Se debe tomar como referencia la Tabla 350 — 5, para la energía de compactación empleada en la fabricación de las probetas de materiales granulares tratados con cemento, teniendo en cuenta la naturaleza del material indicado en los documentos del proyecto.

Así mismo, los controles de compactación se deben efectuar, comparando los resultados de los ensayos de densidad en el terreno contra los resultados del ensayo de compactación en el laboratorio efectuado con esa energía.

Se deben realizar pruebas de desempeño del material bajo condiciones de servicio normales promedio, lo cual incluye condiciones climáticas y condiciones y volúmenes de tránsito.

Tabla 350 — 5. Procedimiento para la preparación de probetas de materiales tratados con cemento

Característica		Tipo de ensayo a ejecutar			
		Material tratado con cemento Clase-1 y Clase-2		Material tratado con cemento Clase-3 y Clase-4	
		Energía de compactación		Energía de compactación	
		Normal	Modificada	Normal	Modificada
Ensayo de referencia para la energía de compactación.		INV E-611	INV E-611 ajustado (Nota 2)	INV E-611 ajustado (Nota 2)	INV E-611 ajustado (Nota 2)
Energía nominal de compactación (kN*m/m^3).		605	2 730	580	2 730
Determinación del peso unitario seco máximo y preparación de probetas para prueba de compresión.	Volumen del molde (cm^3)	944	3 243 (Nota 3)	3 243 (Nota 3)	3 243 (Nota 3)
	Masa del martillo (kg)	2,495	4,536	4,536	4,536
	Altura de caída (mm)	305	457	457	457
	Número de capas	3	7	7	7
	Golpes/capa	25	61	13	61

Nota 1: para la preparación de las probetas se debe tener en cuenta lo siguiente: si todo el material pasa el tamiz de 19,0 mm (3/4 de pulgada), se debe usar la gradación entera, sin modificación, para fabricar los especímenes de ensayo. Si hay partículas retenidas en dicho tamiz, ellas se deben remover y reemplazar por una cantidad igual, en masa, de material que pase el tamiz de 19,0 mm (3/4 de pulgada) y quede retenido en el tamiz de 4,75 mm (nro. 4), obtenido de porciones de la muestra total que no se van a usar para el ensayo.

Nota 2: el ajuste en la norma INV E-611 se refiere al cambio del molde, el martillo, el número de capas y el número de golpes por capa.

Nota 3: el molde de tres mil doscientos cuarenta y tres centímetros cúbicos (3 243 cm^3) corresponde al del ensayo de CBR (norma de ensayo INV E-148) sin el disco espaciador o falso fondo. Sus dimensiones son: 152,4 mm ± 0,66 mm (6 pulgadas ± 0,026 pulgadas) de diámetro interior y 177,8 mm ± 0,46 mm (7 pulgadas ± 0,018 pulgadas) de altura. Se debe usar con una base sin perforaciones, como la que se emplea para la realización del ensayo de compactación modificado, norma de ensayo INV E-142, método C.

350.4.1.2 Diseño de la mezcla

La mezcla de material granular tratado con cemento se debe diseñar mediante los criterios de durabilidad y resistencia indicados en la Tabla 350 — 6. El contenido mínimo de cemento debe ser definido en los documentos del proyecto y validado en la fase de experimentación conforme a la fórmula de trabajo adoptada. En el caso de no contar con esta validación, el contenido de cemento no debe ser inferior a tres por ciento (3 %) de la masa seca del material por estabilizar. Además, debe ser aquel que permita cumplir los parámetros definidos en la tabla citada.

Los valores de referencia asociados al criterio de durabilidad dependen de la clasificación del material por estabilizar según el sistema AASHTO, norma INV E-180.

Tabla 350 — 6. Criterios de diseño para la mezcla de material granular tratado con cemento

Ensayo	Norma de ensayo INV	Clase-1	Clase-2	Clase-3	Clase-4
Durabilidad					
Máxima pérdida de masa de la mezcla compactada en prueba de humedecimiento y secado (%). (Nota 1): - Suelos A-1; A-2-4; A-2-5; A-3 - Suelos A-2-6; A-2-7; A-4; A-5 - Suelos A-6; A-7	E-612	 14 10 7	 N/A N/A N/A	 N/A N/A N/A	 N/A N/A N/A
Resistencia					
Comportamiento de la resistencia con: - Incremento en el contenido de cemento - Incremento en la edad	E-614	 Crece Crece			
Resistencia a la compresión a siete días (7 d) (MPa). Aplica a material originario de suelo y/o escarificado en la superficie: - Mínima (Nota 2) - Máxima (Nota 2) Aplica a material originario de agregados: - Mínima (Nota 2) - Máxima (Nota 2)	E-614	 (Nota 3) 4,5 (Nota 3) (Nota 3) 4,5 (Nota 3)	 2,5 4,5 2,5 4,5	 N/A N/A 2,5 4,5	 N/A N/A 2,5 4,5
Resistencia a la compresión a veintiocho días (28 d) (MPa), para capas de rodadura. Mínima (Nota 4).	E-614	2,5			

Nota 1: de manera opcional, se puede evaluar el criterio de durabilidad del material granular tratado con cemento, mediante una prueba de desgaste similar a la prueba del Cántabro realizada para mezclas asfálticas abiertas (según lo describe la norma de ensayo INV E-760). En este caso, la mezcla debe obtener un valor de pérdida por desgaste inferior al cincuenta por ciento (50 %), calculado como el valor promedio de cuatro (4) probetas preparadas con el mismo tipo de material, mismo contenido de cemento e idéntico procedimiento de preparación. Cada probeta por ensayar debe ser de forma cúbica, de ciento cuarenta milímetros (140 mm) de longitud, que se obtienen al cortar cada tercio extremo de las vigas ensayadas a flexión a veintiocho días (28 d) (según lo describe la norma de ensayo INV E-414). Sobre cada viga ya ensayada, se miden ciento cuarenta milímetros (140 mm) desde cada cara extrema y se realiza un corte plano, de apariencia lisa, para formar un cubo, que se introduce en la máquina de Los Ángeles, sin la carga abrasiva de esferas de acero, y se determina la pérdida de masa después de doscientas (200) revoluciones. Los valores de módulo de rotura determinado para cada viga también se deben reportar, salvo que el interventor apruebe la formación de los cubos de concreto, a partir de vigas que no hayan sido falladas a flexión.

Nota 2: los valores de resistencia mínima y máxima indicados en la Tabla 350 — 6 pueden ser diferentes, únicamente en el caso que sean establecidos en los documentos del proyecto y que el constructor, con aprobación del interventor, realice ensayos de validación de desempeño de los materiales granulares tratados con cemento; por ejemplo, ensayos de módulo resiliente. La determinación del módulo resiliente se debe realizar siguiendo el procedimiento establecido en la norma INV E-156. Por tratarse de mezclas a las que se les ha incorporado un ligante hidráulico, el cual tiene

reacciones de hidratación y desarrollo de resistencia en el tiempo, esta prueba se debe realizar a los veintiocho días (28 d). Estos ensayos deben satisfacer los resultados obtenidos en la fase de experimentación.

Nota 3: los documentos del proyecto deben definir el nivel de resistencia por emplear, para el uso de este material granular tratado con cemento. Pueden también definir un nivel de resistencia diferente a los indicados.

Nota 4: el interventor puede solicitar la determinación del valor de resistencia de probetas con veintiocho días (28 d) de curado para capas que no sean de rodadura, si lo considera necesario.

350.4.1.3 Fórmula de trabajo

Dentro de la franja granulométrica elegida, el constructor debe proponer al interventor una fórmula de trabajo a la cual se debe ajustar durante la construcción de la capa, con las tolerancias que se indican en la Tabla 350 — 3, pero sin permitir que la curva se salga de la franja adoptada.

La fórmula de trabajo establecida como resultado del diseño de la mezcla debe indicar:

- La granulometría del material.
- El tipo y la marca de cemento empleado en el diseño.
- El tipo y la marca de los aditivos empleados en el diseño.
- El contenido óptimo de cemento (*CFT* %).
- El valor de pérdidas por durabilidad.
- El valor de resistencia a la compresión (R_d) a los siete días (7 d).
- El valor de resistencia a la compresión a los veintiocho días (28 d), para el caso de capas de rodadura.
- Los porcentajes óptimos de agua para mezcla y compactación.

La fórmula de trabajo establecida en el laboratorio se puede ajustar con los resultados de las pruebas realizadas durante la fase de experimentación; la fórmula ajustada debe cumplir los requisitos establecidos para el diseño de la mezcla.

Si durante la ejecución de las obras varía la procedencia de alguno de los componentes de la mezcla, o la curva granulométrica incumple las tolerancias que se indican en la Tabla 350 — 3, se debe requerir el estudio de una nueva fórmula de trabajo.

350.4.2 Fase de experimentación

Al comienzo de los trabajos, el constructor debe elaborar secciones de ensayo de longitud, ancho y espesor definidos de acuerdo con el interventor, donde se debe probar el equipo y se debe determinar el método definitivo de trabajo, de manera que se cumplan los requisitos de la presente especificación.

Con base en los resultados que se obtengan a partir de muestras tomadas del material granular tratado con cemento, el interventor debe evaluar su conformidad en relación con las condiciones especificadas sobre disgregación, contenido de agua, espesor de la capa, proporción de cemento y demás requisitos exigidos.

En caso de que los ensayos indiquen que el material granular tratado con cemento no se ajusta a dichas condiciones, este debe ser removido y reemplazado por el constructor hasta contar con la aprobación del interventor, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS). Antes de efectuar el reemplazo, el constructor debe hacer

las modificaciones necesarias a los equipos y procedimientos de construcción y, si fuese preciso, debe modificar el diseño.

El proceso se debe repetir cuantas veces sea necesario hasta que las secciones de ensayo sean aprobadas por el interventor.

Tanto el constructor como el interventor deben emitir un informe con los resultados de la fase de experimentación y validación, y su cumplimiento como requisito para el inicio de la fase de construcción.

En cada tramo de experimentación y validación, deben quedar definidos los siguientes aspectos:

- Para el material granular tratado con cemento como capa estructural, ejecutado *in situ* con material existente o de préstamo:
  - Escarificación del material para tratar en el sitio
  - Incorporación del material de préstamo, cuando aplique
  - Aplicación del cemento de acuerdo con la condición planteada en la fase de experimentación
  - Mezcla

- Para mezcla en planta:
  - Bachadas de prueba
  - Tiempos de producción
  - Transporte

- Para tratamiento en sitio o mezcla en planta:
  - Perfilado
  - Extensión y conformación
  - Prefisuración (en caso de requerirse)
  - Compactación
  - Juntas de trabajo
  - Curado de la capa compactada
  - Apertura al tránsito
  - Limitaciones en la ejecución

Para cada uno de los tramos homogéneos definidos en la etapa de diseño o de construcción, los trabajos se deben realizar, de acuerdo con lo aprobado en la fase de experimentación y validación.

350.4.3 Preparación de la superficie existente

Si el material por estabilizar es totalmente de aporte, antes de construir la capa de material granular tratado con cemento, se debe comprobar que la superficie que va a servir de apoyo tenga la densidad y la planicidad apropiadas, así como las cotas indicadas en los documentos del proyecto. Todas las irregularidades que excedan las tolerancias establecidas en la especificación respectiva se deben corregir, de acuerdo con lo indicado en ella, hasta contar con la aprobación del interventor.

En caso de que la construcción se vaya a realizar únicamente con el material existente en la calzada, este se debe escarificar en todo el ancho de la capa que se va a mezclar, hasta una profundidad suficiente para que, una vez compactada, la capa de suelo-cemento alcance el espesor señalado en los documentos del proyecto.

Si se contempla la adición de un material de aporte para mejorar el existente, ambos se deben mezclar uniformemente, antes de iniciar la disgregación del material.

En todos los casos en que el proceso involucre el material del lugar, parcial o totalmente,

se debe comprobar que el material que se encuentre bajo el espesor por estabilizar presente adecuadas condiciones de resistencia y, en caso de no tenerlas, el interventor debe ordenar las modificaciones previas que considere necesarias.

En todos los casos debe estar concluida la construcción de los dispositivos necesarios para el drenaje de la calzada, previamente a la ejecución de las obras de la capa de material granular estabilizado con cemento.

350.4.4 Transporte y almacenamiento de suelos y agregados

Cuando la construcción de la capa incluya suelos o agregados de aporte, estos se deben transportar en vehículos apropiados, protegidos con lonas u otros cobertores adecuados, los cuales se deben asegurar a la carrocería, para impedir que parte del material caiga sobre las vías por las cuales transitan dichos vehículos.

Cuando se requiera almacenar los suelos o agregados, se deben tener en cuenta los cuidados señalados en el numeral 300.4.3 del artículo 300.

350.4.5 Mezcla en vía

El material granular sin cemento se debe conformar según la sección transversal mostrada en los documentos del proyecto, mediante el empleo de motoniveladora.

350.4.5.1 Disgregación del material

El material granular se debe disponer en un cordón de sección uniforme, donde debe ser verificada su homogeneidad. Si la capa se va a construir mediante combinación de varios agregados granulares, estos deben ser mezclados en la planta, por cuanto no se admite su combinación en la superficie de la vía; se exceptúa el caso en que se requiera mezclar material de aporte con material del sitio, situación en la cual se puede efectuar la mezcla en el sitio.

Antes de aplicar el cemento, si el material por tratar, bien sea que se haya escarificado en el lugar o transportado desde los sitios de origen aprobados por el interventor, o sea una mezcla de ambos, presenta grumos o aglomeraciones de partículas, se debe disgregar con el equipo de construcción, aprobado a partir de los resultados de la fase de experimentación, en el ancho y espesor suficientes que permitan obtener la sección compactada indicada en los documentos del proyecto.

El proceso de disgregación debe continuar hasta que se logren los requerimientos granulométricos del numeral 350.2.2. La longitud de calzada disgregada no debe exceder de la que se pueda tratar y compactar, de acuerdo con esta especificación, en dos días (2 d) de trabajo, salvo autorización escrita del interventor.

Una vez disgregado el material, este se debe conformar según la sección transversal de la calzada, con el empleo de motoniveladora.

350.4.5.2 Aplicación del cemento

El cemento se puede aplicar en bolsas o a granel. En cualquier caso, se debe esparcir sobre el agregado o suelo disgregado empleando el procedimiento aceptado por el interventor durante la fase de experimentación, de manera que se esparza la cantidad requerida según el diseño más la cantidad prevista por

desperdicios, a todo lo ancho de la capa por estabilizar. Durante la aplicación del cemento, el contenido de agua del material no puede ser superior al definido, durante el proceso de diseño, como adecuado para lograr una mezcla íntima y uniforme del material con el cemento. Sobre el cemento esparcido solo se debe permitir el tránsito del equipo que lo va a mezclar con el material.

350.4.5.3 Mezcla

Inmediatamente después de ser esparcido el cemento, se debe efectuar la mezcla, empleando el equipo aprobado. El número de pasadas depende del equipo utilizado y debe ser el necesario para garantizar la obtención de una mezcla homogénea, según se haya definido en la fase de experimentación. En caso de que se requiera, se debe añadir el agua faltante y se debe continuar mezclando hasta que la masa resultante presente completa homogeneidad. El contenido de agua de la mezcla debe ser el establecido en la fórmula de trabajo, con una tolerancia de más o menos uno por ciento (± 1 %).

El constructor con previa autorización del interventor debe fijar, a partir de los ensayos iniciales, el tiempo mínimo de amasado, que en ningún caso debe ser inferior a treinta segundos (30 s).

350.4.6 Mezcla en planta

Si los documentos del proyecto exigen la preparación de la mezcla en una planta, en ellos se debe establecer en detalle el procedimiento para la ejecución de los trabajos. Si no lo establecen, se deben aplicar los procedimientos para la elaboración y transporte de la mezcla descritos en el artículo 500, Pavimento de concreto hidráulico.

La mezcla elaborada en la planta aprobada luego de la fase de experimentación se debe transportar al sitio en volquetas estancas y cubiertas, aptas para el transporte de concreto, cumpliendo con los requisitos y los procedimientos establecidos en los numerales 500.3.2 y 500.4.6.3 del artículo 500.

350.4.7 Extensión y conformación

La mezcla elaborada sobre la vía se debe extender, tomando las precauciones necesarias para evitar segregaciones y contaminaciones, en todo el ancho previsto, en una capa uniforme que permita obtener el espesor y el grado de compactación exigidos, de acuerdo con los resultados obtenidos en la fase de experimentación, y se debe conformar a la sección transversal de la calzada.

Siempre que sea posible, el material granular estabilizado con cemento se debe extender en el ancho completo de la vía. En caso contrario, el material se debe extender por franjas longitudinales cuyo ancho debe ser al menos el de un carril, comenzando por el borde inferior. El ancho de las franjas de extensión debe ser tal, que se realice el menor número posible de juntas y se consiga la mayor continuidad de la extensión, teniendo en cuenta el ancho de la sección, la necesidad de mantener un carril funcionando para tránsito vehicular (si aplica) y las características de los equipos de extensión y de producción de la mezcla.

Para el caso de mezcla en planta, si los documentos del proyecto así lo requieren, se debe usar una máquina extendedora para estas labores. Si no lo requieren, la mezcla se puede extender y conformar con motoniveladora.

En todo caso, la cantidad de material extendido y conformado debe ser tal, que el espesor

de la capa compactada no resulte inferior a ciento cincuenta milímetros (150 mm) ni superior a doscientos milímetros (200 mm). Si el espesor de la capa tratada con cemento, por construir, es superior a doscientos milímetros (200 mm), el material se debe colocar en dos o más capas, y se debe procurar que el espesor de cada una de ellas sea sensiblemente igual y nunca inferior a cien milímetros (100 mm). En el caso de disponer de equipos de construcción que permitan la conformación de capas con espesores superiores a (200 mm), se debe garantizar que toda la capa cumpla los requerimientos establecidos en el numeral 350.5.

El material extendido y conformado debe mostrar una distribución granulométrica uniforme, sin segregaciones evidentes. El interventor no debe permitir la colocación de la capa siguiente, antes de verificar y aprobar la compactación de la precedente.

350.4.8 Prefisuración

Cuando los documentos del proyecto así lo indiquen, se debe efectuar una prefisuración de las capas de material granular tratado con cemento antes de iniciar su compactación. La necesidad de efectuar dicha prefisuración depende de factores tales como la posición de la capa dentro de la estructura, el tipo de rodadura, la resistencia del material granular tratado y el tipo de medidas que eventualmente contemplen los documentos del proyecto para evitar o controlar que el desarrollo de fisuras de contracción en la capa de material estabilizado con cemento deteriore la rodadura del pavimento. Uno de los criterios para decidir si se requiere la prefisuración puede ser que se superen las resistencias máximas de la mezcla, mencionadas en la Tabla 350 — 6. En todo caso, la necesidad de prefisuración debe ser determinada en la fase de experimentación.

Esta actividad consiste en la ejecución de juntas transversales en fresco, es decir, del material extendido, pero sin compactar. El diseño debe establecer la distancia a la cual se deben realizar dichas juntas. En general, la separación entre ellas debe estar comprendida entre tres y cuatro metros (3 m – 4 m).

Para la ejecución de las juntas transversales en fresco, se deben utilizar equipos que realicen en cada pasada un surco recto que penetre al menos dos tercios (2/3) del espesor de la capa y que, al mismo tiempo, introduzcan en este un producto adecuado para impedir que la junta se cierre de nuevo. Dicho producto puede consistir en una emulsión bituminosa de rotura rápida, una cinta de plástico flexible, un perfil ondulado de plástico rígido u otros sistemas que, además de impedir que se cierre de nuevo la junta durante la compactación, permitan la transmisión de cargas entre los dos lados de esta.

Se debe emplear el equipo y el método de ejecución aprobados por el interventor, cuya eficacia haya sido comprobada después de la realización de la fase de experimentación.

350.4.9 Compactación

La compactación de la mezcla se debe realizar, de acuerdo con el plan propuesto por el constructor y aprobado por el interventor durante la fase de experimentación.

El proceso de compactación debe ser tal, que evite la formación de una costra o capa

superior delgada, débilmente adherida al resto de la capa de material granular tratado con cemento. En caso de que ella se produzca, debe ser eliminada hasta obtener una superficie uniforme y compacta.

La compactación se debe realizar de manera continua y sistemática. Si la extensión del material se realiza por franjas, al compactar una de ellas se debe ampliar la zona de compactación para que incluya, al menos, quince centímetros (15 cm) de la anterior. Los rodillos deben llevar su rueda motriz del lado más cercano al equipo de extensión, y los cambios de dirección y de sentido se deben realizar sobre material ya compactado y con suavidad. Los elementos de compactación deben estar siempre limpios y, si fuera preciso, húmedos.

Los trabajos de compactación deben ser terminados en un lapso no mayor de dos horas (2 h) desde el inicio de la mezcla. En la fase de experimentación se puede definir un lapso menor o mayor, teniendo en cuenta las características propias del proyecto. Las zonas que por su reducida extensión o su proximidad a estructuras rígidas no permitan el empleo del equipo de mezcla y compactación aprobado durante la fase de experimentación, se deben compactar con los medios que resulten adecuados para el caso, de manera que la mezcla resulte homogénea y la densidad alcanzada no sea inferior a la exigida por la presente especificación. Una vez terminada la compactación, la superficie se debe mantener húmeda hasta que se aplique el riego de curado.

Cuando la capa estructural tratada con cemento se deba construir en varias capas, las operaciones se deben adelantar de tal forma que se pueda completar el espesor total de la misma en un tiempo no mayor de dos horas (2 h). Si se usan aditivos retardadores, este tiempo se puede extender según se defina en la fase de experimentación. Alternativamente, la superficie de la capa inferior de la capa estructural tratada con cemento se debe mantener húmeda en forma permanente, mediante riego por aspersión, hasta la colocación de la capa superior, la cual debe ser extendida y compactada en un lapso no mayor de siete días (7 d) después de terminada la capa inferior.

350.4.10 Juntas de trabajo

Las juntas entre trabajos realizados en días sucesivos se deben cuidar para proteger la capa construida cuando se vaya a esparcir y compactar la adyacente. Para tal efecto, al término de la jornada de trabajo se debe formar una junta transversal perpendicular al eje de la calzada, haciendo un corte vertical en el material compactado. Se debe procurar localizarlas a no menos de cinco metros (5 m) de otras juntas transversales realizadas en cualquier capa inferior de la estructura.

Si la capa de material granular tratado con cemento no se construye en todo el ancho de la calzada sino por franjas, también, se deben disponer juntas longitudinales en corte vertical y paralelas al eje longitudinal de la calzada, mediante un procedimiento aceptado por el interventor.

El material recolectado de los cortes de juntas debe ser claramente identificado y almacenado, y no se debe permitir su uso en la construcción de las capas de la estructura.

350.4.11 Curado de la capa compactada

Terminada la compactación de la capa de material granular tratado con cemento, esta se debe proteger contra pérdidas de contenido de agua, por un período no menor de siete días (7 d), mediante la aplicación de una película bituminosa con emulsión de rotura rápida tipo CRR-60, conforme se establece en el artículo 422, Riego de curado.

Si la aplicación del riego de curado no se hace inmediatamente después de terminada la compactación, se debe mantener el contenido de agua de la superficie mediante riego frecuente de agua por aspersión.

Cuando la capa estructural tratada con cemento se deba construir en varias capas, no se debe aplicar el riego de curado sobre la superficie de la capa inferior de la capa estructural tratada con cemento, sino que esta se debe mantener húmeda en forma permanente, mediante riego por aspersión, hasta la colocación de la capa superior.

En el momento de aplicar el riego, que en ningún caso puede ser después de veinticuatro horas (24 h) de terminada la compactación, la superficie de la capa de material granular tratado con cemento debe presentar un aspecto denso y homogéneo, y tener el contenido de agua suficiente que permita el curado.

350.4.12 Apertura al tránsito

La capa de material granular tratado con cemento solo se puede abrir al tránsito público y al de los equipos de construcción a los siete días (7 d) de su compactación. Se permite el tránsito vehicular en un tiempo inferior a siete días (7 d), únicamente en el caso de realizar las validaciones correspondientes en la fase de experimentación, por parte del constructor y con previa aprobación del interventor, asegurando que se cumplan los requerimientos de desempeño de la capa de material granular tratado con cemento, indicados en los documentos del proyecto. La velocidad de circulación se debe restringir a treinta kilómetros por hora (30 km/h) desde el momento de la apertura al tránsito y, como mínimo, hasta pasado los siete días (7 d) desde la compactación de la capa construida. La apertura debe ser inicialmente durante un tiempo corto que permita verificar el comportamiento de la capa compactada y localizar las áreas que deban ser objeto de corrección. Como resultado de lo observado en esta apertura parcial, el interventor debe definir el instante de apertura definitiva, de la capa compactada, al tránsito público.

350.4.13 Limitaciones en la ejecución

Las estabilizaciones con cemento solo se pueden llevar a cabo cuando la temperatura ambiente a la sombra sea superior a cinco grados Celsius (5 °C) y cuando no haya lluvia o temores fundados de que ella ocurra, o haya una capa de niebla intensa, o esté previsto un clima con temperatura inferior a uno coma cinco grados Celsius (1,5 °C) en las siguientes cuarenta y ocho horas (48 h) al trabajo. En caso de que la mezcla sin compactar sea afectada por agua lluvia, y como resultado de ello el contenido de agua de la mezcla supere la tolerancia mencionada en el numeral 350.4.5.3 de esta especificación, el constructor debe retirar la mezcla afectada y

reconstruir el sector deteriorado, hasta contar con la aprobación del interventor, sin costo adicional para INVÍAS.

Los trabajos se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que resulte satisfactorio para el desarrollo del trabajo en condiciones seguras y que sea aprobado por el interventor. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

350.4.14 Manejo ambiental

Rige todo lo que resulte aplicable del numeral 300.4.8 del artículo 300.

Algunos de los cuidados relevantes en relación con la protección ambiental se describen a continuación, sin perjuicio de los que exijan los documentos de cada proyecto, en particular o la legislación ambiental vigente:

- Se debe evitar el tránsito desordenado de equipos de construcción por fuera del área de los trabajos, con el fin de evitar perjuicios innecesarios a la flora y a la fauna, así como interferencias al drenaje natural.
- Los dispositivos de drenaje superficial y la pendiente transversal de la calzada se deben mantener correctamente durante la ejecución de los trabajos, con el fin de prevenir erosiones y arrastres innecesarios de partículas sólidas.
- El manejo y aplicación del cemento se debe realizar con las precauciones que exijan las autoridades ambientales.

350.4.15 Conservación de la capa terminada

El constructor debe conservar la capa de material granular tratado con cemento en perfectas condiciones, hasta que se construya la capa superior prevista en los documentos del proyecto. Todo daño que se presente debe corregirlo hasta contar con la aprobación del interventor, sin costo adicional para INVÍAS.

350.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

350.5.1 Controles

En adición a lo indicado en el numeral 300.5.1 del artículo 300, se deben efectuar ensayos de control de la mezcla y, una vez compactada, de densidad, espesor y planicidad de la capa terminada.

350.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

350.5.2.1 Calidad de los materiales

350.5.2.1.1 Calidad de suelos o agregados por estabilizar

Se deben tomar cuatro (4) muestras representativas de cada fuente de suelos y agregados por utilizar en la producción de la capa de material granular tratado con cemento, y por

cada dos mil metros cúbicos (2 000 m^3) del material de un mismo tipo, y se deben ejecutar los ensayos que permitan verificar el cumplimiento de los requisitos establecidos en el numeral 350.2.2.

Durante la etapa de producción, se deben examinar las descargas a los acopios y se debe ordenar el retiro de los suelos y agregados que, a simple vista, contengan tierra vegetal, presenten restos de materia orgánica, o tamaños superiores al máximo especificado. Además, se deben efectuar las verificaciones periódicas indicadas en la Tabla 350 — 7.

El interventor puede adelantar las pruebas adicionales que le permitan tener certeza de la calidad del material por estabilizar, de acuerdo con las exigencias de la presente especificación.

Tabla 350 — 7. Verificaciones periódicas sobre el material por estabilizar

Característica	Norma de ensayo	Tipo de material	Frecuencia
Composición (F)			
Granulometría	INV E-123 e INV E-213	Todos	1 por jornada o 1 cada 3 000 m^2 de superficie de material compactado (Nota)
Dureza (O)			
Desgaste en la máquina de Los Ángeles	INV E-218	Clase-3 y Clase-4	1 por mes
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval	INV E-238	Clase-3 y Clase-4	1 por mes
Limpieza (F)			
Límite líquido e Índice de Plasticidad	INV E-125 e INV E-126	Todos	1 por jornada
Equivalente de arena	INV E-133	Todos	1 por semana
Valor de azul de metileno (si aplica)	INV E-235	Todos	1 por semana
Contenido de materia orgánica	INV E-121/ UNE 103204	Todos	1 por semana
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables	INV E-211	Clase-3 y Clase-4	1 por semana
Geometría de las partículas (F)			
Índices de alargamiento y aplanamiento	INV E-230	Clase-3 y Clase-4	1 por semana
Caras fracturadas	INV E-227	Clase-3 y Clase-4	1 por jornada
Resistencia del material (F)			
CBR	INV E-148	Todos	1 por mes

Nota: se debe realizar el número de ensayos que resulte mayor al aplicar estos dos criterios.

El interventor puede reducir la frecuencia de los ensayos a la mitad de lo indicado en la Tabla 350 — 7, siempre que considere que los materiales son suficientemente homogéneos o si en el control de recibo de la obra terminada hubiese aceptado sin objeción diez (10) lotes consecutivos.

Cuando el interventor considere que las características del material explotado en una fuente han cambiado, se deben repetir todos los ensayos especificados en la Tabla 350 — 2 y adoptar los correctivos que sean necesarios. No se debe permitir el empleo de materiales que no satisfagan los requisitos de calidad indicados en el numeral 350.2.2.

En la eventualidad de que el resultado de alguna prueba no sea satisfactorio, se deben tomar dos (2) muestras adicionales del material y se debe repetir la prueba. Los resultados de ambos ensayos deben ser satisfactorios, de lo contrario, el interventor no debe autorizar la utilización de este material.

Los resultados de los ensayos de verificación se deben reportar en un periodo no mayor de veinticuatro horas (24 h) luego de la toma de las muestras, o un periodo menor acordado previamente con el constructor.

350.5.2.1.2 Calidad del cemento

Por ningún motivo se debe permitir el empleo de cemento endurecido o cuya fecha de vencimiento haya sido superada.

El cemento se debe almacenar en contenedores a prueba de agua y con una estructura tal, que se garantice la inexistencia de zonas muertas de almacenamiento, definidas como aquellas zonas en donde no se hace uso o movimiento del cemento. En caso de encontrar zonas muertas con material que no es reemplazado continuamente, toda la estructura de almacenamiento debe ser vaciada y limpiada cada tres (3) meses. En ningún caso se debe utilizar cemento que haya durado más de tres (3) meses almacenado en el sitio de trabajo.

Por cada suministro de cemento que llegue a la obra, el proveedor debe entregar un certificado de calidad donde se indiquen las propiedades del producto entregado, de acuerdo con el artículo 501 o la NTC 4050, con la finalidad de verificar la calidad del producto y establecer su aceptación o rechazo. Este certificado debe contener, como mínimo, la estadística semanal de la calidad del cemento entregado por el productor.

El cemento utilizado debe ser del tipo MCH (Moderado Calor de Hidratación) o del tipo BCH (Bajo Calor de Hidratación), según las normas NTC 121 o ASTM C1157/C1157M. También, se puede usar cemento tipo UG (Uso General), según las normas NTC 121 o ASTM C1157/C1157M, en el cual se garantice que el Calor de Hidratación no supere el valor de doscientos cincuenta kilojulios por kilogramo (250 kJ/kg [kcal/kg]) en siete días (7 d).

Las verificaciones se deben realizar conforme se establece en el numeral 501.5.2 del artículo 501.

En ambientes muy húmedos o en condiciones atmosféricas desfavorables o de obra anormales, el interventor puede reducir el plazo de tres (3) meses para la comprobación de las condiciones de almacenamiento del cemento.

Además de lo anteriormente establecido, cuando el interventor lo considere conveniente, se deben llevar a cabo ensayos adicionales para la comprobación de las características que estime necesarias.

La toma de muestra del cemento se debe realizar lo más rápido posible, para reducir al mínimo la absorción de humedad. Una vez recogida la muestra se debe guardar en un recipiente estanco y con cierre hermético hasta su análisis.

Como alternativa, se puede realizar un tramo de prueba que permita validar la calidad del cemento almacenado.

350.5.2.1.3 Calidad del agua

Siempre que tenga alguna sospecha sobre la calidad del agua empleada, se debe verificar su pH y su contenido de sulfatos.

350.5.2.1.4 Calidad de los aditivos y productos de curado

El constructor debe presentar certificaciones periódicas de los fabricantes o de los proveedores de estos productos, que brinden garantía en cuanto a la calidad y a la conveniencia de su utilización, para la revisión y eventual autorización de uso por parte del interventor.

350.5.2.2 Calidad de la mezcla

350.5.2.2.1 Contenido de cemento

Sobre tres (3) muestras de la mezcla elaborada correspondiente a un lote, definido como se indica en el numeral 350.5.2.3, se debe determinar el contenido de cemento (INV E-617 o ASTM D5982). Cada muestra se debe tomar en un solo sitio de la capa extendida, abarcando todo su espesor, inmediatamente antes de iniciar la compactación.

El porcentaje de cemento promedio de las tres muestras que representan al lote (*CPL* %), debe tener una tolerancia de cero coma tres por ciento (0,3 %), respecto del óptimo definido en la fórmula de trabajo (*CFT* %).

$$CFT\ \% - 0{,}3\ \% \leq CPL\ \% \leq CFT\ \% + 0{,}3\ \% \quad [350.1]$$

A su vez, el porcentaje de cemento de cada muestra individual (*CI* %), no debe diferir del valor promedio del lote (*CPL* %), en más de cero coma cinco por ciento (0,5 %), admitiéndose un (1) solo valor fuera de ese intervalo.

$$CPL\ \% - 0{,}5\ \% \leq CI\ \% \leq CPL\ \% + 0{,}5\ \% \quad [350.2]$$

Un porcentaje de cemento promedio (*CPL* %) fuera de tolerancia, así como un número mayor de muestras individuales por fuera de los límites, implica el rechazo del lote salvo que, en el caso de exceso de cemento, el constructor demuestre que no hay problemas de comportamiento de la capa de material granular tratado con cemento.

Si el lote es rechazado, el constructor debe retirar la capa y reponerla hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material removido es de propiedad del constructor.

En ningún caso se debe aceptar el uso del material removido como material de construcción para alguna capa estructural estabilizada (entiéndase como cualquier capa de la

estructura, incluyendo la subrasante y/o afirmado) de otro lote del proyecto, a menos que se acuerde con el interventor llevar a cabo un tratamiento previo de disgregación y selección de material, que dé como resultado un material reciclado apropiado, aprobado por el interventor.

350.5.2.2.2 Resistencia

Con un mínimo de dos (2) muestras por lote de la mezcla elaborada en la obra, se deben moldear probetas (dos (2) por muestra) según lo especificado en la Tabla 350 — 5, para verificar en el laboratorio su resistencia a compresión simple luego de siete días (7 d) de curado, de conformidad con un procedimiento similar al realizado durante el diseño de la mezcla. Cada muestra se debe tomar en un solo sitio de la capa extendida y conformada, abarcando todo su espesor, inmediatamente antes de iniciar la compactación.

La resistencia media de las cuatro (4) o más probetas que representan al lote (R_m), debe ser igual o superior al noventa y dos por ciento (92 %) de la resistencia correspondiente al diseño presentado por el constructor (R_d) y aprobado por el interventor, conforme se describe en el numeral 350.4.1.

$$R_m \geq 0{,}92 * R_d \quad [350.3]$$

A su vez, la resistencia de cada probeta (R_i) debe ser igual o mayor al noventa por ciento (90 %) del valor medio (R_m).

$$R_i \geq 0{,}90 * R_m \quad [350.4]$$

Por otra parte, si la resistencia media de las probetas que representen al lote (R_m) es mayor a la resistencia máxima definida en la Tabla 350 — 6, se deben realizar juntas de contracción por aserrado, con una separación entre juntas entre tres y cuatro metros (3 m y 4 m), y ubicadas a no menos de dos coma cinco metros (2,5 m) de posibles grietas de retracción que se hayan podido formar. La conformación de juntas por aserrado no es necesaria si se realizó prefisuración, de acuerdo con la sección 350.4.8 de este artículo, y si así lo autoriza el interventor.

Si uno o más de estos requisitos se incumplen, se debe rechazar el lote al cual representan las muestras. Si el lote es rechazado, el constructor debe retirar la capa y reponerla hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material removido es de propiedad del constructor.

350.5.2.3 Calidad de la capa terminada

Para efectos del control, se debe considerar como lote, que se acepta o rechaza en conjunto, la menor área construida que resulte de aplicar los siguientes criterios:

- Quinientos metros (500 m) de capa de material granular tratado con cemento, medidos en la dirección del eje del trazado de vía.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m^2) de capa de material granular tratado con cemento.
- La obra ejecutada en una jornada de trabajo.
- La obra ejecutada con el mismo material, de la misma procedencia y con el mismo equipo y procedimiento de trabajo.

La capa terminada debe presentar una superficie uniforme y debe estar ajustada a las rasantes y las pendientes establecidas. La distancia entre el eje del proyecto y el borde

de la capa que se está construyendo, excluyendo sus chaflanes, no puede ser menor que la señalada en los documentos del proyecto. La cota de cualquier punto de la capa compactada no debe variar en más de diez milímetros (10 mm) de la proyectada.

Además, se deben realizar los siguientes controles:

350.5.2.3.1 Compactación

Los sitios para la determinación de la densidad de la capa se deben elegir al azar, según la norma de ensayo INV E-730, pero de manera que se realice al menos una prueba por hectómetro. Se deben efectuar, como mínimo, cinco (5) ensayos por lote.

Para el control de la compactación de una capa de material granular tratado con cemento, se debe calcular su grado de compactación a partir de los resultados de los ensayos de densidad en el terreno y del ensayo de compactación en el laboratorio, mediante la siguiente expresión:

$$GC_i = \frac{\gamma_{d,i}}{\gamma_{d,máx}} * 100 \qquad [350.5]$$

Donde:

GC_i, valor individual del grado de compactación, en porcentaje.

$\gamma_{d,i}$, valor individual del peso unitario seco del material en el terreno, determinado por cualquier método aplicable de los descritos en las normas de ensayo INV E-161, E-162 y E-164, sin efectuar corrección por presencia de sobretamaños, de manera que corresponda a la muestra total.

$\gamma_{d,max}$, valor del peso unitario seco máximo del material, obtenido según los criterios establecidos en la Tabla 350 — 5, realizado sobre una muestra representativa del mismo.

Si los documentos del proyecto no indican otra cosa, se deben aplicar los siguientes criterios para la aceptación del lote:

Para el caso de capas construidas inmediatamente debajo de la capa de rodadura:

GC_l (90) ≥ 98,0 % *se acepta el lote* [350.6]

GC_l (90) < 98,0 % *se rechaza el lote* [350.7]

Para el caso de capas construidas bajo otra capa granular que no sirva como superficie de rodadura:

GC_l (90) ≥ 95,0 % *se acepta el lote* [350.8]

GC_l (90) < 95,0 % *se rechaza el lote* [350.9]

Donde:

GC_l (90), límite inferior del intervalo de confianza en el que, con una probabilidad del noventa por ciento (90 %), se encuentra el valor promedio del grado de compactación del lote, en porcentaje; se calcula según el numeral 107.3.1.3 del artículo 107, Control y aceptación de los trabajos, a partir de los valores individuales del grado de compactación (GC_i).

Las verificaciones de compactación se deben efectuar en todo el espesor de la capa que se está controlando.

Si el lote es rechazado, el constructor debe retirar la capa y reponerla hasta contar con la aprobación del interventor, sin costo adicional para INVÍAS. La capa de reposición debe mantener las cotas del proyecto y garantizar las propiedades de capacidad y estabilidad equivalentes a las contempladas en los documentos del proyecto para la capa de material estabilizado. El material retirado es de propiedad del constructor.

350.5.2.3.2 Espesor

Sobre la base de los sitios escogidos para el control de la compactación, que en cualquier caso no puede ser un número menor a uno (1) por cada setenta y cinco metros (75 m) medidos en el sentido del eje del trazado, el interventor debe determinar el espesor medio de la capa compactada (e_m), el cual no puede ser inferior al espesor de diseño (e_d).

$$e_m \geq e_d \quad [350.10]$$

Además, el espesor obtenido en cada determinación individual (e_i) debe ser, cuando menos, igual al noventa por ciento (90 %) del espesor de diseño (e_d), admitiéndose solo un valor por debajo de dicho límite, siempre y cuando este valor sea igual o mayor al ochenta y cinco por ciento (85 %) del espesor de diseño.

$$e_i \geq 0{,}90 * e_d \quad [350.11]$$

Si se incumple alguno de estos requisitos, se debe rechazar el lote. En este caso, el constructor debe retirar la capa y reponerla hasta contar con la aprobación del interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material retirado es de propiedad del constructor.

350.5.2.3.3 Planicidad

Inmediatamente después de la compactación, se debe comprobar la uniformidad de la superficie de la obra ejecutada mediante la regla de tres metros (3 m), según la norma de ensayo INV E-793, en todos los sitios que el interventor lo considere conveniente. La regla se debe colocar tanto paralela como perpendicularmente al eje de la vía, y no se deben admitir variaciones superiores a diez milímetros (10 mm) si la capa se ubica debajo de las capas superficiales, o de quince milímetros (15 mm) si la capa se ubica sobre la subrasante, para cualquier punto que no esté afectado por un cambio de pendiente.

Todas las áreas de la capa de material granular tratado con cemento donde los defectos de calidad y terminación excedan las tolerancias de esta especificación, deben ser corregidas por el constructor, de acuerdo con las instrucciones del interventor y hasta ser aprobadas por este, sin costo adicional para INVÍAS.

350.5.2.3.4 Regularidad superficial

El Índice de Rugosidad Internacional (IRI), de acuerdo con las normas ASTM E1926 y ASTM E950, debe cumplir lo fijado en la Tabla 350 — 8, en función de la clase de material estabilizado y del espesor total (e_t) de las capas que se vayan a extender sobre este.

Tabla 350 — 8. Índice de Rugosidad Internacional (IRI) (m/km)

Porcentaje (%) de hectómetros	Material estabilizado			
	Clase-1	Clase-2, Clase-3 y Clase-4		
		$e_t \geq 20$ cm	10 cm < e_t < 20 cm	$e_t \leq 10$ cm
50	< 2,5	< 3,0	< 2,5	< 2,5
80	< 3,5	< 4,0	< 3,5	< 3,5
100	< 4,0	< 5,0	< 4,5	< 4,0

Si los resultados del IRI de la capa terminada exceden los límites establecidos, se debe proceder de la siguiente manera:

Se deben corregir los defectos de la capa mediante fresado y se debe volver a construir, cumpliendo los requisitos especificados en este artículo, por cuenta del constructor.

El IRI se debe comprobar de manera continua en toda la longitud de la obra y en cada carril, antes del recibo definitivo de la misma. Para los efectos de aceptación del pavimento terminado, este artículo establece que la determinación del IRI se debe realizar, únicamente, con procedimientos de medida de precisión o con equipos de referencia inercial.

Las medidas de precisión se pueden adelantar con mira y nivel, de acuerdo con el procedimiento indicado en la norma de ensayo INV E-794, o con un perfilómetro pivotante de alta precisión, norma de ensayo INV E-814.

Si se opta por el equipo de referencia inercial, este se debe validar previamente con uno de precisión en un tramo de prueba de longitud no menor de doscientos (200 m). El equipo de referencia inercial se debe operar, de acuerdo con la norma ASTM E950.

350.6 Medida

El material granular tratado con cemento como capa estructural, se debe medir según lo descrito en el numeral 300.6.1 del artículo 300.

Si los documentos del proyecto indican que el suministro del cemento hidráulico se paga por aparte, la unidad de medida de este debe ser el kilogramo (kg), aproximado al kilogramo entero, incorporado en la mezcla, debidamente aceptada por el interventor. En este caso, para determinar la cantidad de cemento hidráulico efectivamente incorporado a la mezcla, se debe tomar el porcentaje de cemento promedio del lote (*CPL* %), determinado en los ensayos de contenido de cemento realizados a la mezcla como se indica en el numeral 350.5.2.2.1, se debe efectuar el cálculo correspondiente y se debe aproximar al kilogramo entero.

350.7 Forma de pago

El material granular tratado con cemento se debe pagar según lo establecido en el numeral 300.7 del artículo 300.

El precio unitario debe incluir, además, el costo de la ejecución de la prefisuración mencionada

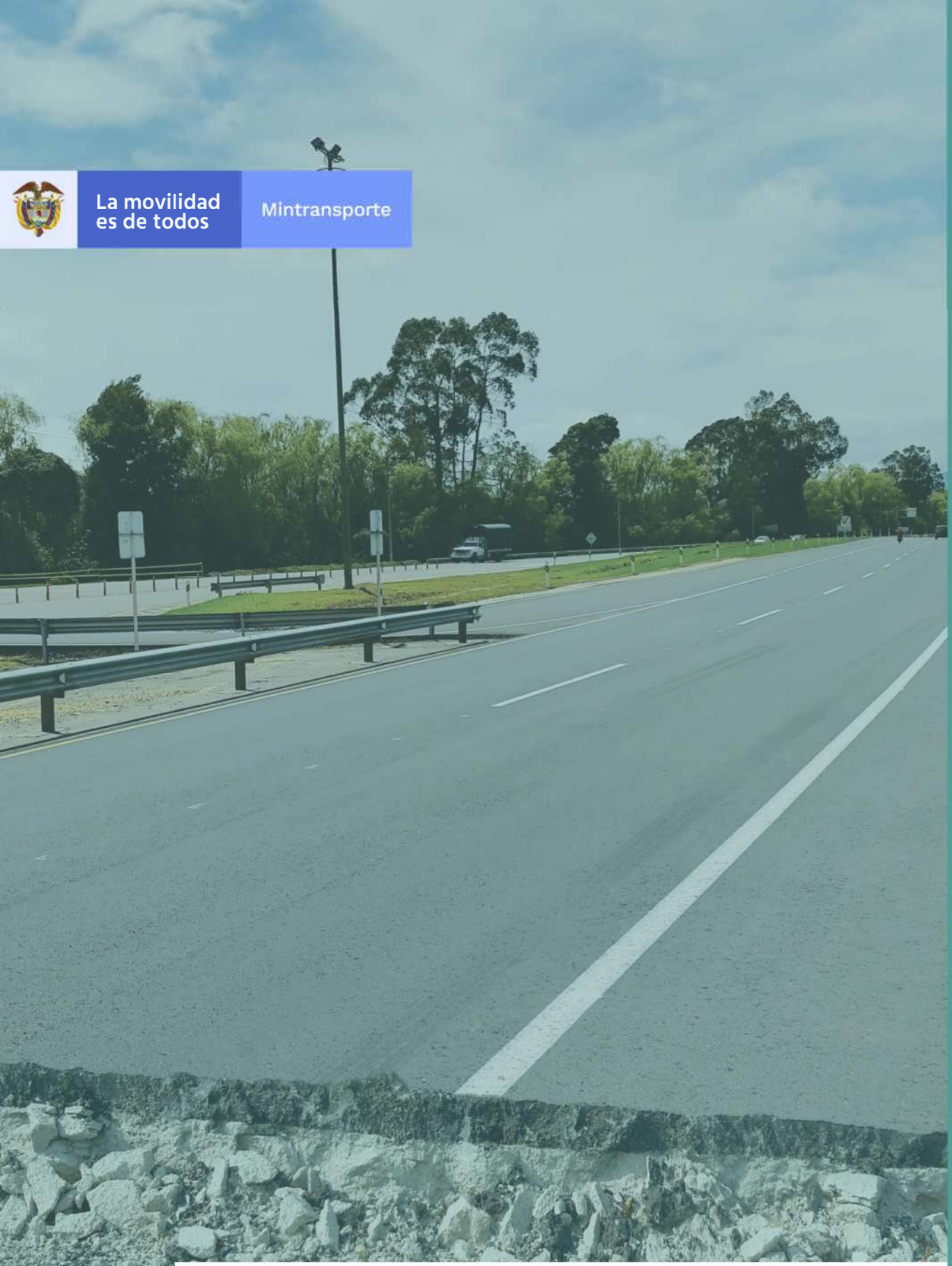
en el numeral 350.4.8, incluyendo el suministro y la aplicación o instalación del producto que impida que las juntas se cierren de nuevo.

Si los documentos del proyecto especifican otro tipo de medidas para evitar o controlar el reflejo de fisuras, como instalación de geosintéticos o construcción de capas asfálticas de mezcla abierta, estas se deben pagar según el ítem correspondiente del contrato.

350.8 Ítem de pago

El precio unitario del material granular tratado con cemento (MGTC) no incluye el suministro del cemento.

Ítem	Descripción	Unidad
350.1	MGTC clase 1 (no incluye suministro del cemento)	Metro cúbico (m^3)
350.2	MGTC clase 2 (no incluye suministro del cemento)	Metro cúbico (m^3)
350.3	MGTC clase 3, gradación tipo MGTC-25 (no incluye suministro del cemento)	Metro cúbico (m^3)
350.4	MGTC clase 3, gradación tipo MGTC-38 (no incluye suministro del cemento)	Metro cúbico (m^3)
350.5	MGTC clase 3, gradación tipo MGTC-50 (no incluye suministro del cemento)	Metro cúbico (m^3)
350.6	MGTC clase 4, gradación tipo MGTC-25 (no incluye suministro del cemento)	Metro cúbico (m^3)
350.7	MGTC clase 4, gradación tipo MGTC-38 (no incluye suministro del cemento)	Metro cúbico (m^3)
350.8	MGTC clase 4, gradación tipo MGTC-50 (no incluye suministro del cemento)	Metro cúbico (m^3)
350.9	Cemento hidráulico para capa tratada con cemento	Kilogramo (kg)



La movilidad es de todos

Mintransporte

UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

INVIAS
INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

La movilidad es de todos

Mintransporte

CAPÍTULO 4

Especificaciones generales de construcción de carreteras 2022

UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

INVIAS
INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

4

Pavimentos asfálticos

Disposiciones generales para la ejecución de riegos de imprimación, liga y curado, tratamientos superficiales, sellos de arena-asfalto, lechadas asfálticas, mezclas asfálticas en frío y en caliente y reciclado de pavimentos asfálticos

Artículo 400 – 22

400.1 Descripción

Esta especificación presenta las disposiciones que son generales a los trabajos de imprimación, riegos de liga y de curado, así como tratamientos superficiales, sellos de arena-asfalto y lechadas asfálticas, bases, capas de mezcla asfáltica, bacheos asfálticos en frío y en caliente y reciclados con productos bituminosos, a los cuales se refiere el capítulo 4 de las presentes Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras.

400.2 Materiales

400.2.1 Agregados pétreos y llenante mineral

400.2.1.1 Denominación

La Tabla 400 – 1 muestra la denominación del agregado según su tamaño, para el objeto de las especificaciones del capítulo 4.

Tabla 400 – 1. Denominación de los agregados minerales

Denominación	Descripción
Agregado grueso	Porción del agregado retenida en el tamiz de 4,75 mm (nro. 4)
Agregado fino	Porción del agregado comprendida entre los tamices de 4,75 mm (nro. 4) y 0,075 mm (nro. 200)
Llenante mineral - Llenante mineral de aporte	Porción que pasa el tamiz de 0,075 mm (nro. 200) - Fracción del llenante que se incorpora a la mezcla por separado

400.2.1.2 Aspectos generales

Los agregados pétreos no deben ser susceptibles de ningún tipo de alteración físico-química apreciable, bajo las condiciones más desfavorables que presumiblemente se puedan dar en la zona de empleo. Tampoco pueden dar origen, con el agua, a disoluciones que puedan causar daños a estructuras o a otras capas del pavimento, o contaminar corrientes de agua.

El constructor, como responsable de los materiales que suministre para la ejecución

de los trabajos, debe realizar todos los ensayos necesarios para establecer la calidad y la inalterabilidad de los agregados por utilizar, independiente y complementariamente de los que se exigen en estas especificaciones.

Los agregados pétreos deben poseer una naturaleza tal que, al aplicársele una capa del material asfáltico por utilizar en el trabajo, esta no se desprenda por la acción del agua y del tránsito. Solo se debe admitir el empleo de agregados con características hidrófilas, si se añade algún aditivo de comprobada eficacia para proporcionar una adhesividad satisfactoria, de acuerdo con las exigencias establecidas en cada uno de los artículos.

400.2.1.2.1 Agregado grueso

El agregado grueso debe proceder de la trituración y la clasificación de roca y/o grava; sus fragmentos deben ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables.

El interventor puede rechazar cualquier material pétreo que presente sustancias objetables, que no permitan la adecuada adherencia del asfalto o que no cumplan los requisitos de los artículos correspondientes.

400.2.1.2.2 Agregado fino

El agregado fino debe estar constituido por arena de trituración o una mezcla de ella con arena natural. La proporción admisible de esta última dentro del conjunto se encuentra definida en la respectiva especificación. Los granos del agregado fino deben ser duros, limpios y de superficie rugosa y angular. El material debe estar libre de cualquier sustancia que impida la adhesión del asfalto.

400.2.1.2.3 Llenante mineral

El llenante mineral puede provenir de los procesos de trituración y clasificación de los agregados pétreos o puede ser de aporte como producto comercial, generalmente cal hidratada o cemento hidráulico.

400.2.1.2.4 Requisitos de calidad

Los requisitos específicos de calidad de los agregados grueso y fino y del llenante mineral se especifican en los diferentes artículos del capítulo 4 de estas especificaciones.

400.2.1.3 Productos asfálticos

Los cementos asfálticos, emulsiones asfálticas y asfaltos líquidos deben cumplir los requisitos establecidos en los siguientes artículos del capítulo 4 de estas especificaciones.

- Cementos asfálticos: artículo 410.
- Emulsiones asfálticas: artículo 411.
- Cementos asfálticos modificados con grano de caucho reciclado: artículo 413.
- Cementos asfálticos modificados con polímeros: artículo 414.
- Emulsiones asfálticas modificadas con polímeros: artículo 415.
- Asfalto líquido: artículo 416.

400.2.2 Aditivos mejoradores de adherencia

Los aditivos mejoradores de adherencia se deben ajustar a lo descrito en el artículo 412.

400.3 Equipo

Todos los equipos empleados deben ser compatibles con los procedimientos de construcción

adoptados y requieren la aprobación previa del interventor, teniendo en cuenta que su capacidad y eficiencia se ajusten al programa de ejecución de las obras y al cumplimiento de las exigencias de calidad del presente artículo y del correspondiente a la respectiva partida de trabajo.

400.3.1 Equipo para la elaboración de los agregados triturados

La planta de trituración debe estar provista de una trituradora primaria, una secundaria y una terciaria siempre que esta última se requiera; debe incluir también una clasificadora y, de ser necesario, un equipo de lavado.

400.3.2 Planta para fabricación de mezclas asfálticas en caliente

La mezcla de concreto asfáltico se debe fabricar en plantas de asfalto de secamiento continuo, con sistema de mezclado y entrega tipo continuo o discontinuo, y con un sistema de dosificación de agregados en frío o en caliente, capaz de manejar simultáneamente el número de fracciones de agregado que exija la fórmula de trabajo adoptada, y cumplir con las tolerancias especificadas en el ar-tículo correspondiente al tipo de mezcla que se vaya a elaborar.

Las plantas productoras de mezcla asfáltica deben cumplir lo establecido en la reglamentación vigente sobre protección y control de vertimientos en cuanto a la calidad del ambiente (agua, suelos y aire); para su funcionamiento en la obra, se debe presentar previamente al Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) la autorización correspondiente o el permiso vigente de emisiones atmosféricas, expedido por la entidad nacional o regional encargada de otorgar tales permisos.

Para la fabricación de mezclas asfálticas en caliente, se pueden usar plantas de los tipos y las características indicados en la Tabla 400 – 2.

Tabla 400 – 2. Tipos de plantas para la fabricación de mezclas asfálticas en caliente

Tipo de planta		Requisitos
De mezcla discontinua (o de bachada)		Numeral 400.3.2.2
De mezcla continua	Tambor secador-mezclador	Numeral 400.3.2.3
	Mezclador de ejes paralelos	Numeral 400.3.2.4
	Mezclador de tambor	

400.3.2.1 Requisitos para todas las plantas

400.3.2.1.1 Automatización

La operación de la planta debe ser totalmente automática. Se debe disponer de un cuarto de control con condiciones de higiene y comodidad adecuadas para el personal de operación. Debe tener un tablero o una consola que reúna en un solo sitio toda la información sobre las temperaturas, tanto de los gases como de los diferentes insumos y materiales, sobre la operación de la planta y

sobre los indicadores de los parámetros de producción de la mezcla y de la dosificación, tanto de los agregados pétreos como del ligante asfáltico y del aditivo, si se requiere su uso. Allí mismo se deben encontrar los dispositivos para controlar el inicio y la terminación de las jornadas de producción de mezcla y de manejo de su dosificación. No se debe permitir la operación de la planta cuya dosificación se realice solo por la manipulación de dispositivos mecánicos.

400.3.2.1.2 Calibración

Todos los dispositivos de medida de la planta deben contar con un certificado de calibración vigente. Además de las calibraciones, debe existir registro de mantenimiento periódico. Las calibraciones no deben superar dos (2) años, y los mantenimientos periódicos no deben exceder de un (1) trimestre, excepto que las condiciones del fabricante establezcan valores diferentes.

400.3.2.1.3 Capacidad de producción

La capacidad mínima de producción de la planta debe estar señalada en el pliego de condiciones y ella depende de las características de la obra por ejecutar.

El constructor debe suministrar la certificación sobre la capacidad máxima de producción de la planta de asfalto dada por el fabricante. Si la planta ha sido reformada, se debe entregar la certificación de la planta reformada, expedida por un ingeniero con experiencia documentada en manejo de plantas de asfalto. La certificación debe indicar las condiciones bajo las cuales se alcanza dicha capacidad máxima.

También, debe suministrar una certificación sobre la capacidad del quemador del secador, proporcionada por su fabricante.

400.3.2.1.4 Combustibles y protección contra el fuego

Los combustibles usados en la operación de la planta deben cumplir las exigencias sobre combustibles sólidos o líquidos establecidas en la Resolución del Ministerio del Medio Ambiente número 898 de 1995, adicionada por la Resolución número 125 de 1996, modificada parcialmente por las Resoluciones números 623 de 1998, 0068 de 2001, 0447 de 2003, 1565 de 2004, 1289 de 2005, 2200 de 2005, 1180 de 2006, 180782 de 2007, 182087 de 2007, 1499 de 2011, 90963 de 2014, 40724 de 2016 y 40619 de 2017, y sobre combustibles gaseosos en la Resolución de la Superintendencia de Industria y Comercio número 14471 de 2002, con énfasis en las NTC 2505, NTC 3631, NTC 3833 y NTC 4282 y con supervisión de un organismo de inspección acreditado por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC) bajo la NTC-ISO-IEC 17020. Queda entendido que, si alguna disposición de las recientemente citadas es reemplazada en el futuro por la entidad nacional competente para ello, los requisitos por cumplir deben ser los de la disposición actualizada.

En la operación de las plantas asfálticas en caliente se pueden emplear también los combustibles gaseosos provenientes de la síntesis de biomasa y/o de combustibles sólidos, bajo la supervisión de un ingeniero con experiencia en la materia y debidamente matriculado, quien debe haber presentado previamente el proyecto y obtenido la aprobación expresa

de INVÍAS, y siempre y cuando el dispositivo usado y sus aditamentos no produzcan contaminaciones en las emisiones, que sobrepasen los límites establecidos en las normas y en la combustión y/o manipulación de los insumos utilizados y de los residuos, escorias o cenizas que aparezcan, de acuerdo con el decreto único 1076 de 2015 (o los que lo anulen, complementen, modifiquen y/o adicionen) y con la legislación complementaria sobre tratamiento de residuos sólidos y/o líquidos.

Los tanques de combustible y de asfalto deben estar dispuestos sobre diques que puedan contener, como mínimo, uno coma un (1,1) veces el volumen del tanque. Dichos diques deben contar con un pozo de achique que permita instalar un sistema de bombeo para recuperar el material derramado bien sea para su recuperación o para su disposición final. Así mismo, la planta debe contar con un sistema de extintores y medidas contra incendios acorde con los volúmenes de almacenamiento y tipo de combustibles. Todos los tanques deben contar con hojas de seguridad y rombos de identificación de riesgos según la norma NFPA 704. Los operadores de planta deben contar con las debidas medidas de protección para el riesgo laboral respectivo, acreditar cursos de prevención de incendio, manejo de extintores, manejo de sustancias químicas asociadas a su labor y manejo de emergencias en caso de incendio.

400.3.2.1.5 Dispositivos para toma de muestras

La planta que opere con combustibles sólidos o líquidos, debe contar con un dispositivo que permita muestrear los agregados del tambor secador antes de recibir el producto asfáltico, para verificar que estos no contengan salpicaduras ni contaminaciones por posibles fugas o combustión incompleta del quemador. La producción de la mezcla se debe detener si hay signos de avería en el sistema de combustión, si ocurre una combustión incompleta o si se observa contaminación en los agregados o en la mezcla, y solo se puede reiniciar cuando el problema quede satisfactoriamente resuelto.

400.3.2.1.6 Tolvas para agregados en frío

Las tolvas para agregados en frío deben tener paredes resistentes y estancas, con bocas de anchura suficiente para que su alimentación se efectúe correctamente y cuya separación sea efectiva para evitar que se mezclen los agregados de tolvas diferentes; el equipo de cargue debe tener acceso directo e independiente a cada una de las tolvas.

El número mínimo de tolvas es función del número de fracciones de agregado que exija la fórmula de trabajo adoptada, pero, en todo caso, no debe ser inferior a tres (3) para las plantas discontinuas y/o de mezcla por fuera del tambor secador y cuatro (4) para las de tambor secador-mezclador, dos (2) de las cuales se asignan al agregado fino.

Las tolvas deben estar provistas de dispositivos de dosificación a su salida, que puedan ser ajustados y mantenidos en cualquier posición.

Con el fin de evitar discontinuidad en el flujo de salida del agregado fino, debido a su humedad natural, se debe exigir el uso de vibración, o cualquier otro método que se demuestre útil para tal fin.

400.3.2.1.7 Tambor-secador

La planta debe estar dotada de un tambor secador, que permita el secado continuo y eficiente de los agregados y su calentamiento a la temperatura adecuada para la fabricación de la mezcla, según el ligante asfáltico utilizado, extrayendo de ellos una proporción de polvo mineral tal, que su dosificación se ajuste a lo establecido en la fórmula de trabajo.

El quemador del secador debe contar con una certificación del fabricante donde se indiquen, además de su capacidad, los parámetros de alimentación requeridos, tanto de aire como de combustible, ya sea este gaseoso, líquido o sólido, para que se cumplan las prestaciones informadas, incluyendo la limpieza de su combustión. La combustión, que debe ser completa, debe impedir la emisión de residuos que contaminen los agregados o la atmósfera.

400.3.2.1.8 Sistemas para el control de emisiones y la recuperación de finos

La planta debe tener, como mínimo, un sistema primario de recuperación de finos secos contenidos en los gases procedentes del secador.

La planta debe estar dotada también, como mínimo, de un sistema secundario de control de emisiones, seco o húmedo, instalado en serie y a continuación del sistema primario de recuperación de finos, que recoja lo que este ha permitido pasar y que sea lo suficientemente eficiente para impedir la emisión a la atmósfera de productos contaminantes y/o de partículas que sobrepasen los límites establecidos en la Resolución del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial número 909 de 2008 (modificada por las Resoluciones números 1309 de 2010, 1377 de 2015 y 2267 de 2018) y en los sitios y condiciones establecidas en las Resoluciones números 2153 de 2010 y 2154 de 2010 del mismo Ministerio (modificada por la Resolución número 2254 de 2017) y/o en las disposiciones legales que anulen, complementen, modifiquen y/o adicionen dichas resoluciones.

400.3.2.1.9 Depósitos de almacenamiento de cemento asfáltico

El almacenamiento que requiera el cemento asfáltico antes de su aplicación se debe realizar en tanques adecuados para tal fin, los cuales deben tener los aparatos de medida y seguridad necesarios para garantizar su correcto funcionamiento, situados en puntos de fácil acceso. Así mismo, se debe disponer de una válvula adecuada para la toma de muestras.

Cuando los tanques de almacenamiento no dispongan de medios de carga propios, los carrotanques empleados para el transporte del cemento asfáltico deben estar dotados de medios neumáticos o mecánicos apropiados para el trasvase rápido de su contenido a los tanques. Cuando se empleen bombas de trasvase, se deben preferir las de tipo rotativo a las centrífugas. El trasvase desde el carrotanque al tanque de almacenamiento se debe realizar siempre por tubería directa.

Todas las tuberías usadas para el trasvase del cemento asfáltico del carrotanque al tanque de almacenamiento y de este al equipo de empleo, deben estar dispuestas de manera que se puedan limpiar fácilmente después de cada aplicación y/o jornada de trabajo.

400.3.2.1.10 Manejo del cemento asfáltico

El sistema de almacenamiento, calefacción y alimentación del cemento asfáltico debe poder permitir su recirculación y su calentamiento a la temperatura de empleo, de forma que se garantice que no se producen sobrecalentamientos localizados y que no se sobrepasan las temperaturas máximas admisibles de dicho producto. Todas las tuberías, las bombas, los tanques, etc., deben estar provistos de calefactores o aislamientos. La descarga de retorno del ligante a los tanques de almacenamiento debe ser siempre sumergida. Se deben disponer de termómetros, especialmente en la boca de salida al mezclador y en la entrada del tanque de almacenamiento. El sistema de circulación debe estar provisto de dispositivos para tomar muestras y para comprobar la calibración del dosificador.

400.3.2.1.11 Manejo del llenante mineral

La planta debe disponer de sistemas independientes para el almacenamiento y para la dosificación del llenante mineral recuperado y de aporte, los cuales deben estar adecuadamente protegidos contra la humedad.

Así mismo, si se determina que el llenante recuperado por el sistema primario de recuperación sobrepasa el máximo especificado en el artículo correspondiente a la mezcla que se está fabricando, se debe disponer de un sistema que permita el retiro dosificado del sobrante, de manera que dicha operación, además de conseguir su objetivo, no afecte la limpieza de operación de la planta.

400.3.2.1.12 Manejo de aditivos

En caso de que se incorporen aditivos a la mezcla, la instalación debe poseer un sistema de dosificación de tales aditivos que tenga, como mínimo, la precisión del sistema de dosificación del ligante asfáltico.

400.3.2.1.13 Silo de almacenamiento

Si la planta posee un silo para el almacenamiento de la mezcla elaborada, su capacidad debe garantizar el flujo normal de los vehículos de transporte, así como que en las cuarenta y ocho horas (48 h) siguientes a la fabricación, la mezcla acopiada no haya perdido ninguna de sus características, en especial la homogeneidad del conjunto y las propiedades del ligante. El silo de almacenamiento debe contar con una tolva de compensación u otro elemento de descarga en su parte superior, cuya ubicación y funcionamiento sean correctos, de manera que eviten la segregación de la mezcla que se va a almacenar.

400.3.2.2 Requisitos específicos para las plantas de tipo discontinuo

400.3.2.2.1 Clasificación de agregados en caliente

Las plantas de tipo discontinuo, o plantas de bachada, deben estar dotadas de un sistema de clasificación de los agregados en caliente, de capacidad adecuada a la producción del mezclador, en un número de fracciones no inferior a tres (3) y de tolvas de almacenamiento de estas, cuyas paredes deben ser resistentes y de altura suficiente para evitar que se mezclen los agregados de diferentes tolvas. Las tolvas en caliente deben tener un rebosadero, para evitar que el exceso de contenido se vierta en las contiguas o afecte el funcionamiento del sistema de clasificación; deben tener, también, un dispositivo de alarma, claramente perceptible por el operador, que avise cuando el nivel de la tolva

sea inferior al que proporcione la cantidad calibrada, y un dispositivo para la toma de muestras de las fracciones almacenadas.

400.3.2.2.2 Indicadores de la temperatura de los agregados y del asfalto

La instalación debe estar provista de indicadores de la temperatura de los agregados secos, situados a la salida del secador o en el sitio en donde ellos se van a mezclar con el asfalto; también, debe tener indicadores de temperatura del ligante asfáltico en el sitio en donde este sale al mezclador.

400.3.2.2.3 Dispositivos de dosificación

La precisión de los dispositivos de dosificación por peso de los agregados en caliente debe ser tal, que no permitan una desviación superior a cero coma cinco por ciento (± 0,5 %). Los dispositivos de dosificación ponderal del llenante y del ligante deben tener una precisión tal que no permitan una desviación superior a cero coma tres por ciento (± 0,3 %).

400.3.2.2.4 Alimentación del ligante bituminoso

El ligante asfáltico se debe distribuir uniformemente en el mezclador, y las válvulas que controlan su entrada no deben permitir fugas ni goteos. El sistema dosificador del ligante debe disponer de dispositivos para su calibración a la temperatura y presión de trabajo.

400.3.2.3 Requisitos específicos para las plantas de tipo continuo con tambor secador-mezclador

400.3.2.3.1 Dosificación de agregados

El sistema de dosificación de los agregados debe ser ponderal y tener en cuenta su humedad, para corregir la dosificación en función de ella. La rata de alimentación debe ser monitorizada continuamente por la báscula de la banda transportadora u otro dispositivo sincronizado con el mecanismo de alimentación del asfalto.

400.3.2.3.2 Dosificación de asfalto

El dispositivo medidor del asfalto debe controlar adecuadamente la rata de ligante que se incorpora a la mezcla y responder instantáneamente a cualquier variación en la rata de alimentación de los agregados. La difusión del asfalto debe ser homogénea y de manera que no exista ningún riesgo de contacto con la llama, ni de someter al ligante a temperaturas inadecuadas.

400.3.2.3.3 Elaboración de la mezcla

El tambor debe calentar, cubrir y mezclar uniformemente los materiales, evitando su exposición directa a las llamas o cualquier otra fuente puntual de alta temperatura, y evitando cualquier sobrecalentamiento en los agregados, en el cemento asfáltico o en la mezcla, que pueda afectar adversamente las características y el comportamiento de la mezcla elaborada.

Se deben instalar pirómetros tanto a la salida del asfalto, para verificar su temperatura, como en el extremo de descarga del mezclador, para verificar la temperatura de la mezcla. La producción de la planta se debe limitar a la velocidad requerida para obtener una envuelta correcta de los agregados, cumpliendo con los requisitos de temperatura de agregados y del ligante según se haya determinado al establecer la fórmula de trabajo.

400.3.2.4 Requisitos específicos para las plantas de ejes paralelos o mezclador de tambor

Deben tener características geométricas y mecánicas tales que, en un solo proceso, proporcionen un flujo continuo y adecuado que permita una distribución uniforme del ligante asfáltico previamente dosificado. Deben disponer de elementos físico-mecánicos suficientes y adecuados para mezclar los agregados con el ligante bituminoso durante el tiempo y la temperatura adecuados, con el fin de obtener el recubrimiento total de los agregados, libres de cualquier contaminación que afecte su adherencia.

El sistema no debe permitir ninguna fuga furtiva o goteo, ya sea de partículas de agregados o de ligante.

400.3.3 Planta para la fabricación de mezclas asfálticas en frío

Para la fabricación de mezclas asfálticas en frío, se pueden usar plantas de los tipos y características indicados en la Tabla 400 — 3.

Tabla 400 — 3. Tipos de plantas para la fabricación de mezclas asfálticas en frío

Tipo de planta	Requisitos
Planta fija	Numeral 400.3.3.1
Planta móvil	Numeral 400.3.3.2

Las plantas para mezclas en frío, deben ser capaces de manejar simultáneamente el número de fracciones de agregados que exija la fórmula de trabajo adoptada.

Se permite el empleo de instalaciones de diferente concepción a las descritas en el presente numeral, siempre que cuenten con la aprobación del interventor y previos los ensayos que demuestren la calidad de la mezcla fabricada con ellas.

400.3.3.1 Planta fija

Si se utiliza una planta fija para la fabricación de una mezcla en frío, esta puede ser de tipo continuo o discontinuo y debe disponer del número necesario de tolvas, con sus dosificadores, que le permita manejar, simultáneamente, el número de fracciones de agregados disponibles para obtener la granulometría seleccionada para la elaboración de la mezcla.

Las tolvas para agregados deben tener paredes resistentes, con bocas de anchura suficiente para que la alimentación se pueda realizar correctamente. La separación entre ellas debe evitar que se mezclen los agregados de tolvas diferentes. Además, sus dispositivos de salida deben permitir ajustes exactos para mantenerlos en cualquier posición. El número mínimo de tolvas debe estar en función del número de fracciones de agregados por emplear.

Las instalaciones de tipo discontinuo deben estar provistas de dispositivos de dosificación por peso, cuya exactitud sea superior a cero coma cinco por ciento (0,5 %). Los dispositivos de dosificación de agua y ligante deben tener una exactitud, como mínimo, de cero coma tres por ciento (0,3 %). El ligante, que debe tener un sistema idóneo de almacenamiento y alimentación, debe ser distribuido uniformemente en el mezclador, y las válvulas que controlan su entrada no deben permitir fugas ni goteos.

Si se emplea una instalación de tipo continuo, un sistema de bandas transporta los agregados desde las tolvas hasta el mezclador, que debe ser del tipo de ejes gemelos, donde se incorpora el agua y el ligante bituminoso. Los dosificadores de agua y ligante deben estar sincronizados con los dosificadores de los agregados, de manera que se pueda reproducir la fórmula de trabajo. La planta debe disponer, además, de dispositivos para su calibración a la presión de trabajo, así como para la toma de muestras. En caso de que se incorporen aditivos a la mezcla, la instalación debe poseer un sistema de dosificación exacta de estos.

400.3.3.2 Planta móvil

Las plantas móviles o ambulantes deben estar montadas sobre bastidores autopropulsados. Estas plantas deben actuar al mismo tiempo como extendedoras. Deben constar de tolva de recepción de agregados ya mezclados y con la gradación adecuada, depósitos de agua y emulsión y eventuales aditivos, y dispositivos de alimentación de todos los materiales a la mezcladora. Deben disponer, además, de una extendedora que regule el espesor y proporcione el perfil transversal y un buen acabado superficial. Preferiblemente deben contar con sistemas sincronizadores o secuenciadores que garanticen las debidas dosificaciones de materiales.

400.3.4 Equipo para la transferencia de la mezcla (*Shuttle buggy*)

Este equipo, cuyo empleo es de carácter opcional, tiene por finalidad reducir la segregación y transferir la mezcla de las volquetas a la tolva de la máquina pavimentadora, sin que aquellas entren en contacto con esta, ni circulen sobre superficies con riegos de imprimación o liga.

400.3.5 Equipo para la extensión de la mezcla

La extensión de las mezclas asfálticas se debe hacer con una pavimentadora autopropulsada, adecuada para extender y terminar la mezcla con un mínimo de precompactación, de acuerdo con los anchos y los espesores especificados.

La capacidad de la tolva, así como la potencia de la máquina, deben ser adecuadas para el tipo de trabajo que deba desarrollar. La pavimentadora debe estar equipada con un vibrador y un distribuidor de tornillo sinfín, de tipo reversible, capacitado para colocar la mezcla uniformemente por delante de los enrasadores. Debe poseer un equipo de dirección adecuado y tener velocidades para retroceder y avanzar.

La pavimentadora debe tener dispositivos mecánicos compensadores para obtener una superficie pareja y formar los bordes de la capa sin uso de formaletas. Debe ser

ajustable para lograr la sección transversal especificada en los documentos del proyecto.

Si se determina que durante su operación el equipo deja huellas en la superficie de la capa, áreas defectuosas u otras irregularidades objetables que no sean fácilmente corregibles durante la construcción, el interventor debe exigir su inmediata reparación o cambio.

En el caso de mezclas asfálticas en caliente, la pavimentadora debe estar dotada de un elemento calefactor para la ejecución de la junta longitudinal.

400.3.6 Equipo de compactación

Se deben utilizar compactadores autopropulsados de rodillos metálicos, estáticos o vibratorios, neumáticos o mixtos. El equipo de compactación por emplear en cada caso debe depender del tipo de capa asfáltica y su espesor, y debe contar con la aprobación del interventor, con base en los resultados obtenidos en la fase de experimentación.

Todos los compactadores deben ser autopropulsados y estar dotados de inversores de marcha suaves; además, deben contar con dispositivos para la limpieza de los rodillos o neumáticos durante la compactación y para mantenerlos húmedos en caso necesario.

Los compactadores de rodillos metálicos no deben presentar surcos ni irregularidades. Los compactadores vibratorios deben disponer de dispositivos para eliminar la vibración al invertir la marcha, siendo aconsejable que el dispositivo sea automático.

Los compactadores de neumáticos deben tener ruedas lisas, en número, tamaño y disposición tales, que permitan el traslapo de las huellas delanteras y traseras y, en caso necesario, faldones de lona protectora contra el enfriamiento de los neumáticos.

Las presiones lineales estáticas o dinámicas, y las presiones de contacto de los diversos compactadores, deben ser las necesarias para conseguir la compacidad adecuada y homogénea de la mezcla en todo su espesor, pero sin producir roturas del agregado ni arrollamiento de la mezcla a las temperaturas de compactación.

En lugares inaccesibles a los equipos normales de compactación, se permite el uso de otros equipos de tamaño y diseño adecuados para la labor por realizar.

400.3.7 Equipos de transporte

Todos los vehículos de transporte deben cumplir todas las disposiciones legales referentes a las dimensiones y pesos de los vehículos de transporte, a las condiciones técnico-mecánicas, a las de control de emisiones contaminantes de los mismos y a las de señalización luminosa y cintas retrorreflectivas; deben tener al día los certificados de revisión técnico-mecánica y de emisiones contaminantes.

400.3.7.1 Carrotanque para transporte de cemento asfáltico

El transporte del cemento asfáltico desde la planta de producción a la planta mezcladora, se debe efectuar en caliente y a granel, en carrotanques con adecuados sistemas de calefacción y termómetros ubicados en sitios visibles. Deben estar dotados, además, de

los medios mecánicos que permitan el rápido trasvase de su contenido a los depósitos de almacenamiento. Así mismo, deben disponer de un elemento adecuado para la toma de muestras.

400.3.7.2 Carrotanque para transporte de emulsión asfáltica

El transporte de la emulsión asfáltica desde la planta de fabricación hasta el sitio de colocación se debe realizar a granel, en carrotanques que no requieren aislamientos térmicos ni calefacción. Deben estar dotados de los medios mecánicos que permitan el rápido traslado de su contenido a los depósitos de almacenamiento. Así mismo, debe disponer de un elemento adecuado para la toma de muestras.

400.3.7.3 Equipo para el transporte de agregados y mezclas asfálticas

Tanto los agregados como las mezclas asfálticas se deben transportar en volquetas de platón liso y estanco, debidamente acondicionadas para tal fin. En el caso de transporte de mezclas asfálticas, la superficie interna del platón debe ser tratada con un producto cuya composición y cantidad deben ser aprobadas por el interventor, con el fin de evitar la adherencia de la mezcla a esta. La forma y la altura del platón deben ser tales que, durante el vertido en la pavimentadora, la volqueta solo toque a esta a través de los rodillos previstos para ello, en los casos en los que no se emplee el equipo para la transferencia de la mezcla mencionado en el numeral 400.3.4.

400.3.8 Equipos para la extensión de riegos

400.3.8.1 Carrotanque irrigador

Toda aplicación de productos asfálticos en forma de riego se debe realizar por medio de un carrotanque irrigador. Se prohíbe la aplicación de riegos con escoba o empleando recipientes que apliquen el producto por gravedad. Esto es aplicable para la ejecución de riegos de imprimación, liga y curado, sellos de arena-asfalto y tratamientos superficiales cubiertos por las presentes especificaciones generales.

El carrotanque irrigador debe cumplir exigencias mínimas que garanticen la aplicación uniforme y constante del producto asfáltico para imprimación, a la temperatura apropiada, sin que lo afecten la carga, la pendiente de la vía o la dirección del vehículo. Sus dispositivos de irrigación deben proporcionar una distribución transversal adecuada del ligante. El vehículo debe estar provisto de un velocímetro calibrado en metros por segundo (m/s), o pies por segundo (pie/s), visible al conductor, para mantener la velocidad constante y necesaria que permita la aplicación uniforme del asfalto en sentido longitudinal.

El carrotanque debe aplicar el producto asfáltico a presión y para ello debe disponer de una bomba de impulsión, accionada por motor y provista de un indicador de presión. También, debe estar provisto de un termómetro para el ligante, cuyo elemento sensible no se puede encontrar cerca de un elemento calentador.

Para áreas inaccesibles al carrotanque y para retoques y aplicaciones mínimas, se debe usar una caldera regadora portátil, con

sus elementos de irrigación a presión, o una extensión del carrotanque con boquilla de expansión que permita un riego uniforme.

400.3.8.2 Equipo para la extensión del agregado pétreo

Se pueden emplear esparcidoras autopropulsadas o extendedoras mecánicas acopladas a volquetas, que garanticen una adecuada y homogénea distribución del agregado pétreo sobre la superficie.

400.3.8.3 Equipo multidistribuidor de asfalto y agregado

En lugar del carrotanque irrigador y del equipo de extensión del agregado pétreo, descritos en los numerales 400.3.8.1 y 400.3.8.2, se puede emplear un equipo multidistribuidor que permita la aplicación conjugada del ligante asfáltico y el agregado en una sola operación.

400.3.9 Equipo accesorio

Debe estar constituido por elementos para limpieza, preferiblemente barredora o sopladora mecánica, siempre que su uso esté autorizado por las autoridades ambientales. Así mismo, se requieren herramientas menores para efectuar correcciones localizadas durante la extensión de la mezcla, termómetros y cámara termográfica para controlar temperaturas, etc.

400.4 Ejecución de los trabajos

400.4.1 Explotación de materiales y elaboración de agregados

Rige lo establecido en el numeral 105.13.3 del artículo 105, Desarrollo de los trabajos.

400.4.2 Fórmulas de trabajo para mezclas asfálticas, tratamientos superficiales y lechadas asfálticas

Antes de iniciar el acopio de los agregados, el constructor debe suministrar, para verificación del interventor, muestras de estos, del producto bituminoso por emplear y de los eventuales aditivos, avaladas por los resultados de los ensayos de laboratorio que garanticen la conveniencia de emplearlos en el tratamiento o mezcla. Una vez el interventor efectúe las comprobaciones que considere convenientes y dé su aprobación a los componentes, el constructor debe definir una fórmula de trabajo que obligatoriamente debe cumplir las exigencias establecidas en la especificación correspondiente. En dicha fórmula se deben consignar el tipo y las características del ligante asfáltico; la granulometría de cada uno de los agregados pétreos y las proporciones en que ellos deben ser mezclados, junto con el llenante mineral, para obtener la gradación aprobada, así como la granulometría de los agregados combinados.

En el caso de mezclas y lechadas asfálticas se deben indicar, además, el porcentaje de ligante bituminoso en relación con la masa de la mezcla o de los agregados secos, y los porcentajes de aditivos, respecto de la masa del ligante asfáltico, cuando su incorporación resulte necesaria. Si la mezcla es en frío y requiere la incorporación de agua, se debe indicar la proporción de esta.

En el caso de mezclas en caliente, también se deben señalar:

- Los tiempos requeridos para la mezcla de agregados en seco y para la mezcla de los agregados con el ligante bituminoso.

- Las temperaturas máxima y mínima de calentamiento previo de los agregados y del ligante. En ningún caso, se deben introducir en el mezclador agregados pétreos a una temperatura que sea superior a la del ligante en más de quince grados Celsius (15 °C).
- Las temperaturas de mezcla con cemento asfáltico (máximas y mínimas), las cuales se deben determinar de acuerdo con la curva reológica (viscosidad vs. temperatura) del asfalto.

Cuando se trate del diseño de una mezcla reciclada en caliente, la fórmula debe señalar también:

- Proporciones en que se deben mezclar los agregados pétreos de reciclaje y los agregados pétreos de adición, así como la granulometría resultante de su mezcla, determinada por los tamices correspondientes a la franja granulométrica aprobada.
- Tipo y porcentaje de material bituminoso de adición, en relación con la masa de la mezcla.
- Porcentaje de agente rejuvenecedor, en relación con la masa del material bituminoso de reciclaje, si se requiere.
- Porcentaje de aditivo mejorador de adherencia, en relación con la masa del material bituminoso de adición.
- Las temperaturas máximas y mínimas de calentamiento previo de los agregados pétreos de adición, los agregados pétreos de reciclaje, del material bituminoso de adición y del agente rejuvenecedor. En ningún caso se pueden calentar los agregados pétreos de reciclaje a una temperatura superior a la del material bituminoso de adición.

La mezcla diseñada con la fórmula de trabajo debe ser verificada respecto de su sensibilidad ante la acción del agua.

Para algunas mezclas destinadas a capa de rodadura e intermedias se debe verificar, también, su resistencia al ahuellamiento, con los ensayos y los valores límite indicados en los artículos correspondientes del capítulo 4 de estas especificaciones. Esta verificación también se debe realizar a las mezclas de alto módulo.

Cuando se trate de tratamientos superficiales, el constructor debe informar al interventor las dosificaciones de ligante asfáltico y de agregados pétreos para los distintos riegos, incluyendo la posible incorporación de aditivos.

Si se trata de lechadas asfálticas, tratamientos superficiales y mezclas en frío y en caliente destinadas a capa de rodadura, la respectiva fórmula de trabajo debe asegurar el cumplimiento de las características de macrotextura superficial y resistencia al deslizamiento de la obra terminada, según lo establecido en cada uno de los artículos correspondientes a dichas partidas de trabajo.

La fabricación de las mezclas asfálticas y la puesta en obra de estas, y de los tratamientos superficiales y lechadas asfálticas, no se puede iniciar hasta contar con la aprobación de la correspondiente fórmula de trabajo por parte del interventor. La aprobación definitiva de la fórmula de trabajo por parte del interventor no exime al constructor de su plena responsabilidad de alcanzar, con base en ella, la calidad exigida por la respectiva especificación. La fórmula aprobada solo se puede

modificar durante la ejecución de los trabajos, si las circunstancias lo aconsejan y previa aprobación del interventor.

400.4.3 Fase de experimentación en mezclas nuevas o recicladas, tratamientos y lechadas asfálticas

Antes de iniciar los trabajos, el constructor debe emprender una fase de experimentación para verificar el estado de los equipos y determinar, en secciones de ensayo de ancho y longitud definidas en acuerdo con el interventor, los métodos definitivos de preparación, transporte, colocación, compactación y eventual curado de la mezcla, lechada o tratamiento, así como las tasas de aplicación en obra, de manera que se cumplan los requisitos de la respectiva especificación. En el caso de la construcción de lechadas asfálticas, el proceso no debe incluir la etapa de compactación.

El interventor debe tomar muestras del tratamiento, lechada o mezcla, para determinar su conformidad con las condiciones especificadas que correspondan en cuanto a granulometría, dosificación, densidad y demás requisitos.

En caso de que el trabajo elaborado no se ajuste a dichas condiciones, el constructor debe efectuar inmediatamente las correcciones requeridas en los equipos y sistemas o, si llega a ser necesario, en la fórmula de trabajo, repitiendo las secciones de ensayo una vez efectuadas las correcciones.

El interventor debe determinar si es aceptable la ejecución de los tramos de prueba como parte integrante de la obra en construcción.

En el caso de mezclas nuevas o recicladas, se debe establecer, durante la fase de experimentación, correlaciones entre los métodos corrientes de control de la dosificación del ligante y de la densidad en el terreno y otros métodos rápidos de control.

En el caso de tratamientos superficiales, lechadas asfálticas y mezclas en frío, se debe definir en esta fase sus tiempos de rotura y curado, con el fin de que se puedan tomar las previsiones necesarias en el control del tránsito público.

400.4.4 Muestreo y ensayos

El constructor debe tomar todas las muestras que exigen estas especificaciones, para verificar su conformidad con los requisitos impuestos en ellas; así mismo, debe permitir al interventor la toma de todas las muestras que le corresponda.

Siempre que los ensayos den resultados no satisfactorios, el constructor debe ser el responsable de las consecuencias que se deriven de ello, y todas las correcciones o reparaciones a que haya lugar corren a su exclusivo costo.

400.4.5 Transporte de materiales

En aquellos casos en que el transporte de materiales pueda perjudicar la obra en ejecución, el interventor debe ordenar la construcción de los desvíos necesarios. La construcción de estos desvíos no debe tener pago por separado y su costo debe estar incluido como parte del suministro de materiales en los precios unitarios de los ítems correspondientes.

400.4.6 Desvíos

Los desvíos que sea necesario construir durante la ejecución de las obras deben permitir la circulación de los equipos al servicio de la obra y el tránsito público en forma segura y sin inconvenientes. Si la construcción de desvíos no resulta práctica, el interventor puede autorizar las operaciones constructivas por medias calzadas.

En todos los casos, el constructor está obligado a colocar y mantener el personal y las señales necesarias para guiar el tránsito, de conformidad con lo que establece el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte. En caso de que no se cumplan estas condiciones, el interventor debe prohibir la ejecución de trabajos en las zonas afectadas.

400.4.7 Manejo ambiental

Todas las labores referentes a las actividades que son objeto de los artículos del capítulo 4 de estas Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en los estudios o evaluaciones ambientales del proyecto y las disposiciones vigentes sobre la conservación del ambiente y de los recursos naturales. Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento de la especificación señalada deben acatar lo establecido en las normas ambientales. De esta manera, las actividades que se ejecuten en cumplimiento de la normativa ambiental deben estar incluidas en los costos del proyecto, por tanto, no deben ser objeto de reconocimiento directo en el contrato.

Estas actividades implican el manejo de ligantes asfálticos, agregados pétreos y los tratamientos o mezclas elaboradas con ellos. En adición a los aspectos generales mencionados en el artículo 106, Aspectos Ambientales, se describen a continuación algunos de los cuidados relevantes en relación con la protección ambiental, sin perjuicio de los que exijan los documentos de cada proyecto particular o la legislación ambiental vigente.

En caso de contradicciones con lo indicado en el presente numeral deben prevalecer, en su orden, la legislación ambiental y lo indicado en los documentos del proyecto.

400.4.7.1 Ligante

- Sus depósitos se deben localizar en lugares apartados de cursos o láminas de agua.
- Alrededor de los depósitos se deben construir diques de contención para evitar la propagación de derrames accidentales.
- Los residuos de los carrotanques no pueden ser vertidos en la zona de derecho de vía, en estructuras de drenaje o en cauces o láminas de agua.
- En caso de vertimiento accidental del asfalto empleado en la ejecución de algún riego, dicho material debe ser recogido, incluyendo el suelo contaminado, y dispuestos en sitios de vertimiento construidos para tal fin y aprobados ambientalmente.
- Se debe evitar el sobrecalentamiento del producto en las plantas de mezcla en caliente.
- Los obreros que laboren en el transporte y disposición del asfalto deben ser dotados de los equipos apropiados de seguridad industrial.

400.4.7.2 Explotación y procesamiento de agregados pétreos

- No se debe permitir la explotación de fuentes de materiales en áreas de preservación ambiental.
- Se debe preferir la extracción de fuentes explotadas para el abastecimiento de obras anteriores, siempre que la calidad de sus materiales sea adecuada.
- Se debe planear adecuadamente la explotación de la fuente, de manera de minimizar los impactos resultantes del proceso y facilitar la recuperación ambiental al término de la explotación.
- Si los agregados se obtienen de fuentes comerciales, el interventor solo debe aceptar su uso después de que el constructor le haga entrega de una copia auténtica de la respectiva licencia ambiental de operación.
- Antes de iniciar la explotación de las fuentes, el constructor debe presentar al interventor, para su evaluación y eventual aprobación, un plan de explotación.
- No está permitida la quema como forma de desmonte del área por explotar.
- Se debe retirar cuidadosamente la capa vegetal de las zonas de explotación y mantenerla en buenas condiciones, para recuperarlas al término de la explotación.
- Se deben limitar al mínimo el desmonte, la limpieza y el descapote durante la construcción de las instalaciones de trituración y clasificación y la planta asfáltica.
- Si se deben interceptar drenajes naturales, ellos deben ser adecuadamente canalizados.
- La planta de trituración debe estar provista de los filtros necesarios para prevenir la contaminación ambiental, de acuerdo con la reglamentación vigente.
- Siempre que se requiera lavado durante el proceso de producción de agregados, los residuos que genera esta operación deben ser conducidos a piscinas de sedimentación.
- Tanto en las plantas de trituración como en las asfálticas, se debe realizar un seguimiento permanente al componente atmosférico durante su operación.
- El manejo de explosivos debe ser realizado por un experto.
- Los niveles de ruido y polvo causados por los procesos de explotación y procesamiento de los agregados deben ser mantenidos dentro de los límites admitidos por las disposiciones oficiales vigentes.
- Se debe procurar que las instalaciones de trituración y la planta asfáltica queden ubicadas en el mismo lote. Dichas instalaciones no se pueden situar en sitios ecológicamente sensibles, áreas con presencia de especies bióticas protegidas o en peligro de extinción, lugares con nivel freático cercano a la superficie o zonas con riesgo alto de inestabilidad geotécnica. El área debe ser aislada con malla o lonas para reducir la dispersión de materiales.
- El vertimiento de cualquier desperdicio sólido a cauces o láminas de agua es prohibido.
- El horario nocturno de trabajo debe ser limitado para no alterar la tranquilidad de la zona, en particular si las instalaciones están ubicadas cerca de zonas habitadas. Esta exigencia es también válida para la planta asfáltica y los trabajos mismos de construcción en la vía.
- Junto a las instalaciones de trituración se deben construir piscinas de sedimentación para la retención del polvo mineral que se pueda producir en exceso.
- Al concluir la fase de explotación de las fuentes, el constructor debe readecuar los

relieves del área, dejando los taludes con inclinaciones similares a las del entorno y con sus bordes superiores redondeados y realizar la recuperación del sistema de drenaje del lugar.
- Al desocupar las áreas de explotación y procesamiento, el constructor debe retirar todos los vestigios de ocupación del lugar, tales como estructuras, pisos, caminos internos, estacionamientos, escombros, etc. Así mismo, deben descompactar los suelos y restaurar la vegetación y el paisaje.

400.4.7.3 Plantas de mezcla en general

- Ninguna planta de mezcla se puede instalar a menos de doscientos metros (200 m), medidos desde el mezclador, de residencias, clínicas, colegios, y otras construcciones comunitarias.
- Las plantas productoras de mezcla asfáltica deben cumplir con lo establecido en la reglamentación vigente sobre protección y control de calidad del aire, y para su funcionamiento en la obra se debe presentar a INVÍAS la correspondiente autorización, expedida por la entidad nacional o regional encargada de otorgar tales permisos.
- Las plantas no se pueden operar sin las licencias requeridas y, durante el desarrollo de los trabajos, se deben mantener en condiciones de operación dentro de lo prescrito en dichas licencias y en estas especificaciones.
- La planta debe contar con un sistema apropiado de control de polución de aire, conforme con los patrones establecidos en la legislación vigente.
- Los sitios de acopio de los agregados fríos deben disponer de cobertura y de protecciones laterales para evitar la generación de emisiones fugitivas durante las operaciones de carga y descarga.
- La banda transportadora de los agregados fríos debe ser protegida contra la acción del viento.
- Se deben implementar procedimientos que permitan que la alimentación al mezclador (mezclas en frío) o al secador (mezclas en caliente) se realice sin emisiones visibles a la atmósfera.
- Se deben mantener limpias las vías internas de acceso a la planta.
- Se deben mantener en buenas condiciones todos los equipos de proceso y de control.
- Las instalaciones deben contar con una señalización adecuada para el tránsito que circule dentro de ellas.

400.4.7.4 Plantas de mezcla en caliente

- Se deben operar con un combustible ambientalmente autorizado.
- Se debe mantener la presión negativa en el tambor secador cuando la planta esté en operación, para evitar emisiones de partículas a la entrada y a la salida de esta.
- En las plantas discontinuas, se debe dotar al sistema de clasificación en caliente y al mezclador, de sistemas de escape hacia los dispositivos de control de polución de aire, para evitar la emisión de vapores y partículas a la atmósfera.
- Los silos de almacenamiento del llenante mineral deben disponer de un sistema propio de filtración en seco.
- Se deben adoptar procedimientos operacionales que eviten la emisión de partículas provenientes de los sistemas de limpieza de los filtros de mangas y de reciclado del polvo mineral.

400.4.7.5 Transporte de agregados y mezclas

- El constructor debe tener en cuenta y cumplir todas las disposiciones sobre tránsito automotor y conservación del ambiente, emanadas por las autoridades competentes, en especial el Ministerio de Transporte y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Cuando viajen cargados, los vehículos deben tener un cobertor adecuado, debidamente asegurado, que impida el vertido de la carga sobre las vías por las que circulan.
- Antes de entrar a vías pavimentadas, se deben limpiar cuidadosamente las llantas de los vehículos. Los materiales resultantes de dicha limpieza no pueden ser arrojados a la zona de derecho de vía, ni a cursos de agua, ni a estructuras de drenaje superficial.

400.4.7.6 Transporte de materiales contaminantes o peligrosos

- Los materiales tales como combustibles, lubricantes, explosivos, asfaltos, aguas servidas no tratadas, desechos y basuras se deben transportar y almacenar adoptando las medidas necesarias para evitar derrames, pérdidas o daños por lluvias, hurtos o incendios.
- El constructor debe tener en cuenta y cumplir todas las disposiciones sobre tránsito automotor y conservación del ambiente, emanadas por las autoridades competentes, en especial el Ministerio de Transporte y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

400.4.7.7 Ejecución de riegos

- Se debe vigilar la viscosidad del ligante, para impedir que el riego fluya hacia las cunetas y zonas ajenas a la superficie por tratar.
- Los tratamientos superficiales terminados deben ser barridos adecuadamente para eliminar partículas sueltas, las cuales pueden ser proyectadas peligrosamente por las llantas hacia otros vehículos o hacia las zonas aledañas a la vía.
- Tanto cuando se construyan riegos como capas de mezcla, las operaciones de limpieza inherentes a cada actividad solo se pueden efectuar con escobas o sopladores mecánicos, cuando ello esté permitido por la autoridad ambiental competente.

400.4.7.8 Extensión y compactación de mezclas

- Se deben implementar medidas de seguridad industrial para proteger al personal durante las operaciones de extensión y compactación de mezclas en caliente.
- Se debe implementar un plan de control y manejo del tránsito, si las operaciones se desarrollan con la vía abierta al tránsito público.
- No se permite la disposición de residuos en las zonas aledañas a la superficie pavimentada.

400.4.7.9 Fresado de pavimentos asfálticos

- Se debe implementar un plan para el control y ordenamiento del tránsito automotor durante el desarrollo de los trabajos.

- La superficie fresada debe ser cubierta a la mayor brevedad, para corregir el impacto por generación de ruido.
- Los materiales fresados deben ser transportados hasta vertederos que tengan debida licencia para su funcionamiento, donde deben ser depositados atendiendo las indicaciones de los documentos del proyecto, y las instrucciones del interventor.
- Las operaciones de fresado, cargue y barrido deben contar con un manejo paliativo del polvo para minimizar la presencia de material particulado que cause molestias a las personas y bienes vecinos a la vía. Dicho manejo debe contar, como mínimo, con nebulización de agua y cobertura mediante carpas o plásticos para aquellos puntos donde se adelanten las operaciones de corte, se genere polución en las bandas transportadoras, en los puntos de descarga o en las zonas de barrido.

400.4.7.10 Reciclado de pavimentos asfálticos

- Se debe implementar un plan de control y manejo del tránsito automotor durante el desarrollo de los trabajos de reciclado en el lugar.
- Los materiales que resulten descartados del proceso deben ser conducidos a vertederos apropiados.
- Si en el proceso de reciclado en el lugar se incorporan estabilizantes en polvo, se deben tomar medidas para evitar las molestias que pueda causar su dispersión por la acción del viento.
- Para los reciclados en planta en caliente resultan aplicables los cuidados indicados en el numeral 400.4.7.4.

400.4.7.11 Manejo de desechos

El constructor debe indicar en su oferta el procedimiento completo que desea implementar para eliminar el desperdicio de su sitio. En este documento debe aparecer la lista completa de todos los residuos relacionados con sus sitios y con su clasificación. El constructor debe especificar los canales de eliminación.

Por último, el constructor se debe comprometer a proporcionar, dentro de un período de quince días (15 d) a partir del final de la recolección, un reporte de seguimiento de residuos, desde la recolección hasta el tratamiento final para cada tipo de desecho.

Los gastos correspondientes se incluyen en el conjunto de precios unitarios de la oferta. Además, el constructor debe tomar todas las disposiciones de acuerdo con las reglamentaciones vigentes con respecto al manejo de materiales peligrosos.

400.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

400.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y el funcionamiento de todo el equipo.
- Comprobar que los materiales por utilizar cumplan todos los requisitos de calidad correspondientes a la partida de trabajo respectiva.
- Verificar el acatamiento de todas las medidas requeridas sobre seguridad y conservación del ambiente.

- Supervisar la correcta aplicación del método aceptado como resultado de la fase de experimentación, en cuanto a la elaboración y manejo de los agregados, así como la manufactura, transporte, colocación y compactación de los tratamientos y mezclas asfálticas.
- Ejecutar ensayos de control de mezcla, de densidad de las probetas y de las mezclas de referencia, de densidad de la mezcla asfáltica compactada *in situ*, de extracción de asfalto y granulometría; así como controlar las temperaturas de mezclado, descarga, extendido y compactación de las mezclas (los requisitos de temperatura son aplicables solo a las mezclas elaboradas en caliente).
- Efectuar ensayos de control de mezcla, tasa de aplicación, extracción de asfalto y granulometría en lechadas asfálticas.
- Ejecutar ensayos para verificar las dosificaciones de agregados y ligante en tratamientos superficiales, así como la granulometría de aquellos.
- Efectuar ensayos para verificar las dosificaciones del ligante en riegos de liga y curado e imprimaciones.
- Vigilar la regularidad en la producción de los agregados y de las mezclas o lechadas asfálticas, durante el período de ejecución de las obras.
- Efectuar pruebas para verificar la eficiencia de los productos mejoradores de adherencia, siempre que ellos se incorporen.
- Realizar las medidas necesarias para determinar espesores, levantar perfiles, medir la textura superficial y la resistencia al deslizamiento y comprobar la uniformidad de la superficie, siempre que ello corresponda.

El interventor debe evaluar las fórmulas de trabajo presentadas por el constructor y las debe aprobar cuando corresponda.

La toma de muestras para la ejecución de los diferentes ensayos de control se debe adelantar de acuerdo con las siguientes normas de ensayo, INV E-201 para agregados pétreos y llenantes minerales, INV E-701 para materiales bituminosos e INV E-731 para mezclas asfálticas.

El constructor debe rellenar con mezcla asfáltica, de la misma calidad de la extraída, y sin costo adicional para INVÍAS, todos los orificios realizados con el fin de medir densidades en el terreno y debe compactar el material de manera que su densidad cumpla con los requisitos indicados en la respectiva especificación.

También debe cubrir, sin costo para INVÍAS, las áreas en las que el interventor efectúe verificaciones de la dosificación de riegos de imprimación, liga y curado, tratamientos superficiales y lechadas asfálticas.

400.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

Tanto las condiciones específicas de recibo como las tolerancias para las obras ejecutadas se indican en los artículos correspondientes a las respectivas partidas de trabajo. Todos los ensayos y mediciones requeridos para el recibo de los trabajos especificados deben estar a cargo del interventor (opción 1 del numeral 107.2.2 del artículo 107, Control y aceptación de los trabajos), salvo que el pliego de condiciones del contrato establezca otra cosa (opciones 2 o 3 del citado numeral).

Para los fines de determinar la conformidad con estas especificaciones, un valor calculado u observado se debe redondear a la unidad más cercana en el último dígito de la derecha usado para expresar el límite de la especificación, de acuerdo con el método del redondeo de la norma INV E-823.

Aquellas áreas donde los defectos de calidad y las irregularidades excedan las tolerancias deben ser corregidas por el constructor, de acuerdo con las instrucciones del interventor hasta su respectiva aprobación, sin costo adicional para INVÍAS.

400.6 Medida

400.6.1 Ejecución de riegos de imprimación y liga, tratamientos superficiales, sellos de arena-asfalto y lechadas asfálticas

La unidad de medida debe ser el metro cuadrado (m^2), aproximado al entero, de todo trabajo ejecutado, aprobado por el interventor, de acuerdo con lo exigido por la especificación respectiva. El área se debe determinar multiplicando la longitud real, medida a lo largo del eje del trabajo, por el ancho especificado en los documentos del proyecto. No se debe medir ningún área por fuera de tales límites.

El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

No debe haber lugar a medida, para efecto de pago separado, del riego de curado que se aplique sobre una capa tratada con un conglomerante hidráulico, con el fin de brindar impermeabilidad a toda su superficie.

400.6.2 Ejecución de mezclas en frío y en caliente y reciclado de pavimentos

La unidad de medida debe ser el metro cúbico (m^3), aproximado a la décima (0,1), de mezcla elaborada, suministrada y compactada en obra, aprobada por el interventor, de acuerdo con lo exigido en la especificación respectiva.

El volumen se debe determinar multiplicando la longitud real, medida a lo largo del eje del trabajo, por el ancho y espesor especificados en los documentos del proyecto. No se debe medir ningún volumen por fuera de tales límites.

El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

400.6.3 Ejecución de bacheos con mezcla asfáltica

La unidad de medida debe ser el metro cúbico (m^3), aproximado a la décima (0,1), de bacheo con mezcla asfáltica ejecutado, aprobado por el interventor, de acuerdo con lo exigido en la especificación respectiva.

El volumen se debe determinar multiplicando la superficie en donde el interventor haya autorizado el trabajo, por el espesor compacto promedio en que se haya colocado la mezcla, de acuerdo con la especificación respectiva. No se debe medir ningún volumen por fuera de tales límites.

El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

400.7 Forma de pago

400.7.1 Aspectos generales

Los siguientes aspectos generales aplican para todos los ítems de pago correspondientes a los diferentes artículos del capítulo 4 y, por tanto, forman parte conjunta con los numerales 400.7.2, 400.7.3 y 400.7.4, el que corresponda en cada caso particular.

En los casos en que el trabajo incluya el empleo de agregados pétreos vírgenes, el precio unitario debe cubrir todos los costos de su adquisición, obtención de todos los permisos y derechos de explotación o alquiler de fuentes de materiales y canteras; la obtención de licencias ambientales, las instalaciones provisionales, los costos de arreglo o construcción de las vías de acceso a las fuentes y canteras; la preparación de las zonas por explotar, así como todos los costos relacionados con la explotación, selección, trituración, eventual lavado, suministro de los materiales pétreos y llenante mineral, desperdicios, cargues, transportes, descargues, clasificación, colocación, mezcla, extensión y compactación de los materiales utilizados, en los casos en que ello corresponda.

También, debe incluir los costos de adecuación paisajística de las fuentes para recuperar las características hidrológicas superficiales al terminar su explotación y demás requisitos establecidos en el artículo 106 y en la normativa ambiental vigente; así como los costos de la definición de la fórmula de trabajo cuando se requiera; los de la fase de experimentación; los costos de los desvíos que fuese necesario construir con motivo de la ejecución de las obras; la señalización preventiva de la vía y el ordenamiento y manejo de todo tipo de tránsito durante la ejecución de los trabajos y el período posterior en que se deba impedir o controlar, de acuerdo con las instrucciones del interventor.

En relación con los explosivos, el constructor debe considerar dentro del respectivo precio unitario todos los costos que implican su adquisición, transporte, escolta, almacenamiento, vigilancia, manejo y control hasta el sitio e instante de utilización.

Los agregados pétreos de reciclaje que se vayan a reutilizar *in situ* o en caliente que provengan del fresado o de la recuperación de capas de pavimentos de carreteras a cargo de INVÍAS, son de propiedad de este y, por tanto, su suministro para la elaboración de mezclas recicladas no debe ser objeto de pago alguno al constructor.

En todos los casos, el precio unitario debe incluir el barrido y soplado de la superficie existente; la preparación de la superficie existente se considera incluida en el ítem referente a la ejecución de la capa a la cual corresponde dicha superficie y, por tanto, no debe haber lugar a pago separado por este concepto, a no ser que dicho ítem no haga parte del mismo contrato, caso en el cual el constructor debe considerar el costo de la preparación de la superficie existente dentro del ítem objeto del pago.

400.7.2 Ejecución de riegos de imprimación y liga, tratamientos superficiales, sellos de arena-asfalto y lechadas asfálticas

El pago se debe hacer al respectivo precio unitario del contrato, por metro cuadrado (m^2), para toda obra ejecutada de acuerdo con la

respectiva especificación y aprobada por el interventor.

En el caso de riegos de liga que se deban colocar sobre una capa cubierta por un riego de curado, el precio unitario del riego de liga debe incluir el costo de todas las operaciones necesarias para la eliminación del riego de curado.

En todos los casos, el precio unitario debe incluir el suministro en el sitio, almacenamiento, desperdicios y aplicación de los materiales bituminosos, modificadores, agua y aditivos mejoradores de adherencia y de control de rotura que se requieran; la protección de todos los elementos aledaños a la zona de los trabajos y que sean susceptibles de ser manchados por los riegos de asfalto, así como toda labor, mano de obra, equipo o material necesarios para la correcta ejecución de los trabajos especificados.

En el caso de las lechadas asfálticas, el precio unitario debe incluir la elaboración de la mezcla en el equipo de fabricación y extensión.

El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

Se exceptúa el costo de suministro, almacenamiento, desperdicios y aplicación de materiales bituminosos en las paredes de la excavación y la superficie sobre la que se ha de colocar mezcla asfáltica en operaciones de bacheo, el cual se debe incluir dentro del precio unitario de dicha mezcla.

400.7.3 Ejecución de mezclas en frío y en caliente y bacheos con mezcla asfáltica

El pago se debe hacer al respectivo precio unitario del contrato, por metro cúbico (m^3), para toda obra ejecutada de acuerdo con la respectiva especificación y aprobada por el interventor.

El precio unitario debe incluir todos los costos de la elaboración, colocación, nivelación y compactación de las mezclas elaboradas.

En el caso de mezclas en frío, el precio unitario debe incluir, también, los costos de extracción, bombeo, transporte, suministro y aplicación del agua requerida, así como el curado de las mezclas compactadas.

El precio unitario, también, debe incluir el suministro y aplicación del asfalto para la pintura de adherencia en las juntas del pavimento y en las caras verticales, y la superficie sobre la cual se debe colocar mezcla asfáltica durante el relleno de las excavaciones para reparación del pavimento existente (bacheo) y, en general, todo costo relacionado con la correcta construcción de la capa respectiva, así como los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

En las mezclas asfálticas que se elaboren en caliente, el precio unitario debe incluir, también, los costos por el registro termográfico para establecer las temperaturas de colocación y compactación de las mezclas en obra.

Se excluyen del precio unitario el suministro y el almacenamiento del producto asfáltico para la mezcla, los cuales se deben pagar de acuerdo con la especificación referente a

dicho producto. En caso de que se requieran aditivos mejoradores de adherencia, su costo debe estar incluido dentro del precio unitario de la mezcla.

Las excavaciones para la reparación de un pavimento asfáltico existente se deben pagar de acuerdo con el artículo 465, excepto las que queden taxativamente cubiertas por el artículo 460.

400.7.4 Ejecución de reciclado de pavimentos asfálticos

El pago se debe hacer al precio unitario del contrato, por metro cúbico (m^3), por toda obra ejecutada de acuerdo con la respectiva especificación y aprobada por el interventor.

En los casos en que el trabajo requiera la incorporación de agregados pétreos nuevos, el precio unitario debe incluir todos los costos de suministro, de acuerdo con el numeral 400.7.1.

En el caso de reciclado de pavimentos *in situ*, el precio unitario debe incluir todos los costos por concepto de cortar y disgregar las capas asfálticas y granulares. También, debe incluir todos los costos de la extracción, bombeo, transporte, suministro, aplicación y mezcla del agua requerida, según se haya definido en la fórmula de trabajo, o la eventual aireación de la mezcla preparada; así como los del suministro e incorporación de los mejoradores de adherencia y de los controladores de rotura de la emulsión asfáltica; los de la aplicación y mezcla del agente de reciclado y de los demás elementos de aporte, incluyendo el calentamiento del cemento asfáltico en el caso de reciclados del tipo asfalto espumado; la extensión de la mezcla elaborada, su nivelación, compactación y perfilado y el suministro y aplicación de la emulsión y arena requeridas para los riegos de curado y su barrido; el retiro y disposición final de sobretamaños y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución del reciclado *in situ* del pavimento.

Se excluyen del precio unitario del reciclado de pavimentos *in situ*, los costos referentes a la demolición parcial y posterior reconstrucción de las estructuras de servicios públicos que requieran este tratamiento, según lo indicado en el numeral 461.4.4 del artículo 461. La ejecución de estos trabajos se debe pagar de acuerdo con la especificación particular respectiva que se elabore para tal fin.

En el caso de reciclado de pavimentos en planta y en caliente, el precio unitario debe incluir los costos de acopio, tratamiento y caracterización de los materiales fresados por reciclar; los de fabricación de la mezcla reciclada en caliente; los de almacenamientos eventuales de la mezcla elaborada y los de su transporte, descarga, extensión, nivelación y compactación en obra, así como los que implique el registro termográfico para dejar constancia de las temperaturas de colocación y compactación de la mezcla.

El precio unitario del reciclado de pavimentos en planta y en caliente debe incluir, también, todos los costos de suministro e incorporación en la mezcla del llenante mineral y de los mejoradores de adherencia que se requieran, de acuerdo con lo que establezca la fórmula de trabajo y los de incorporación del cemento asfáltico nuevo y de los agentes rejuvenecedores de reciclado que sean necesarios para

recuperar las propiedades del asfalto incluido en la mezcla disgregada; así como los correspondientes a cargues, almacenamiento, transportes, descargues, desperdicios, extensión y compactación de la mezcla reciclada; y el suministro y aplicación del asfalto para la pintura de adherencia en las juntas del pavimento y en las caras verticales y la superficie sobre la cual se debe colocar mezcla asfáltica reciclada en caliente durante el relleno de las excavaciones para reparación del pavimento existente (bacheo) y, en general, todo costo relacionado con la correcta y completa ejecución del trabajo especificado en el artículo 462.

Se excluyen del precio unitario del reciclado de pavimentos asfálticos en planta y en caliente todos los costos por concepto de disgregar las capas asfálticas en el espesor indicado en los documentos del proyecto, así como su cargue, transporte y disposición en los sitios de acopio aprobados, los cuales se deben pagar con cargo al artículo 460.

Deben formar parte del precio unitario, tanto de los reciclados *in situ* como en caliente, los costos de la definición de la fórmula de trabajo, los de la fase de experimentación y los de la adecuación paisajística de las fuentes que se hayan explotado para la obtención de los agregados nuevos, de manera de recuperar las características hidrológicas superficiales al terminar su explotación y demás requisitos establecidos en el artículo 106 y en la normativa ambiental vigente; también, todos los costos relacionados con la señalización preventiva de la vía y el ordenamiento y manejo del tránsito automotor durante la ejecución de los trabajos y el período adicional que fije el interventor; los costos de los desvíos que fuese necesario construir con motivo de la ejecución de las obras; así como los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

En los reciclados con productos bituminosos, se excluye del precio unitario el suministro del cemento asfáltico o la emulsión asfáltica, el cual se debe pagar de acuerdo con lo que establecen los artículos 410 y 411, respectivamente. También, se excluye el costo del suministro de los elementos de aporte (puzolanas) citados en el numeral 461.2.3 del artículo 461 para el reciclado *in situ* y el del rejuvenecedor del asfalto para el reciclado de mezclas en caliente, cuando este se requiera, los cuales se deben pagar de acuerdo con las especificaciones particulares respectivas.

En los reciclados que empleen ligantes hidráulicos, se excluye del precio unitario el suministro del agente de reciclado, el cual se debe pagar de acuerdo con lo que establezca la especificación particular que corresponda.

Las excavaciones requeridas para la reparación del pavimento existente se deben pagar de acuerdo con el artículo 465, salvo lo previsto en el numeral 465.1 de dicho artículo.

400.8. Ítem de pago

No es aplicable a este artículo

400.9 Glosario

A continuación, se listan algunos conceptos que se nombran en los distintos artículos que componen el capítulo 4.

400.9.1 Asfalto residual

Cantidad de asfalto remanente en la superficie después que la emulsión ha roto y curado.

400.9.2 Agregado de protección

Material que se aplica sobre el riego de imprimación o riego de curado, en una capa de pequeño espesor, de manera que brinde protección en caso de estar expuesto al tráfico inmediatamente después de su aplicación.

400.9.3 Arena natural

Material natural como aquel que proviene de depósitos glaciares, depósitos aluviales o material de arrastre, y es incorporada directamente a la mezcla sin ningún tipo de proceso industrial.

400.9.4 Bachada

Cantidad de mezcla asfáltica o de concreto que se prepara durante un ciclo del mezclador en las plantas de tipo discontinuo o por peso.

400.9.5 Bacheo

Reparación menor y localizada de un pavimento asfáltico, consistente en la excavación y remoción de los materiales deteriorados incluyendo capas granulares, y su reemplazo por otros de calidad satisfactoria, debidamente compactada.

400.9.6 Capa

Parte de una obra vial, formada por un material que se asume homogéneo, el cual es colocado y compactado con espesor generalmente uniforme.

400.9.7 Capa asfáltica de nivelación

Capa asfáltica de espesor variable usada para eliminar irregularidades en el contorno de la superficie de una calzada pavimentada.

400.9.8 Capa asfáltica drenante

Capa superficial de pavimento, consistente en una mezcla de agregados de gradación abierta y asfalto modificado, elaborada en planta en caliente, que luego de compactada presenta un elevado volumen de vacíos con aire, lo cual permite el drenaje rápido de aguas lluvias a través de ella.

400.9.9 Capa asfáltica intermedia

Capa de mezcla asfáltica que se coloca entre la capa de base asfáltica y la capa de rodadura asfáltica, cuando el proyecto requiere la construcción de un pavimento con tres capas asfálticas.

400.9.10 Capa de base asfáltica

Capa construida con una mezcla asfáltica, cuyos agregados tienen un tamaño máximo superior al de los agregados usados para la construcción de la capa de rodadura.

400.9.11 Capa de rodadura asfáltica

Capa superior de un pavimento en contacto directo con el tránsito, cuyo tamaño máximo del agregado es inferior al de una base asfáltica.

400.9.12 Emulsión asfáltica

Dispersiones de pequeñas partículas de un cemento asfáltico en una solución de agua y un agente emulsificante. Deben presentar un aspecto homogéneo y una adecuada dispersión del cemento asfáltico en la fase acuosa.

400.9.13 Emulsión asfáltica modificada con polímeros

Producto bituminoso compuesto por cemento asfáltico, agente emulsificante y agua, con adición de polímeros.

400.9.14 Lechada asfáltica

Mezcla de agregados pétreos, agua, emulsión asfáltica de rotura lenta, convencional o modificada con polímeros, llenante mineral y, eventualmente, aditivos para el control de rotura o para modificación de la reología.

400.9.15 Mezcla asfáltica

Material utilizado en la construcción de pavimentos, formado por una combinación de agregados pétreos y un producto asfáltico, de tal manera que las partículas queden cubiertas de manera homogénea por este. La mezcla se realiza de forma mecánica, bien sea en una planta fija o en una planta móvil.

400.9.16 Mezcla asfáltica abierta

Mezcla de agregados de gradación discontinua y un producto asfáltico modificado.

400.9.17 Mezcla asfáltica de alto módulo

Mezcla asfáltica de alta capacidad estructural y elevada resistencia a la deformación, que se prepara en caliente con un agregado de fuerte esqueleto mineral y un cemento asfáltico modificado de baja penetración.

400.9.18 Mezcla asfáltica de gradación discontinua

Mezcla asfáltica en la cual hay ausencia de partículas de agregado de determinados tamaños, especialmente de arena gruesa.

400.9.19 Mezcla asfáltica densa

Mezcla de agregados pétreos de gradación continua desde el tamaño máximo hasta el llenante mineral y un producto asfáltico, que se elabora, extiende y compacta en caliente o en frío, para formar una masa con bajo contenido de vacíos con aire, estable y uniforme.

400.9.20 Mezcla asfáltica en caliente

Mezcla de agregados pétreos y un cemento asfáltico, elaborada en caliente en planta, la cual debe ser colocada y compactada cuando aún conserve una temperatura elevada.

400.9.21 Mezcla asfáltica en frío

Mezcla de agregados pétreos y un asfalto líquido o emulsionado, elaborada en una planta fija o directamente en el sitio de la obra y colocada y compactada a temperatura ambiente o cerca de ella.

400.9.22 Parcheo

Reparación o intervención de un área localizada del pavimento que abarca solo las capas asfálticas.

400.9.23 Reciclado

Levantamiento de un pavimento, en espesor parcial o total, reduciendo los materiales recuperados a tamaños apropiados, reprocesándolos con nuevos materiales y colocando la mezcla resultante como capa de base o de rodadura en el mismo o en otro pavimento.

400.9.24 Reciclado en caliente

Proceso mediante el cual se combinan agregados pétreos de reciclaje, material bituminoso de adición y agregados pétreos de adición y, eventualmente un rejuvenecedor, en una planta de elaboración de mezclas asfálticas en caliente, a manera de obtener un producto de la calidad de un concreto asfáltico.

400.9.25 Reciclado *in situ*

Proceso mediante el cual se combinan agregados pétreos de reciclaje, agregados pétreos de adición, asfalto espumado, una emulsión asfáltica apropiada, eventuales agentes de reciclado, cemento Portland, cal u otro producto idóneo, con o sin el aporte de agregados nuevos.

400.9.26 Reciclado en planta

Técnica de reciclado que exige que los agregados pétreos de reciclaje sean transportados a una planta para su reprocesamiento y luego al sitio de puesta en obra, que puede ser o no el mismo de la extracción.

400.9.27 Riego de curado

Aplicación uniforme de un ligante bituminoso sobre una capa tratada con un conglomerante hidráulico, con el fin de brindar impermeabilidad a toda su superficie y evitar la evaporación de agua necesaria para un correcto fraguado.

400.9.28 Riego de imprimación

Aplicación uniforme de una emulsión asfáltica o un asfalto líquido sobre una superficie granular terminada (no tratada), previo a la extensión de una capa asfáltica o un tratamiento bituminoso.

400.9.29 Riego de liga

Aplicación uniforme de una ligante asfáltico sobre losas de concreto o sobre una capa bituminosa, previamente a la extensión de otra capa bituminosa, que no sea un tratamiento superficial, un sello de arena-asfalto o una lechada asfáltica, con el fin de proporcionar una adecuada adherencia entre las capas involucradas.

400.9.30 Sello de arena-asfalto

Aplicación de un material bituminoso sobre la superficie de un pavimento existente, seguida por la extensión y compactación de una delgada capa de arena.

400.9.31 Tratamiento superficial

Corresponde a sucesivas aplicaciones de material bituminoso sobre una superficie preparada, seguido por la extensión y compactación de sendas capas de agregado pétreo.

400.9.32 Tiempo de rompimiento en emulsiones asfálticas

Tiempo requerido para que las partículas de agua se separen de la emulsión; generalmente se evidencia un cambio de coloración en el material (marrón a negro).

400.9.33 Tiempo de curado o rompimiento total en emulsiones asfálticas

Tiempo requerido para que el agua involucrada en el proceso de elaboración de la emulsión se evapore completamente.

Suministro de cemento asfáltico

Artículo 410 – 22

410.1 Descripción

Esta especificación se refiere al suministro de cemento asfáltico para la fabricación de mezclas asfálticas que se elaboren de conformidad con lo establecido en los artículos correspondientes de estas especificaciones.

410.2 Materiales

410.2.1 Definición

El cemento asfáltico o asfalto es un material con propiedades cementantes, de color marrón oscuro a negro, soluble en tricloroetileno, compuesto principalmente de hidrocarburos y producto de la eliminación de las fracciones más ligeras del petróleo crudo durante el proceso de refinación.

410.2.2 Designación y especificaciones

La designación del cemento asfáltico se hace por grados de penetración, en décimas de milímetro (0,1 mm). El material por suministrar debe ser de grado de penetración 40 — 50, 60 — 70 u 80 — 100, de acuerdo con las características de la mezcla y del proyecto, que cumpla los requisitos de calidad establecidos la Tabla 410 — 1.

En el caso de mezclas recicladas en caliente o en frío que requieran un cemento asfáltico de diferente penetración, su suministro se debe realizar conforme lo establezca la respectiva especificación particular.

Tabla 410 — 1. Especificaciones del cemento asfáltico

Característica	Norma de ensayo	Grado de penetración					
		40 – 50		60 – 70		80 – 100	
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Asfalto original							
Penetración (25 °C, 100 g, 5 s) (0,1 mm)	INV E-706	40	50	60	70	80	100
Punto de ablandamiento (°C)	INV E-712	52	58	48	54	45	52
Índice de penetración	INV E-724	- 1,2	+ 0,6	- 1,2	+ 0,6	- 1,2	+ 0,6
Viscosidad a 60 °C (Pa·s) (P)	INV E-716 o INV E-717 o NTC 5117:2017	200 (2 000)	-	150 (1 500)	-	100 (1 000)	-
Viscosidad a 135 °C (Pa·s) (P)		0,5 (5,0)	-	0,4 (4,0)	-	0,3 (3,0)	-

Característica	Norma de ensayo	Grado de penetración					
		40 – 50		60 – 70		80 – 100	
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Ductilidad (25 °C, 5 cm/min) (cm)	INV E-702	80	-	100	-	100	-
Solubilidad en tricloroetileno (%)	INV E-713	99	-	99	-	99	-
Contenido de agua (%)	INV E-704	-	0,2	-	0,2	-	0,2
Contenido de parafinas (%)	INV E-718	-	3	-	3	-	3
Punto de inflamación mediante copa abierta de Cleveland (°C)	INV E-709	240	-	230	-	230	-
Del asfalto residual, luego de la prueba de acondicionamiento en película delgada rotatoria, según la norma de ensayo INV E-720							
Cambio de masa por calentamiento (%)	INV E-720	-	0,8	-	0,8	-	1,0
Penetración retenida a 25 °C, en porcentaje (%) de la penetración del asfalto original	INV E-706	55	-	50	-	46	-
Incremento en el punto de ablandamiento (°C)	INV E-712	-	8	-	9	-	9
Índice de envejecimiento: relación de viscosidades (60 °C) del asfalto residual y el asfalto original	INV E-716 o INV E-717 o NTC 5117:2017	-	4	-	4	-	4

Nota: se pueden utilizar cementos asfálticos puros diferentes a los citados en este numeral y en cuyo caso deben ser objeto de una especificación particular.

410.2.3 Especificaciones complementarias para el cemento asfáltico

Además de los ensayos básicos mencionados en el numeral anterior, el proveedor del asfalto debe entregar la clasificación del asfalto por el sistema PG (*Performance Grade*), según la norma AASHTO M 320, *Standard Specification for Performance-Graded Asphalt Binder*, acompañada de los resultados de los ensayos respectivos que definen esta clasificación.

Los documentos del proyecto pueden establecer un requisito para la clasificación PG del asfalto. Si no lo establecen, la clasificación debe ser, como mínimo, PG 64 — 22 para los asfaltos de penetración 40 — 50 y 60 — 70, y PG 58 — 22 para el asfalto de penetración 80 — 100.

410.3 Equipo

En adición a las condiciones generales del numeral 400.3 del artículo 400, se debe tener en cuenta lo siguiente:

410.3.1 Vehículos de transporte

El transporte del cemento asfáltico desde la planta de producción se debe efectuar en caliente y a granel, en carrotanques con adecuados sistemas de calefacción y termómetros

ubicados en sitios visibles. Estos vehículos deben estar dotados, además, de los medios mecánicos que permitan el rápido trasvase de su contenido a los depósitos de almacenamiento. Así mismo, deben disponer de un elemento adecuado para la toma de muestras.

410.3.2 Depósitos de almacenamiento

Los materiales asfálticos deben ser almacenados en tanques específicamente diseñados para ese propósito, con el fin de minimizar el posible endurecimiento durante el almacenamiento. Ciertos aspectos de diseño se deben considerar para reducir el riesgo de sobrecalentar el asfalto. Los tanques deben estar provistos de sensores de temperatura instalados cerca de los dispositivos de calentamiento y de preferencia removibles para facilitar la limpieza y el mantenimiento de rutina.

Los materiales asfálticos se deben almacenar en depósitos adecuadamente ubicados, con la capacidad suficiente para recibir cada entrega, que reúnan los requisitos necesarios para evitar la contaminación de los productos que contengan, que estén protegidos contra incendios, fugas y pérdida excesiva de volátiles, y que cuenten con los equipos adecuados para calentar el producto cuando se requiera, así como con los elementos necesarios para su carga, descarga y limpieza.

Antes de utilizar los depósitos, estos se deben limpiar cuidadosamente, para eliminar natas o residuos de otros productos, materiales extraños o materiales asfálticos de tipo diferente al que se va a almacenar. Esta operación se debe repetir cada vez que sea necesario, para evitar la contaminación del producto.

Todas las tuberías usadas para trasvasar el cemento asfáltico del carrotanque al tanque de almacenamiento y de este al equipo de empleo, deben estar dispuestas de manera que se puedan limpiar fácilmente después de cada aplicación y/o jornada de trabajo.

Cada depósito de almacenamiento se debe identificar en un lugar visible, su capacidad, el tipo de material asfáltico que contiene y, cuando se trate de muestras en recipientes, el origen del material y la fecha de producción. Así mismo, para cada depósito se debe llevar un registro en el que se indiquen las fechas y los volúmenes de los suministros recibidos, así como las salidas de material.

410.4 Ejecución de los trabajos

410.4.1 Recibo del producto

A la llegada del producto al sitio de los trabajos, el constructor debe entregar al interventor una certificación del fabricante del cemento asfáltico, expedida para cada carrotanque o viaje que se reciba, con la siguiente información:

- Tipo de cemento asfáltico, de acuerdo con la denominación descrita en el numeral 410.2.2.
- Fechas de elaboración y despacho.
- Resultados de los ensayos de calidad efectuados sobre muestras representativas de la entrega, con la lista de verificación que muestre la conformidad con los requisitos establecidos en la Tabla 410 — 1.

La certificación del fabricante, entregada como respaldo, no evita la ejecución de ensayos de comprobación por parte del

interventor, ni implica necesariamente la aceptación de la entrega. De todas maneras, el interventor se debe abstener de aceptar el empleo de suministros de cemento asfáltico que no se encuentren respaldados por la certificación del fabricante.

Con la frecuencia que el interventor considere pertinente, se deben comprobar los sistemas de transporte y trasvase, y las condiciones de almacenamiento, en todo cuanto pueda afectar la calidad del material. El interventor puede ordenar la suspensión del uso del contenido del tanque o carrotanque, mientras se realizan las comprobaciones que estime convenientes sobre las características de calidad del cemento asfáltico.

410.4.2 Manejo ambiental

Al respecto, rige el artículo 106, Aspectos ambientales, así como todo lo que resulte aplicable del numeral 400.4.7 del artículo 400 y lo establecido en la hoja de seguridad del producto.

410.5 Condiciones para el recibo del producto

410.5.1 Controles generales

Se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Verificar el cumplimiento de la legislación vigente en relación con las materias ambiental, de seguridad industrial, almacenamiento y transporte.
- Verificar el estado y el funcionamiento de los equipos de transporte y almacenamiento del cemento asfáltico.
- Verificar que, durante el vaciado de los carrotanques, no se lleven a cabo manipulaciones que puedan afectar la calidad del producto, generar incendios o poner en riesgo la integridad de la flora, ni la seguridad de personas, bienes o animales.
- Cada vez que el interventor lo estime conveniente, se deben tomar muestras para los ensayos que indica la Tabla 410 — 1 y se deben realizar las respectivas pruebas. Las muestras se deben tomar de acuerdo con el procedimiento indicado en la norma INV E-701.
- Verificar que no se produzca calentamiento excesivo del cemento asfáltico, antes de su mezcla con los agregados pétreos, que induzca la oxidación prematura del producto e impida que se ajuste a las exigencias del ítem en ejecución.

410.5.2 Controles específicos para el recibo y tolerancias

Se deben adelantar las siguientes actividades:

- De cada carrotanque o viaje con asfalto que llegue a la planta se deben tomar dos (2) muestras, cada una con al menos un kilogramo (1 kg) (norma INV E-701), en el momento del trasvase del material desde el vehículo de carga al tanque de almacenamiento. Sobre una de las muestras se deben realizar los ensayos de penetración, punto de ablandamiento y viscosidad, y sobre la otra, en el caso de ser necesarios, los ensayos de contraste. Si los resultados de las pruebas de contraste no son satisfactorios, se debe rechazar el producto y las partidas de trabajo que eventualmente se hubiesen fabricado con este. Los laboratorios en donde se realicen los ensayos

necesarios para el control de calidad, deben ser empresas legalmente constituidas que cuenten con experiencia y/o trayectoria en ejecución de pruebas y ensayos de control de calidad de materiales, que puedan demostrar apropiadamente la competencia de su personal de laboratorio y cuyos informes de resultados contengan la aprobación y autorización para su emisión, mediante la firma del responsable técnico facultado para ello. El laboratorio debe contar con todo el equipamiento principal y auxiliar necesario para el correcto desempeño de sus actividades y asegurar que estos cuenten con la exactitud y precisión adecuadas para lograr resultados válidos. El laboratorio debe contar con un programa de calibración de sus equipos y se debe asegurar de que los resultados de la medición sean trazables al Sistema Internacional de Unidades (SI), mediante alguna de las siguientes alternativas:

- La calibración de los equipos proporcionados por un laboratorio de metrología acreditado por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC).
- La comparación directa o indirecta a patrones nacionales o internacionales que cuenten con unidades del SI.
- Los valores certificados de materiales de referencia (MRC) proporcionados por productores competentes con trazabilidad metrológica establecida al SI.

• Las muestras para contraste se deben guardar en recipientes metálicos cerrados con tapa a temperaturas entre menos doce grados Celsius (- 12 °C) y menos dieciocho grados Celsius (- 18 °C) para mantener su consistencia en estado sólido, y disminuir el deterioro de sus propiedades por efecto del tiempo de almacenamiento y de exposición al ambiente, durante el tiempo que se requiera, hasta la realización de los ensayos de contraste en laboratorio.

• El interventor debe exigir la realización de los ensayos necesarios para la comprobación de las características especificadas en la Tabla 410 — 1 con una frecuencia recomendada, de una (1) vez cada mes y como mínimo tres (3) veces durante la ejecución de la obra. Para proyectos con duración inferior a un (1) mes, basta con la realización de una (1) sola comprobación. En el desarrollo de estas actividades no se admite tolerancia alguna en relación con los límites que se establecen en la Tabla 410 — 1 o en la especificación particular del proyecto, por tanto, su incumplimiento causa el rechazo del producto.

• El proveedor del asfalto debe entregar la clasificación por el sistema PG (*Performance Grade*), acompañada de los resultados de los ensayos que la definen, con antigüedad no mayor de un (1) mes, según lo establecido en el numeral 410.2.3. No se acepta el empleo de suministros de cemento asfáltico que no estén respaldados por la certificación del fabricante.

• Efectuar los ensayos necesarios para determinar la cantidad de cemento asfáltico incorporado en las mezclas de acuerdo con los documentos del proyecto o aquellos que el interventor haya aprobado.

El interventor puede verificar en cualquier momento el cumplimiento del cemento asfáltico suministrado, en cualquiera de los requisitos de calidad establecidos en esta especificación, siendo motivo de rechazo el incumplimiento de cualquiera de ellos.

410.6 Medida

Para pago, el cemento asfáltico se debe medir en aquellas unidades de obra en que el artículo correspondiente a la unidad de la que forme parte indique que su suministro se debe pagar por separado. En este caso, la unidad de medida del cemento asfáltico debe ser el kilogramo (kg), aproximado al kilogramo entero, que se haya incorporado en la mezcla asfáltica debidamente aprobada por el interventor.

Para determinar la cantidad de cemento asfáltico por pagar, se debe calcular la masa de la mezcla aprobada en su posición final, mediante el producto del volumen aprobado por su densidad media en obra en cada lote, y aplicando a este valor el porcentaje de asfalto promedio correspondiente, que resulte de los ensayos de extracción (norma INV E-732) realizados sobre muestras representativas del volumen de mezcla aprobada.

El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

En el caso de mezclas recicladas, se debe descontar la masa del asfalto incluido dentro del material que se está reciclando.

410.7 Forma de pago

En aquellas unidades de obra en que el artículo indique que el suministro de cemento asfáltico se debe pagar por separado, el pago se debe hacer al precio unitario del contrato, por el cemento asfáltico efectivamente incorporado en la mezcla asfáltica, en su posición final y aprobada por el interventor.

El precio unitario debe incluir todos los costos de suministro del asfalto en obra, manejo, almacenamiento, calentamiento y transportes entre la planta de producción del asfalto y el sitio de colocación final. Además, debe incluir los costos por concepto de desperdicios, de administración e imprevistos y la utilidad del constructor, y en general, todo costo necesario para el correcto cumplimiento de esta especificación.

410.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
410.1	Cemento asfáltico de penetración 40 – 50	Kilogramo (kg)
410.2	Cemento asfáltico de penetración 60 – 70	Kilogramo (kg)
410.3	Cemento asfáltico de penetración 80 – 100	Kilogramo (kg)

Suministro de emulsión asfáltica catiónica

Artículo 411 – 22

411.1 Descripción

Esta especificación se refiere al suministro de una emulsión asfáltica catiónica, del tipo y las características de rotura apropiados, en el sitio de colocación de mezclas en frío, densas o abiertas, recicladas o estabilizadas, así como en el sitio de ejecución de riegos de imprimación, liga y curado, tratamientos superficiales, sellos de arena-asfalto, lechadas asfálticas e instalación de geotextiles y geomallas para repavimentación.

411.2 Materiales

411.2.1 Definición

Se definen como emulsiones asfálticas catiónicas a las dispersiones de pequeñas partículas de un cemento asfáltico en una solución de agua y un agente emulsificante de carácter catiónico, lo que determina la denominación de la emulsión; deben presentar un aspecto homogéneo y una adecuada dispersión del cemento asfáltico en la fase acuosa.

411.2.2 Designación

Para efectos de la aplicación de este artículo, la denominación del tipo de emulsión asfáltica se compone de un código alfanumérico, formado en su orden por la polaridad dada por el tipo de emulgente, el tipo de rompimiento, un guion, el porcentaje de asfalto residual, y el tipo de estabilidad en caso necesario, del siguiente modo: C, para la polaridad catiónica; RR, RM o RL, para la rotura según sea rápida, media o lenta; guión; 40, 57, 60 o 65, de acuerdo con el porcentaje de asfalto que contenga la emulsión; y, con *h* para una de las emulsiones de rotura lenta, cuando corresponda al caso de alta estabilidad.

En las emulsiones CRR-60, CRR-65 y CRL-57 (Tabla 411 — 1), y de acuerdo con el clima de la región, el cemento asfáltico base para elaborar la emulsión, se establece con asfalto residual duro (ARD) para las zonas climáticas, templadas y cálidas (temperatura media ≥ 15 °C), y asfalto residual blando (ARB) para las zonas con clima frío (temperatura media < 15 °C).

Las emulsiones asfálticas deben cumplir con los requisitos de calidad establecidos en la Tabla 411 — 1.

En el caso de mezclas recicladas en frío que requieran una emulsión asfáltica de diferentes características, su suministro se debe realizar conforme lo establezca la respectiva especificación particular.

411.3 Equipo

411.3.1 Vehículos de transporte

El transporte de la emulsión asfáltica desde la planta de fabricación hasta el sitio de

colocación, se debe realizar a granel, en carrotanques que no requieran aislamientos térmicos ni calefacción. Deben estar dotados de los medios mecánicos que permitan el rápido traslado de su contenido a los depósitos de almacenamiento. Así mismo, debe disponer de un elemento adecuado para la toma de muestras.

411.3.2 Depósitos de almacenamiento

El almacenamiento que requiera la emulsión asfáltica antes de su uso, se debe realizar en tanques cilíndricos verticales, con tuberías de fondo para carga y descarga, las cuales se deben encontrar en posiciones diametralmente opuestas. Los tanques deben tener bocas de ventilación, para evitar que trabajen a presión, y deben contar con los aparatos de medida y de seguridad necesarios ubicados en puntos de fácil acceso, para garantizar su correcto funcionamiento. Así mismo, deben disponer de una válvula adecuada para la toma de las muestras. Deben, además, estar provistos de elementos que permitan la recirculación de la emulsión, cuando se almacene por tiempo prolongado.

Antes de utilizar los depósitos, estos deben ser limpiados cuidadosamente, para eliminar natas o residuos de otros productos, materiales extraños o emulsiones de tipo diferente al que se va a almacenar. Esta operación se debe repetir cada vez que sea necesario, para evitar la contaminación del producto.

Cada depósito de almacenamiento se debe identificar, en un lugar visible, donde se indique su capacidad, el tipo de emulsión asfáltica que contiene y, cuando se trate de recipientes, el origen del material y la fecha de producción. Así mismo, para cada depósito se debe llevar un registro en el que se indiquen las fechas y los volúmenes de los suministros recibidos y de las salidas de material.

Cuando los tanques de almacenamiento no dispongan de medios de carga propios, los carrotanques empleados para el transporte de la emulsión asfáltica deben estar dotados de medios neumáticos o mecánicos apropiados para el trasvase rápido de su contenido a los tanques. Cuando se empleen bombas de trasvase, se deben preferir las de tipo rotativo a las centrífugas. El trasvase desde el carrotanque al tanque de almacenamiento siempre se debe realizar por tubería directa.

Tabla 411 — 1. Especificaciones de emulsiones asfálticas catiónicas

Ensayos sobre la emulsión	Norma de ensayo	Tipo de rotura (Nota)											
		Rápida				Media		Lenta					
		CRR-60		CRR-65		CRM-65		CRL-40		CRL-57		CRL-57h	
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Destilación: - Contenido de asfalto residual (%) - Contenido de aceite (%)	INV E-762	60 -	- 3	65 -	- 3	65 -	- 12	40 10	- 20	57 -	- -	57 -	- -
Contenido de agua (%)	INV E-761	-	40	-	35	-	35	-	50	-	43	-	43
Viscosidad: - Saybolt-Furol a 25 °C (s) - Saybolt-Furol a 50 °C (s)	INV E-763	20 -	100 -	- 100	- 400	- 50	- 450	- -	50 -	20 -	200 -	20 -	100 -
Estabilidad durante el almacenamiento: - Sedimentación a 24 h (%) - Sedimentación a los 5 días (%)	INV E-764	- -	1 5	- -	1 5	- -	1 5	- -	- 10	- -	1 5	- -	1 5
Tamizado Retenido tamiz de 0,850 mm (nro. 20) (%)	INV E-765	-	0,1	-	0,1	-	0,1	-	0,1	-	0,1	-	0,1
Demulsibilidad (%)	INV E-766	40	-	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rotura en ensayo de mezcla con cemento (%)	INV E-770	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,0
Carga eléctrica de la partícula	INV E-767	Positiva		Positiva		Positiva		Positiva		Positiva		Positiva	
pH	INV E-768	-	5	-	5	-	5	-	5	-	5	-	5
Índice de rotura	UNE-EN 13075-1	Reportar											

Ensayos sobre la emulsión	Norma de ensayo	Tipo de rotura (Nota)											
		Rápida				Media		Lenta					
		CRR-60		CRR-65		CRM-65		CRL-40		CRL-57		CRL-57h	
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Cubrimiento del agregado y resistencia al desplazamiento:													
- Con agregado seco	INV E-769	-	-	-	-	Buena		-	-	-	-	-	-
- Con agregado seco y acción del flujo de agua		-	-	-	-	Satisfactoria		-	-	-	-	-	-
- Con agregado húmedo		-	-	-	-	Satisfactoria		-	-	-	-	-	-
- Con agregado húmedo y acción del flujo de agua		-	-	-	-	Satisfactoria		-	-	-	-	-	-
Ensayos sobre el residuo de destilación													
Penetración (25 °C, 100 g, 5 s) (0,1 mm)	INV E-706	-	-	-	-	100	250	200	300	-	-	60	100
- Asfalto residual duro (**ARD**)		60	100	60	100	-	-	-	-	60	100	-	-
- Asfalto residual blando (**ARB**)		100	250	100	250	-	-	-	-	100	250	-	-
Ductilidad (25 °C, 5 cm/min) (cm)	INV E-702	40	-	40	-	40	-	40	-	40	-	40	-
Solubilidad en tricloroetileno (%)	INV E-713	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-

Nota: el tipo de rotura se establece de acuerdo con lo indicado en las normas de ensayo ASTM D244 e INV E-767.

Todas las tuberías usadas para el trasvase de la emulsión asfáltica, del carrotanque al tanque de almacenamiento y de este al equipo de empleo, deben estar dispuestas de manera que se puedan limpiar fácilmente después de cada aplicación y/o jornada de trabajo.

411.4 Ejecución de los trabajos

411.4.1 Recibo del producto

A la llegada del producto al sitio de los trabajos, el constructor debe entregar al interventor, una certificación del fabricante de la emulsión expedida para cada carrotanque o viaje que se reciba, con la siguiente información:

- Tipo de emulsión asfáltica y velocidad de rotura.
- Fechas de elaboración y despacho.
- Resultados de los ensayos de calidad efectuados sobre muestras representativas de la entrega, con la lista de verificación que muestre la conformidad con los requisitos establecidos en la Tabla 411 — 1 o lo que indique la respectiva especificación particular, en los casos en que se autorice el empleo de una emulsión asfáltica de características diferentes.

La certificación no evita la ejecución de ensayos de comprobación por parte del interventor, ni implica necesariamente la aceptación de la entrega. De todas maneras, el interventor se debe abstener de aceptar el empleo de suministros de emulsión asfáltica que no se encuentren respaldados por la certificación del fabricante.

Con la frecuencia que el interventor considere pertinente, se deben comprobar los sistemas de transporte, trasvase y las condiciones de almacenamiento, en todo cuanto pueda afectar la calidad del material. El interventor puede ordenar la suspensión del uso del contenido del tanque o carrotanque, mientras se realizan las comprobaciones que estime convenientes de las características de calidad de la emulsión asfáltica.

El empleo de la emulsión asfáltica en la elaboración de riegos, tratamientos superficiales, sellos de arena-asfalto, lechadas asfálticas, mezclas y estabilizaciones, se debe hacer conforme se establece en la especificación correspondiente a la partida de trabajo de la cual forma parte.

411.4.2 Manejo ambiental

Al respecto, rige el artículo 106, Aspectos ambientales, así como todo lo que resulte aplicable del numeral 400.4.7 del artículo 400, y lo establecido en la hoja de seguridad del producto.

411.5 Condiciones para el recibo del producto

411.5.1 Controles generales

Se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Verificar que, en las operaciones de suministro de la emulsión asfáltica, el constructor cumpla la legislación vigente en relación con las materias ambiental, de seguridad industrial, almacenamiento y transporte.
- Verificar el estado y el funcionamiento de los equipos de transporte y de almacenamiento de la emulsión asfáltica.

- Verificar que, durante el vaciado de los carrotanques, no se lleven a cabo manipulaciones que puedan afectar la calidad del producto, generar incendios o poner en riesgo la integridad de la flora y la seguridad de personas, bienes o animales.
- Tomar muestras para los ensayos que indica la Tabla 411 — 1 y efectuar las respectivas pruebas, cada vez que el interventor lo estime conveniente. Las muestras se deben tomar de acuerdo con el procedimiento indicado en la norma INV E-701.

411.5.2 Controles específicos para el recibo y tolerancias

Al respecto, se deben adelantar las siguientes verificaciones:

- De cada carrotanque con emulsión asfáltica que llegue a la planta se deben tomar dos (2) muestras, de al menos, dos kilogramos (2 kg) (norma INV E-701), en el momento del trasvase del material del carrotanque al tanque de almacenamiento. Sobre una de estas muestras se deben realizar los ensayos de contenido de agua y de penetración del residuo, y la otra, se debe utilizar para los ensayos de contraste, en caso de ser necesario. Los laboratorios en donde se realicen los ensayos de contraste, deben ser empresas legalmente constituidas que cuenten con experiencia y/o trayectoria en ejecución de pruebas y ensayos de control de calidad de materiales, que puedan demostrar apropiadamente la competencia de su personal de laboratorio y cuyos informes de resultados contengan la aprobación y autorización para su emisión, mediante la firma del responsable técnico facultado para ello. El laboratorio debe contar con todo el equipamiento principal y auxiliar necesario para el correcto desempeño de sus actividades y asegurar que estos cuenten con la exactitud y precisión adecuadas para lograr resultados válidos. El laboratorio debe contar con un programa de calibración de sus equipos y se debe asegurar de que los resultados de la medición sean trazables al Sistema Internacional de Unidades (SI), mediante alguna de las siguientes alternativas:
  - La calibración de los equipos proporcionados por un laboratorio de metrología acreditado por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC).
  - La comparación directa o indirecta a patrones nacionales o internacionales que cuenten con unidades del SI.
  - Los valores certificados de materiales de referencia (MRC) proporcionados por productores competentes con trazabilidad metrológica establecida al SI.
- El interventor debe exigir al constructor la realización de los ensayos necesarios para comprobar las características especificadas en la Tabla 411 — 1, con una frecuencia recomendada, de una (1) vez cada mes y como mínimo de tres (3) veces durante la ejecución de la obra. Para proyectos con duración inferior a un (1) mes, basta con la realización de una (1) sola comprobación.
- Efectuar los ensayos necesarios para determinar la cantidad de emulsión asfáltica incorporada en riegos, tratamientos superficiales, sellos de arena-asfalto, lechadas asfálticas, mezclas, reciclados y estabilizaciones.

En desarrollo de las dos primeras actividades, no se debe admitir ninguna tolerancia en relación con los límites que se establecen en la

Tabla 411 — 1 o en la especificación particular del proyecto, y en cuanto a la tercera, se debe aplicar lo que recomiende la especificación correspondiente a la partida de trabajo que se esté controlando.

Si la emulsión asfáltica se almacena durante un plazo superior a quince días (15 d) antes de su empleo, se deben realizar, como mínimo, sobre dos (2) muestras, una tomada en la parte superior y otra de la inferior del tanque de almacenamiento, el ensayo de tamizado, según la norma INV E-765 y el ensayo de contenido de ligante, de acuerdo con la norma INV E-762. Si no se cumple con lo establecido para estas características, se debe proceder a su homogeneización y la realización de nuevos ensayos, o a su retirada. Este plazo de quince días (15 d), se debe reducir a cinco días (5 d) para el caso de emulsiones de rotura lenta.

411.6 Medida

La unidad de medida de la emulsión asfáltica debe ser el litro (L), aproximado al litro entero, de emulsión incorporada en las mezclas y estabilizaciones aprobadas por el interventor. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida para cada uno de los ítems, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

Dado que al aplicar la emulsión en obra se pierde el agua que contiene, la determinación de la cantidad de emulsión realmente utilizada, se cuantifica a partir de la masa de la mezcla o estabilización aceptada en su posición final, la cual se obtiene multiplicando el volumen aprobado por la densidad media obtenida en obra en cada lote. A la masa así determinada, se le aplica el porcentaje promedio de asfalto, que resulte de los ensayos de extracción realizados sobre muestras representativas de la mezcla aceptada.

En el caso de mezclas recicladas, se debe descontar la masa del asfalto ya incluido dentro del material que se está reciclando. Como este valor corresponde únicamente a asfalto residual, su conversión a emulsión asfáltica se debe realizar de acuerdo con la concentración de esta. Por último, la conversión de masa de emulsión a volumen se debe realizar considerando la densidad de un kilogramo por litro (1 kg/L). Para efectos de pago, se debe considerar siempre una emulsión asfáltica con una concentración de sesenta por ciento (60 %); por lo tanto, si la emulsión suministrada y utilizada tiene una concentración diferente, se debe hacer la conversión correspondiente mediante la expresión:

$$\begin{pmatrix}\text{Volumen}\\ \text{para pago}\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}\text{Volumen}\\ \text{aplicado}\end{pmatrix} * \frac{C}{60\ \%} \quad [411.1]$$

Donde:

C, concentración de la emulsión empleada, en porcentaje.

Para efectos de pago separado, en riegos de imprimación, liga y curado, tratamientos superficiales simples y dobles, sellos de arena-asfalto, lechadas asfálticas e instalación de geotextiles y geomallas para repavimentación, no debe haber medida de la emulsión asfáltica utilizada.

411.7 Forma de pago

El pago se debe hacer al precio unitario del contrato, por la emulsión asfáltica efectivamente

incorporada en las mezclas o estabilizaciones en su posición final, aprobadas por el interventor.

El precio unitario debe cubrir todos los costos de suministro de la emulsión en obra, manejo, almacenamiento y transportes entre la planta de fabricación de la emulsión y el sitio de colocación final. Además, debe incluir los costos por concepto de desperdicios, de administración e imprevistos y la utilidad del constructor, y en general, todo costo necesario para el correcto cumplimiento de esta especificación.

No debe haber ningún pago separado por concepto de la emulsión asfáltica, cuando sea incorporada en riegos de imprimación (artículo 420), riegos de liga (artículo 421), tratamientos superficiales (artículo 430), sellos de arena-asfalto (artículo 432), lechadas asfálticas (artículo 433), mezclas asfálticas en frío (densas o abiertas) (artículo 440), reciclado de pavimentos asfálticos *in situ* empleando ligantes bituminosos (artículo 461) e instalación de geotextiles y geomallas para repavimentación (artículo 464).

Tampoco debe haber pago separado por concepto de la emulsión asfáltica incorporada en riegos de curado, a los cuales hace referencia el artículo 422. Todos los costos relacionados con su suministro y correcta aplicación se deben incluir en el precio unitario de la capa sobre la cual haya sido aplicada.

411.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
411.1	Emulsión asfáltica de rotura media CRM-65	Litro (L)
411.2	Emulsión asfáltica de rotura lenta CRL-40	Litro (L)
411.3	Emulsión asfáltica de rotura lenta CRL-57	Litro (L)
411.4	Emulsión asfáltica de rotura lenta CRL-57h	Litro (L)
411.5	Emulsión asfáltica de rotura rápida CRR-60	Litro (L)
411.6	Emulsión asfáltica de rotura rápida CRR-65	Litro (L)

Suministro de aditivo mejorador de adherencia

Artículo 412 – 22

412.1 Descripción

Esta especificación se refiere al suministro de un aditivo mejorador de adherencia para la fabricación de tratamientos y mezclas asfálticas, que se elaboren de conformidad con lo establecido en los artículos correspondientes de estas especificaciones.

412.2 Materiales

La adherencia entre los productos bituminosos y los agregados pétreos se puede mejorar mediante el empleo de:

- Cal tipo I (AASHTO M 303-89 [2019]).
- Compuestos del tipo amina, organosilanos y ésteres de fosfato.
- Cenizas (AASHTO M 295-19).
- Otros productos de calidad certificada.

El mejorador de adherencia seleccionado previamente en los documentos del proyecto o aprobado por el interventor, debe garantizar el grado de afinidad requerido entre el par asfalto-agregado, según el tipo de mezcla asfáltica a utilizar. En el caso de mejoradores de adherencia líquidos, deben ser homogéneos y no presentar separación de fases.

Los aditivos mejoradores de adherencia entre el par, cemento asfáltico-agregado pétreo, se deben usar cuando en el ensayo de adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos, norma INV E-774, señale un resultado inferior a seis (6) para el desprendimiento total de acuerdo con el Índice de adhesividad Riedel-Weber.

La efectividad, la compatibilidad y el alto rendimiento del aditivo entre el par cemento asfáltico-agregado, en cada uno de los diseños de mezcla, se establece según el ensayo de evaluación de la susceptibilidad al agua de las mezclas de concreto asfáltico utilizando la prueba de tracción indirecta, norma INV E-725; la resistencia retenida y obtenida a partir de esta prueba debe ser como mínimo del ochenta por ciento (80 %).

En caso de que el producto utilizado sea cal, debe cumplir los requisitos indicados en la Tabla 412 — 1.

Tabla 412 — 1. Especificaciones para la cal

Requisito	Norma de ensayo	Masa (%)
Cal activa [% Ca $(OH)_2$ + % CaO], mínimo (% en masa)	ASTM C25/NTC 5059	83
Óxido de calcio (cal deshidrata), máximo (% en masa de CaO)		7
Contenido de agua, máximo (% en masa de H_2O)		3

El producto para utilizarse como mejorador de adherencia entre el par, cemento asfáltico-agregado, debe estar debidamente justificado mediante ensayos de laboratorio, y respaldado por los certificados de calidad, la ficha técnica del fabricante, la hoja de seguridad (según la NTC 4435 u otra que la sustituya), las condiciones de almacenamiento, la dosificación, la forma de uso, y las fechas de la elaboración y del vencimiento.

412.3 Equipo

En adición a lo que resulte pertinente del numeral 400.3 del artículo 400, aplica lo siguiente:

412.3.1 Empaque

Para su traslado al sitio de las obras, el aditivo se puede empacar en bolsas, canecas o a granel. Las bolsas solo se pueden emplear cuando el aditivo sea sólido.

412.3.2 Vehículos de transporte

Si el suministro se hace en bolsas o canecas, el transporte se puede efectuar en cualquier camión convencional. El vehículo debe disponer de lonas o cobertores adecuados, debidamente asegurados a su carrocería, que protejan al aditivo durante su transporte.

Si el suministro se realiza a granel, se deben emplear camiones cisterna dotados de dispositivos mecánicos que permitan el rápido traslado de su contenido a los depósitos de almacenamiento.

412.3.3 Depósitos de almacenamiento

El depósito de los aditivos suministrados en bolsas o canecas debe ser ventilado y cubierto, y disponer de los elementos que aseguren la protección del producto contra los agentes atmosféricos, particularmente la humedad proveniente tanto del suelo como de las paredes del almacén.

Los silos de almacenamiento de aditivos suministrados a granel deben estar completamente aislados contra la humedad y deben disponer de sistemas apropiados para su rápido llenado y vaciado.

412.4 Ejecución de los trabajos

412.4.1 Aspectos generales

La incorporación del aditivo mejorador de adherencia en los tratamientos y las mezclas, se debe hacer en la proporción definida en el diseño de estos, siguiendo el procedimiento establecido en la ficha técnica suministrada por el fabricante.

412.4.2 Manejo ambiental

Al respecto, rige el artículo 106, Aspectos ambientales, así como todo lo que resulte aplicable del numeral 400.4.7 del artículo 400 y lo establecido en la hoja de seguridad del producto.

412.5 Condiciones para el recibo del producto

412.5.1 Controles generales

Se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Verificar que en las operaciones de suministro del aditivo mejorador de adherencia, el constructor cumpla la legislación vigente

en relación con las materias ambiental, de seguridad industrial, almacenamiento y transporte.
- Llevar un registro detallado del período de almacenamiento de cada lote de aditivo, impidiendo el empleo de cualquier aditivo con posterioridad a su fecha de vencimiento.
- Verificar que durante el manejo del aditivo no se efectúen operaciones que puedan afectar su calidad.
- Comprobar la correcta incorporación del aditivo en el tratamiento o la mezcla.
- Cada vez que el interventor lo estime conveniente, se deben tomar muestras del producto para la ejecución eventual de pruebas de control, las cuales se deben realizar de acuerdo con los procedimientos previstos por el fabricante.

412.5.2 Controles específicos para el recibo y tolerancias

Se debe comprobar que, con la cantidad de aditivo efectivamente incorporada en el tratamiento o la mezcla, se satisfacen los requisitos de adhesividad exigidos en los artículos correspondientes; no se admite ninguna tolerancia en relación con la cantidad de aditivo por incorporar.

412.6 Medida

No debe haber lugar a medida, para efectos de pago separado, del aditivo mejorador de adherencia que se deba incorporar en los tratamientos o las mezclas que lo requieran, para garantizar el cumplimiento de las exigencias de adhesividad de la respectiva especificación.

412.7 Forma de pago

No debe haber pago separado por el aditivo mejorador de adherencia. Por lo tanto, todos los costos de suministro, patente, manejo, almacenamiento, desperdicios, cargues, transportes, descargues, incorporación y cualquier otro costo requerido para la correcta ejecución de los trabajos, se deben incluir dentro del precio unitario del tratamiento o mezcla respectivo.

Suministro de cemento asfáltico modificado con grano de caucho reciclado

Artículo 413 – 22

413.1 Descripción

Esta especificación se refiere al suministro de cemento asfáltico modificado con grano de caucho reciclado (GCR) en el sitio de producción de las mezclas asfálticas que se elaboren con dicho producto, de conformidad con lo establecido en los artículos correspondientes de estas especificaciones. El grano de caucho debe mezclarse e interactuar suficientemente con el asfalto caliente para que genere la expansión de las partículas de caucho antes de su uso.

El cemento asfáltico modificado con GCR se debe usar únicamente en aquellas mezclas asfálticas en las cuales los documentos del proyecto especifiquen su uso.

413.2 Materiales

413.2.1 Cemento asfáltico

Debe cumplir las características establecidas en el artículo 410, Suministro de cemento asfáltico. El tipo de asfalto por emplear se debe indicar en los documentos del proyecto y debe permitir la obtención de las propiedades de cemento asfáltico modificado con GCR que se indican en la Tabla 413 — 3.

413.2.2 Grano de caucho reciclado (GCR)

El GCR debe presentar las características que se mencionan en la Tabla 413 — 1.

Tabla 413 — 1. Características del GCR

Característica	Norma de ensayo	Requisito
Humedad (Nota 1), respecto la masa total, máximo (%)	ASTM D1864/D1864M	0,75
Gravedad específica	ASTM D1817	1,15 ± 0,05
Contenido de metales no ferrosos	-	Sin presencia visible
Contenido de fibra en masa, máximo (%): - Para mezclas en caliente (%) - Para riegos (%)	ASTM 5603	 0,5 0,1
Contenido de polvo mineral (como talco [Nota 2]), máximo (%)	-	4,0
Contenido total de otros elementos extraños (arena, vidrio, madera, etc.), en masa, máximo (%)	-	0,25

Nota 1: el GCR debe fluir libremente.
Nota 2: se usa frecuentemente para que los granos no se peguen.

La granulometría del GCR se debe acomodar a alguna de las gradaciones presentadas en la Tabla 413 — 2. La gradación que sea empleada debe estar definida en los documentos del proyecto.

Tabla 413 — 2. Distribución de tamaños del GCR

Tamiz		Granulometrías				
		Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D	Tipo E
Abertura (mm)	Designación	Pasa tamiz (%)				
2,380	Nro. 8	-	-	-	100	-
2,000	Nro. 10	100	-	-	95 — 100	100
1,180	Nro. 16	75 — 100	-	-	0 — 10	65 — 100
0,850	Nro. 20	59 — 90	100	-	-	-
0,600	Nro. 30	25 — 60	75 — 100	100	-	20 — 100
0,425	Nro. 40	10 — 40	55 — 90	80 — 90	-	-
0,300	Nro. 50	0 — 20	25 — 60	60 — 100	-	0 — 45
0,150	Nro. 100	0 — 10	0 — 30	4 — 70	-	-
0,075	Nro. 200	0 — 5	0 — 10	0 — 20	-	0 — 5
Contenido mínimo de GCR en el asfalto, en masa (%)		17	15	12	15	

Nota 1: las granulometrías D y E pueden ser utilizadas siempre y cuando la mezcla asfalto-caucho cumpla con lo especificado en la Tabla 413-3.

413.2.3 Cemento asfáltico modificado con GCR

El cemento asfáltico modificado con GCR es un ligante hidrocarbonado resultante de la mezcla de cemento asfáltico, GCR y eventualmente, otros aditivos que se requieran para su uso en trabajos de pavimentación.

Los asfaltos modificados con GCR, tipo I, incluyen típicamente un asfalto base más duro y son recomendados generalmente para uso en climas cálidos; los ligantes tipo II comúnmente, incluyen asfaltos un poco más blandos y son recomendados generalmente para uso en climas moderados o templados; los ligantes tipo III, incluyen típicamente asfaltos muy blandos, con empleo de aditivos para ablandamiento para alcanzar las propiedades físicas estipuladas, y son recomendados generalmente para uso en climas fríos (Tabla 413 — 3).

Tabla 413 — 3. Especificaciones para el cemento asfáltico modificado con GCR

Características	Norma de ensayo	Asfalto - caucho			
		Tipo I		Tipo II	Tipo III
Asfalto Base Original					
Penetración (25 °C, 100 g, 5 s) (0,1 mm)	INV E-706	Reportar los resultados de estas propiedades del asfalto base conforme al artículo 410			
Punto de ablandamiento (°C)	INV E-712				
Índice de penetración	INV E-724				
Viscosidad a 60 °C (Pa·s)	INV E-716 o INV E-717 o NTC 5117:2017				
Viscosidad a 135 °C (Pa·s)					
Ductilidad (25 °C, 5 cm/min) (cm)	INV E-702				
Solubilidad en tricloroetileno (%)	INV E-713				
Punto de inflamación mediante copa abierta de Cleveland (°C)	INV E-709				
Asfalto - Caucho fresco					
Penetración a 25 °C (100 g, 5 s) (0,1 mm)	INV E-706	Mín. Máx.	25 75	25 75	50 100
Penetración a 4 °C (200 g, 60 s) (0,1 mm)	INV E-706	Mín.	10	15	25
Punto de ablandamiento (°C)	INV E-712	Mín.	57	54	52
Viscosidad aparente a 135 °C (Pa·s)	ASTM D7741/D7741M	-	Reportar		
Viscosidad aparente a 175 °C (Pa·s)		Mín. Máx.	1,5 5,0	1,5 5,0	1,5 5,0
Punto de inflamación mediante copa abierta de Cleveland (°C)	INV E-709	Mín.	230	230	230
Estabilidad al almacenamiento: cambio en el punto de ablandamiento (°C)	INV E-726	-	Reportar		
Incremento en el punto de ablandamiento respecto al asfalto original (°C)	INV E-712	-	Reportar		
Recuperación elástica por torsión a 25 °C (%)	INV E-727	-	Reportar		
Resiliencia a 25 °C (%)	ASTM D5329	Mín.	25	20	10
Asfalto-caucho residual luego del acondicionamiento en película delgada conforme a la norma INV E-721 o ASTM D1754 (3,2 mm, 50 g, 163 °C) (Nota):					
Cambio de masa por calentamiento a 163 °C (%)	INV E-721	-	Reportar		
Penetración a 4 °C (200 g, 60 s) (0,1 mm)	INV E-706	-	Reportar		
Penetración retenida a 4 °C: porcentaje (%) de la penetración original	INV E-706	Mín.	75	75	75
Incremento en el punto de ablandamiento (°C)	INV E-712	-	Reportar		
Índice de envejecimiento: relación entre viscosidades a 135 °C, de los asfaltos residual y original	NTC 5117:2017 o ASTM D7741/D7741M	-	Reportar		

Nota: el método RTFO (norma INV E-720) puede ser empleado para obtener el asfalto-caucho residual para reemplazar al método TFOT (norma INV E-721), sin embargo, se mantiene el método TFOT como referencia para cuando se requiera dirimir los conflictos.

413.2.4 Especificaciones complementarias para el cemento asfáltico modificado con GCR

Además de los ensayos básicos mencionados en la Tabla 413 — 3, el proveedor del cemento asfáltico modificado con GCR debe entregar la clasificación de este ligante y la del asfalto original, por el sistema PG (*Performance Grade*), según la norma AASHTO M 320, *Standard Specification for Performance-Graded Asphalt Binder*, acompañada de los resultados de los ensayos respectivos que definen esta clasificación.

Los documentos del proyecto pueden establecer un requisito para la clasificación PG del asfalto modificado con GCR. Si no lo establecen, para el asfalto original la clasificación debe ser, como mínimo, PG 64 — 22 para los asfaltos de penetración 60 — 70, y PG 58 — 22 para el asfalto de penetración 80 — 100; para el asfalto modificado con GCR, el rango de temperaturas de la clasificación PG (máxima menos mínima) del asfalto modificado debe mostrar un incremento mínimo de seis grados Celsius (6 °C) con respecto al mismo rango en el asfalto original.

413.3 Equipo

El cemento asfáltico modificado con GCR se debe fabricar en equipos especializados que garanticen la calidad de la mezcla. El constructor debe entregar al interventor la certificación del fabricante sobre la idoneidad del equipo, así como los certificados recientes de la calibración de todos sus dispositivos de medida.

413.4 Ejecución de los trabajos

413.4.1 Diseño del cemento asfáltico modificado con GCR

El constructor debe presentar para aprobación y con suficiente anticipación al inicio de los trabajos, el diseño del cemento asfáltico modificado con GCR. En general, se requiere que el contenido de caucho respecto a la masa total del asfalto modificado con GCR, cumpla con los valores mínimos indicados en la Tabla 413 — 2, para obtener unas propiedades aceptables de la mezcla asfalto-caucho.

El ligante modificado debe cumplir con los requisitos indicados en la Tabla 413 — 3, para el tipo de asfalto modificado con GCR que se especifique en los documentos del proyecto. El proceso de escogencia del tipo de asfalto debe tener en cuenta las condiciones climáticas del proyecto de la obra vial correspondiente.

413.4.2 Fabricación del cemento asfáltico modificado con GCR

Durante la producción a escala industrial del cemento asfáltico modificado con GCR, el constructor debe combinar los materiales de acuerdo con el diseño del ligante aprobado por el interventor.

413.4.2.1 Mezclado del cemento asfáltico modificado con GCR

El caucho se debe mezclar e integrar al cemento asfáltico base, con tiempos de reacción y temperaturas de mezclado moderadas, para evitar en el asfalto modificado la generación de altos niveles de envejecimiento a corto

plazo. El fabricante del asfalto modificado con GCR puede proponer el uso de un protocolo que garantice la interacción física del asfalto con los componentes de GCR, para producir una mezcla homogénea y estable. Al momento de añadir el grano de caucho, la temperatura del asfalto base debe encontrarse entre ciento ochenta grados Celsius (180 °C) y doscientos grados Celsius (200 °C), para compensar la reducción de temperatura que ocurre por la adición del GCR. No se deben permitir aglomeraciones de partículas de caucho de tamaño mayor de cinco centímetros (5 cm) dentro de la cámara de mezclado.

Las cantidades de asfalto y caucho deben ser dosificadas de manera precisa, de acuerdo con el diseño del ligante. El constructor debe documentar el proceso de fabricación, incluyendo los resultados de la verificación de la uniformidad de la mezcla.

El constructor debe demostrar que los granos de caucho han sido adecuadamente mezclados de tal manera que se encuentren empapados de asfalto. Son manifestaciones de un mezclado insuficiente la presencia de granos de caucho flotando en la superficie o aglomeraciones de partículas de caucho en la mezcla.

La temperatura del cemento asfáltico modificado con GCR inmediatamente después de su elaboración se debe encontrar entre ciento sesenta grados Celsius (160 °C) y ciento noventa grados Celsius (190 °C). Además, se debe mantener esta temperatura por una hora (1 h) antes de su uso.

413.4.2.2 Manejo del cemento asfáltico modificado con GCR

Después de su elaboración, el cemento asfáltico modificado con GCR se debe agitar entre los períodos de uso, para prevenir el asentamiento de las partículas de caucho. Durante la producción de la mezcla asfáltica, la temperatura del cemento asfáltico modificado se debe mantener entre ciento sesenta grados Celsius (160 °C) y ciento noventa grados Celsius (190 °C). Sin embargo, en ningún caso se debe mantener esta temperatura por un período superior a diez horas (10 h).

Si el cemento asfáltico modificado con GCR no se usa dentro de las diez horas (10 h) siguientes a su fabricación, se debe permitir que se enfríe gradualmente. Antes de su uso, se debe calentar de nuevo a una temperatura entre ciento sesenta grados Celsius (160 °C) y ciento noventa grados Celsius (190 °C); este proceso de enfriamiento y recalentamiento no se permite más de una vez. Adicionalmente, este cemento asfáltico modificado no se puede mantener a temperaturas superiores a ciento veinte grados Celsius (120 °C) por más de cuatro días (4 d).

413.4.2.3 Control del cemento asfáltico modificado con GCR antes de su aplicación

Antes de aplicar el cemento asfáltico modificado con GCR, se debe verificar su viscosidad por medio del viscosímetro rotacional, la cual debe estar dentro de los límites fijados en la Tabla 413 — 3.

413.4.2.4 Recibo del producto

A la llegada del producto al sitio de los trabajos, el constructor debe entregar al interventor una certificación del fabricante del cemento asfáltico modificado con GCR, expedida para cada carrotanque o viaje que se reciba, con la siguiente información:

- Tipo de cemento asfáltico.
- Temperatura del cemento asfáltico antes de la adición del grano de caucho.
- Tipo y fuente del grano de caucho.
- Granulometría del grano de caucho.
- Dosificación del grano de caucho.
- Tiempos y fechas en que se añade el grano de caucho y resultados de las pruebas de viscosidad.
- Registro continuo de temperaturas, con fechas y horas, desde el momento en que se calentó el asfalto para la adición del grano de caucho hasta que el lote fue utilizado completamente en la mezcla asfáltica colocada. Se deben registrar datos de tiempos cada vez que la temperatura de este ligante cambia en más de diez grados Celsius (10 °C).
- Resultados de los ensayos de calidad efectuados sobre muestras representativas de la entrega, con la lista de verificación que muestre la conformidad con los requisitos establecidos en la Tabla 413 — 3.
- El interventor debe definir los lotes de características homogéneas, de los que se debe tomar muestras representativas, las cuales deben satisfacer las condiciones establecidas en este artículo.

El empleo del cemento asfáltico modificado con GCR en la elaboración de mezclas asfálticas se debe hacer conforme lo establece el artículo correspondiente a la partida de trabajo de la cual forma parte.

413.4.2.5 Manejo ambiental

Al respecto, rige el artículo 106, Aspectos ambientales, así como todo lo que resulte aplicable del numeral 400.4.7 del artículo 400 y lo establecido en la hoja de seguridad del producto.

413.5 Condiciones para el recibo del producto

413.5.1 Controles generales

Además de los controles del numeral 410.5.1 del artículo 410, se deben adelantar los siguientes:

- Verificar el estado y el funcionamiento de los equipos de fabricación del cemento asfáltico modificado.
- Cada vez que el interventor lo estime conveniente, se deben tomar muestras para los ensayos que indica la Tabla 413 — 3 y se deben efectuar las respectivas pruebas.
- Verificar que el producto se maneja siguiendo las indicaciones sobre temperaturas establecidas en este artículo.

413.5.2 Controles específicos para el recibo y tolerancias

Al respecto, se deben adelantar las siguientes actividades:

- De cada carrotanque o viaje con asfalto modificado con GCR que llegue a la planta, se deben tomar dos (2) muestras, cada una con al menos un kilogramo (1 kg) (norma

INV E-701), en el momento del trasvase del material desde el vehículo de carga al tanque de almacenamiento. Sobre una de las muestras, por cuenta del constructor, se deben realizar los ensayos de penetración, punto de ablandamiento y viscosidad, y sobre la otra, en el caso de ser necesarios, los ensayos de contraste. Si los resultados de las pruebas de contraste no son satisfactorios, se rechaza el producto y las partidas de trabajo que eventualmente se hubiesen fabricado con él. Los laboratorios en donde se realicen los ensayos de contraste, deben ser empresas legalmente constituidas que cuenten con experiencia y/o trayectoria en ejecución de pruebas y ensayos de control de calidad de materiales, que puedan demostrar apropiadamente la competencia de su personal de laboratorio y cuyos informes de resultados contengan la aprobación y autorización para su emisión, mediante la firma del responsable técnico facultado para ello. El laboratorio debe contar con todo el equipamiento principal y auxiliar necesario para el correcto desempeño de sus actividades y asegurar que estos cuenten con la exactitud y precisión adecuadas para lograr resultados válidos. El laboratorio debe contar con un programa de calibración de sus equipos y se debe asegurar de que los resultados de la medición sean trazables al Sistema Internacional de Unidades (SI), mediante alguna de las siguientes alternativas:

- La calibración de los equipos proporcionados por un laboratorio de metrología acreditado por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC).
- La comparación directa o indirecta a patrones nacionales o internacionales que cuenten con unidades del SI.
- Los valores certificados de materiales de referencia (MRC) proporcionados por productores competentes con trazabilidad metrológica establecida al SI.

• Las muestras para contraste se deben guardar en recipientes metálicos cerrados con tapa, a temperaturas entre menos doce grados Celsius (- 12 °C) y menos dieciocho grados Celsius (- 18 °C) para mantener su consistencia en estado sólido y disminuir el deterioro de sus propiedades por efecto del tiempo de almacenamiento y de exposición al ambiente, durante el tiempo que se requiera, hasta la realización de los ensayos de contraste en laboratorio.

• Se debe controlar la calidad del cemento asfáltico original con que se elabora el cemento asfáltico modificado con GCR, según las disposiciones del artículo 410.

• El interventor debe exigir al constructor la realización de los ensayos necesarios para la comprobación de las características especificadas en la Tabla 413 — 3 con una frecuencia recomendada de una (1) vez cada mes y como mínimo tres (3) veces durante la ejecución de la obra. Para proyectos de duración inferior a un (1) mes, basta con la realización de una (1) sola comprobación. De igual manera debe revisar la granulometría del GCR.

• El proveedor del asfalto modificado con GCR debe entregar la clasificación por el sistema PG (*Performance Grade*), para este ligante y el asfalto original, acompañada de los resultados de los ensayos que la definen y establecida para cada despacho o suministro, según lo indicado en el numeral 413.2.4. No se acepta el empleo de suministros de cemento asfáltico que no estén respaldados por esta certificación del fabricante.

- Efectuar los ensayos necesarios para determinar la cantidad de cemento asfáltico modificado con GCR incorporado en las mezclas que el interventor haya aprobado.

No se admite tolerancia alguna en relación con los límites que se establecen en la Tabla 413 — 3 o en la especificación particular del proyecto. Por lo tanto, su incumplimiento implica el rechazo del producto.

413.6 Medida

La unidad de medida del cemento asfáltico modificado con GCR debe ser el kilogramo (kg), aproximado al kilogramo entero, incorporado en la mezcla asfáltica, debidamente aprobada por el interventor

Para determinar la cantidad de asfalto por pagar, se debe calcular la masa de la mezcla aceptada en su posición final, mediante el producto del volumen aprobado por su densidad media en obra en cada lote y, posteriormente, aplicando a este valor el porcentaje de asfalto promedio que resulte de los ensayos de extracción sobre muestras representativas del volumen de mezcla aceptada.

El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

413.7 Forma de pago

El pago se debe hacer al precio unitario del contrato por el cemento asfáltico modificado con GCR, efectivamente incorporado en la mezcla asfáltica en caliente aprobada por el interventor.

El precio unitario debe cubrir todos los costos de fabricación e incorporación del cemento asfáltico modificado con GCR, manejo, transporte y almacenamiento. Además, debe cubrir los costos por concepto de patentes, desperdicios y, en general, todo costo necesario para el correcto cumplimiento de esta especificación.

413.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
413.1	Cemento asfáltico modificado con GCR tipo I	Kilogramo (kg)
413.2	Cemento asfáltico modificado con GCR tipo II	Kilogramo (kg)
413.3	Cemento asfáltico modificado con GCR tipo III	Kilogramo (kg)

Suministro de cemento asfáltico modificado con polímeros

Artículo 414 – 22

414.1 Descripción

Esta especificación se refiere al suministro de cemento asfáltico modificado con polímeros para la fabricación de mezclas asfálticas que se elaboren con dicho producto, de conformidad con lo establecido en los artículos correspondientes de estas especificaciones.

414.2 Materiales

414.2.1 Definición

El cemento asfáltico modificado (CAM) con polímeros es un ligante hidrocarbonado resultante de la interacción física y/o química de polímeros con un cemento asfáltico, de los definidos en el artículo 410, Suministro de cemento asfáltico. Se consideran comprendidos dentro de este artículo, los cementos asfálticos modificados con polímeros suministrados a granel y los que se fabriquen en el lugar de empleo, en instalaciones específicas independientes.

Los cementos asfálticos modificados con polímeros deben presentar un aspecto homogéneo y estar prácticamente exentos de agua, de modo que no formen espuma cuando se calienten a la temperatura de empleo.

414.2.2 Designación y especificaciones

La designación del tipo de cemento asfáltico modificado con polímeros se debe realizar mediante la siguiente expresión:

$$P_{inf} / P_{sup} - T° \quad [414.1]$$

Donde:

P_{inf}, límite inferior de penetración del tipo de asfalto (25 °C, 100 g, 5 s) (0,1 mm).

P_{sup}, límite superior de penetración del tipo de asfalto (25 °C, 100 g, 5 s) (0,1 mm).

$T°$, punto de ablandamiento mínimo de la categoría (°C).

Las características básicas de los tipos de cementos asfálticos modificados con polímeros están indicadas en la Tabla 414 — 1.

El tipo CAM-1 define a un asfalto modificado de alta consistencia, recomendado para la manufactura de mezclas asfálticas de alto módulo (ver artículo 450, Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (Concreto asfáltico)).

El tipo CAM-4 se basa en las propiedades de cementos asfálticos convencionales modificados con etil-vinil-acetato (EVA), o polietileno de alta o baja densidad (HDPE, LDPE) entre otros, y se emplea en la elaboración de mezclas asfálticas de tipo drenante, en climas cálidos y vías con elevados índices de tránsito.

Los tipos CAM-2, CAM-3, CAM-5 y CAM-6 por lo general se basan en las propiedades de cementos asfálticos convencionales modificados con bloques de estireno-butadieno (SB) o estireno-butadieno-estireno (SBS). Se utilizan en mezclas asfálticas para carpetas delgadas y estructurales de pavimentos, con elevados índices de tránsito y de vehículos pesados, en climas fríos y cálidos. Los tipos CAM-2 y CAM-3 en general se deben aplicar en mezclas drenantes, discontinuas, y densas, semidensas y gruesas, en caliente. El tipo CAM-5 en mezclas discontinuas, y densas, semidensas y gruesas, en caliente y en zonas de altas exigencias; y el tipo CAM-6 se debe utilizar en la elaboración de mezclas antirreflectivas de grietas del tipo arena-asfalto o riegos en caliente para membranas de absorción de esfuerzos.

Tabla 414 — 1. Especificaciones del cemento asfáltico modificado con polímeros (Nota 1)

Característica	Norma de ensayo	Tipos de cementos asfálticos modificados con polímeros (Nota 2)					
		CAM-1	CAM-2	CAM-3	CAM-4	CAM-5	CAM-6
		15/40-65	40/70-58	55/70-58	55/70-58	55/70-65	80/130-60
Asfalto base original							
Penetración (25 °C, 100 g, 5 s) (0,1 mm)	INV E-706	Reportar los resultados de estas propiedades del asfalto base conforme al artículo 410					
Punto de ablandamiento (°C)	INV E-712						
Índice de penetración	INV E-724						
Viscosidad a 60 °C, mínima (Pa·s)	INV E-716 o INV E-717 o NTC 5117:2017						
Viscosidad a 135 °C, mínima (Pa·s)							
Ductilidad (25 °C, 5 cm/min), mínima (cm)	INV E-702						
Solubilidad en Tricloroetileno (%)	INV E-713						
Punto de inflamación mediante copa abierta de Cleveland, mínimo (°C)	INV E-709						

Característica	Norma de ensayo	Tipos de cementos asfálticos modificados con polímeros (Nota 2)					
		CAM-1	CAM-2	CAM-3	CAM-4	CAM-5	CAM-6
		15/40-65	40/70-58	55/70-58	55/70-58	55/70-65	80/130-60
Asfalto modificado fresco							
Penetración (25 °C, 100 g, 5 s) (0,1 mm)	INV E-706	15 — 40	40 — 70	55 — 70	55 — 70	55 — 70	80 — 130
Penetración (4 °C, 200 g, 5 s) (0,1 mm)	INV E-706	Reportar					
Punto de ablandamiento, mínimo (°C)	INV E-712	65	58	58	58	65	60
Ductilidad (5 °C, 5 cm/min), mínima (cm)	INV E-702	Reportar	15	15	Reportar	15	30
Viscosidad aparente a 135 °C (Pa·s)	ASTM D7741M	Reportar					
Viscosidad aparente a 175 °C (Pa·s)		Reportar					
Recuperación elástica por torsión a 25 °C, mínima (%)	INV E-727	15	40	40	15	70	70
Recuperación elástica por tensión a 25 °C, mínima (%)	UNE-EN 13398	Reportar					
Estabilidad al almacenamiento: cambio en el punto de ablandamiento, máximo (°C)	INV E-726	5	5	5	5	5	5
Contenido de agua, máximo (%)	INV E-704	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Punto de inflamación mediante la copa abierta Cleveland, mínimo (°C)	INV E-709	230	230	230	230	230	230
Resiliencia a 25 °C (%)	ASTM D5329	Reportar					
Residuo del ensayo de pérdida por calentamiento en película delgada rotatoria, norma de ensayo INV E-721 o ASTM D1754 (3,2 mm, 50 g, 163 °C) (Nota 3)							
Cambio de masa a 163 °C, máximo (%)	INV E-720	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Viscosidad a 135 °C (Pa·s)	ASTM D7741M	Reportar					

Característica	Norma de ensayo	Tipos de cementos asfálticos modificados con polímeros (Nota 2)					
		CAM-1	CAM-2	CAM-3	CAM-4	CAM-5	CAM-6
		15/40-65	40/70-58	55/70-58	55/70-58	55/70-65	80/130-60
Penetración del residuo, en porcentaje (%) de la penetración original, mínimo	INV E-706	70	50	65	65	65	60
Incremento en el punto de ablandamiento, máximo (°C)	INV E-712	10	10	10	10	10	10
Ductilidad (5 °C, 5 cm/min), mínima (cm)	INV E-702	Reportar	8	8	Reportar	8	15
Índice de envejecimiento: relación entre viscosidades a 135 °C, del asfalto residual y el asfalto original	NTC 5117:2017 o ASTM D7741M	Reportar					

Nota 1: estas especificaciones consideran el cambio en las propiedades y el efecto de envejecimiento a corto plazo, que experimenta el asfalto, en las diferentes etapas requeridas para la producción en fase húmeda del asfalto modificado con polímeros.

Nota 2: se pueden utilizar cementos asfálticos modificados con polímeros, diferentes a los citados en este numeral, siempre que se puedan clasificar según las exigencias respectivas de la Tabla 414 — 1. En caso contrario debe ser objeto de una especificación particular.

Nota 3: el método RTFO (norma INV E-720) puede ser empleado para obtener el asfalto modificado con polímeros residual para reemplazar al método TFOT (norma INV E-721), sin embargo, se mantiene el método TFOT como referencia para cuando se requiera dirimir los conflictos.

414.2.3 Especificaciones complementarias para el cemento asfaltico modificado con polímeros

Además de los ensayos básicos mencionados en la Tabla 414 — 1, el proveedor del cemento asfáltico modificado con polímeros debe entregar la clasificación de este ligante y la del original, por el sistema PG (*Performance Grade*), según la norma AASHTO M 320, *Standard Specification for Performance-Graded Asphalt Binder*, acompañada de los resultados de los ensayos respectivos que definen esta clasificación.

Los documentos del proyecto pueden establecer un requisito para la clasificación PG del asfalto modificado con polímeros. Si no lo establecen, para el asfalto original la clasificación debe ser como mínimo, PG 64 — 22 para los asfaltos de penetración 60 — 70, y PG 58 — 22 para el asfalto de penetración 80 – 100; para el asfalto modificado con polímeros, el rango de temperaturas de

la clasificación PG (máxima menos mínima) del asfalto modificado debe mostrar un incremento mínimo de seis grados Celsius (6 °C) con respecto al mismo rango en el asfalto original.

414.3 Equipo

En adición a las condiciones generales del numeral 400.3 del artículo 400, se debe tener en cuenta lo siguiente:

414.3.1 Vehículos de transporte

Cuando no se fabrique en el lugar de empleo, el transporte del cemento asfáltico modificado con polímeros desde la planta de producción a la planta mezcladora se debe efectuar en caliente y a granel, en carrotanques con adecuados sistemas de calefacción y termómetros ubicados en sitios visibles. Los vehículos deben estar dotados, además, de los medios mecánicos que permitan el rápido trasvase de su contenido a los depósitos de almacenamiento. Así mismo, deben disponer de dispositivos adecuados para la toma de muestras.

414.3.2 Depósitos de almacenamiento

Los materiales asfálticos modificados con polímeros deben ser almacenados en tanques, específicamente diseñados para ese propósito, con el fin de minimizar el posible endurecimiento durante el almacenamiento. Se deben considerar ciertos aspectos de diseño, para reducir el riesgo de sobrecalentar el asfalto. Los tanques deben estar provistos de sensores de temperatura instalados cerca de los dispositivos de calentamiento y de preferencia removibles para facilitar la limpieza y mantenimiento de rutina. Así mismo, los tanques deben disponer de una válvula adecuada para la toma de muestras.

Los materiales asfálticos modificados con polímeros se deben almacenar en depósitos adecuadamente ubicados, con la capacidad suficiente para recibir cada entrega, que reúnan los requisitos necesarios para evitar la contaminación de los productos que contengan, que estén protegidos contra incendios, fugas y pérdida excesiva de fracciones volátiles y que cuenten con los equipos adecuados para calentar el producto cuando así se requiera, como también con los elementos necesarios para su carga, descarga y limpieza.

Antes de utilizar los depósitos, estos deben ser limpiados cuidadosamente, eliminando natas o residuos de otros productos, materiales extraños o materiales asfálticos de tipo diferente al que se va a almacenar. Esta operación se debe repetir cada vez que sea necesario para evitar la contaminación del producto.

Cada depósito de almacenamiento se debe identificar, indicando en un lugar visible, su capacidad, el tipo de material asfáltico que contiene y, cuando se trate de recipientes, el origen del material y la fecha de producción. Asi mismo, para cada depósito el productor debe llevar un registro en el que se indiquen las fechas y los volúmenes de los suministros recibidos y de las salidas de material, así como documentar los resultados de las pruebas de verificación de la uniformidad para el asfalto contenido en cada tanque de almacenamiento; se requiere que la planta de suministro realice el registro histórico del control de producción y de los despachos de material, para que el interventor apruebe el

suministro del cemento asfáltico modificado con polímeros.

El tiempo máximo de almacenamiento y la necesidad o no de disponer de sistemas de homogeneización en los carrotanques y en los tanques de almacenamiento, se deben determinar en cada caso particular, de acuerdo con las características del asfalto modificado.

414.4 Ejecución de los trabajos

414.4.1 Recibo del producto

A la llegada de cada carrotanque al sitio de los trabajos, el constructor debe entregar al interventor una certificación expedida por el fabricante del cemento asfáltico modificado con polímeros, con la siguiente información:

- Tipo de cemento asfáltico modificado, de acuerdo con la denominación descrita en el numeral 414.2.2.
- Fechas de elaboración y despacho.
- Resultados de los ensayos de calidad efectuados sobre muestras representativas de la entrega, con la lista de verificación que muestre la conformidad con los requisitos establecidos en la Tabla 414 — 1.

No se acepta el empleo de suministros de cemento asfáltico modificado con polímeros que no se encuentren respaldados por la certificación del fabricante.

La certificación no evita la ejecución de ensayos de comprobación por parte del interventor, ni implica necesariamente la aceptación de la entrega. De todas maneras, el interventor se debe abstener de aceptar el empleo de suministros de cemento asfáltico modificado con polímeros que no se encuentren respaldados por la certificación del fabricante.

Con la frecuencia que el interventor considere pertinente, se deben comprobar los sistemas de transporte y trasvase, las condiciones de almacenamiento y el asfalto modificado, en todo cuanto pueda afectar la calidad del material; el interventor puede ordenar la suspensión de la utilización del contenido del tanque o carrotanque, mientras se realizan las comprobaciones que este estime convenientes de las características de calidad del cemento asfáltico modificado con polímeros.

Cuando la fabricación del asfalto modificado se lleve a cabo en una instalación anexa a la planta asfáltica, el interventor debe definir los lotes de características homogéneas, de los que se deben tomar muestras representativas para la evaluación por parte del fabricante, según el procedimiento descrito en la norma INV E-701 y las respectivas normas de ensayo, para satisfacer las condiciones establecidas en este artículo.

El empleo del cemento asfáltico modificado en la elaboración de mezclas asfálticas se debe hacer conforme lo establece el artículo correspondiente a la partida de trabajo de la cual forme parte.

414.4.2 Manejo ambiental

Al respecto, rige el artículo 106, Aspectos ambientales, así como todo lo que resulte aplicable del numeral 400.4.7 del artículo 400 y lo establecido en la hoja de seguridad del producto.

414.5 Condiciones para el recibo del producto

414.5.1 Controles generales

Se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Verificar que, en las operaciones de suministro del cemento asfáltico modificado con polímeros, el constructor cumpla la legislación vigente en relación con los temas ambiental, de seguridad industrial, almacenamiento y transporte.
- Verificar el estado y funcionamiento de los equipos de transporte y almacenamiento del cemento asfáltico modificado con polímeros.
- Verificar que, durante el vaciado de los carrotanques, no se lleven a cabo manipulaciones que puedan afectar la calidad del producto, generar incendios o poner en riesgo la integridad de la flora o la seguridad de personas, bienes o animales.
- Tomar muestras para los ensayos que indica la Tabla 414 — 1, cada vez el interventor lo estime conveniente y efectuar las respectivas pruebas. Las muestras se deben tomar de acuerdo con el procedimiento indicado en la norma INV E-701.
- Verificar que no se produzca calentamiento excesivo del cemento asfáltico modificado con polímeros, antes de su mezcla con los agregados pétreos, que induzca la oxidación prematura del producto o la degradación del polímero, de manera tal que impida su ajuste a las exigencias del ítem en ejecución.

414.5.2 Controles específicos para el recibo y tolerancias

Al respecto, se deben adelantar las siguientes actividades:

- De cada carrotanque de asfalto modificado con polímeros que llegue a la planta se deben tomar dos (2) muestras, cada una con al menos un kilogramo (1 kg) (norma INV E-701), en el momento del trasvase del material del carrotanque al tanque de almacenamiento. Sobre una de las muestras se deben realizar los ensayos de penetración, punto de ablandamiento y viscosidad, y con la otra, en caso de ser necesario, se deben llevar a cabo los ensayos de contraste. Si los resultados de las pruebas de contraste no son satisfactorios, se debe rechazar el producto y las partidas de trabajo que eventualmente se hubiesen fabricado con este. Los laboratorios en donde se realicen los ensayos de contraste, deben ser empresas legalmente constituidas que cuenten con experiencia y/o trayectoria en ejecución de pruebas y ensayos de control de calidad de materiales, que puedan demostrar apropiadamente la competencia de su personal de laboratorio y cuyos informes de resultados contengan la aprobación y autorización para su emisión, mediante la firma del responsable técnico facultado para ello. El laboratorio debe contar con todo el equipamiento principal y auxiliar necesario para el correcto desempeño de sus actividades y asegurar que estos cuenten con la exactitud y precisión adecuadas para lograr resultados válidos. El laboratorio debe contar con un programa de calibración de sus equipos y se debe asegurar de que los resultados

de la medición sean trazables al Sistema Internacional de Unidades (SI), mediante alguna de las siguientes alternativas:

- La calibración de los equipos proporcionados por un laboratorio de metrología acreditado por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC).
- La comparación directa o indirecta a patrones nacionales o internacionales que cuenten con unidades del SI.
- Los valores certificados de materiales de referencia (MRC) proporcionados por productores competentes con trazabilidad metrológica establecida al SI.

- Las muestras de contraste se deben guardar en recipientes metálicos cerrados con tapa a una temperatura aproximada, entre menos doce grados Celsius (- 12 °C) y menos dieciocho grados Celsius (- 18 °C), para mantener su consistencia en estado sólido y disminuir el deterioro de sus propiedades por el tiempo de almacenamiento y de exposición al ambiente, hasta cuando se requiera para la realización de los ensayos de laboratorio.
- El interventor debe exigir la realización de los ensayos necesarios para la comprobación de las características especificadas en la Tabla 414 — 1 con una frecuencia recomendada, de una (1) vez cada mes y como mínimo tres (3) veces, durante la ejecución de la obra. Para proyectos con duración inferior a un (1) mes, basta con la realización de una (1) sola comprobación. En el desarrollo de estas actividades no se admite tolerancia alguna en relación con los límites que se establecen en la Tabla 414 — 1 o en la especificación particular del proyecto, por tanto, su incumplimiento implica el rechazo del producto.
- El proveedor del asfalto modificado con polímeros debe entregar la clasificación por el sistema PG (*Performance Grade*), para este ligante y el asfalto original, acompañada de los resultados de los ensayos que la definen y realizada para cada despacho o suministro, según lo establecido en el numeral 414.2.3. No se acepta el empleo de suministros de cemento asfáltico modificado que no estén respaldados por la certificación del fabricante.
- Efectuar los ensayos necesarios para determinar la cantidad de cemento asfáltico modificado con polímeros incorporado en las mezclas que el interventor haya aprobado.

El interventor puede verificar en cualquier momento el cumplimiento del cemento asfáltico modificado con polímeros suministrado, en cualquiera de los requisitos de calidad establecidos en esta especificación, siendo motivo de rechazo el incumplimiento de cualquiera de ellos.

414.6 Medida

Para pago, el cemento asfáltico modificado con polímeros se debe medir en aquellas unidades de obra en que el artículo correspondiente a la unidad de la que forme parte indique que su suministro se debe pagar por separado. En este caso, la unidad de medida del cemento asfáltico modificado con polímeros debe ser el kilogramo (kg), aproximado al kilogramo entero, incorporado en la mezcla asfáltica debidamente aprobada por el interventor.

Para determinar la cantidad de asfalto por pagar, se debe calcular la masa de la mezcla aprobada en su posición final, mediante

el producto del volumen aprobado por su densidad media en obra en cada lote y, posteriormente, aplicando a este valor el porcentaje de asfalto promedio que resulte de los ensayos de extracción sobre muestras representativas del volumen de mezcla aprobada. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

414.7 Forma de pago

En aquellas unidades de obra en que el artículo indique que el suministro de cemento asfáltico se debe pagar por separado, el pago se debe hacer al precio unitario del contrato, por el cemento asfáltico modificado con polímeros, efectivamente incorporado en la mezcla asfáltica, en su posición final, debidamente aprobada por el interventor.

El precio unitario debe incluir todos los costos de suministro en obra del cemento asfáltico modificado con polímeros, manejo, almacenamiento, calentamiento y transportes entre la planta de producción del asfalto y el sitio de colocación final. Además, debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor, así como por concepto de patentes, desperdicios y, en general, todo costo necesario para el correcto cumplimiento de esta especificación.

414.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
414.1	Cemento asfáltico modificado con polímeros tipo CAM-4	Kilogramo (kg)
414.2	Cemento asfáltico modificado con polímeros tipo CAM-2	Kilogramo (kg)
414.3	Cemento asfáltico modificado con polímeros tipo CAM-3	Kilogramo (kg)
414.4	Cemento asfáltico modificado con polímeros tipo CAM-5	Kilogramo (kg)
414.5	Cemento asfáltico modificado con polímeros tipo CAM-6	Kilogramo (kg)
414.6	Cemento asfáltico modificado con polímeros tipo CAM-1	Kilogramo (kg)

Suministro de emulsión asfáltica catiónica modificada con polímeros

Artículo 415 – 22

415.1 Descripción

Esta especificación se refiere al suministro de una emulsión asfáltica modificada con polímeros, de tipo catiónico y características de rotura apropiadas, en el sitio de ejecución de riegos de liga, tratamientos superficiales, micro-aglomerados, sellos de arena-asfalto, lechadas asfálticas, reciclados en frío e instalación de geotextiles y geomallas para repavimentación, construidos de acuerdo con lo establecido en la especificación correspondiente al ítem en ejecución y conforme a las exigencias de la presente especificación.

415.2 Materiales

415.2.1 Definición

La emulsión asfáltica catiónica modificada con polímeros es una dispersión de pequeñas partículas de asfalto y de un polímero, en una solución de agua y un agente emulsificante de carácter catiónico, lo cual determina la denominación de la emulsión. Al poner en contacto esta emulsión con el material pétreo, se produce un desequilibrio que ocasiona su rotura, llevando a las partículas del asfalto a adherirse a la superficie del material pétreo. Las emulsiones asfálticas catiónicas se deben fabricar a base de cemento asfáltico modificado de los definidos en el artículo 414, o a base de un cemento asfáltico de los definidos en el artículo 410 más un polímero. Deben presentar un aspecto homogéneo y una adecuada dispersión del cemento asfáltico en la fase acuosa.

415.2.2 Designación

Para efectos de la aplicación de este artículo y de las presentes Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras, la denominación del tipo de emulsión asfáltica se compone de la letra C, representativa del emulsificante catiónico utilizado en su fabricación, seguida de las letras RR, RM o RL según sea su tipo de rotura (rápida, media o lenta). A continuación de las letras anteriores debe haber un guion y el número 60, 65 o 57, indicativo del contenido de asfalto residual empleado en la emulsión. La letra *h*, que acompaña la denominación de las emulsiones de rotura lenta, indica que se trata de una emulsión de alta estabilidad. La condición de emulsión modificada se indica, en todos estos tipos de emulsión, con la letra *m* al final de la sigla correspondiente.

Las emulsiones asfálticas modificadas con polímeros deben cumplir con los requisitos de calidad establecidos en la Tabla 415 — 1.

415.3 Equipo

415.3.1 Vehículos de transporte

El transporte de la emulsión asfáltica modificada con polímeros desde la planta de fabricación hasta el sitio de colocación se debe realizar a granel, en carrotanques que no requieran de aislamientos térmicos ni de calefacción. Los vehículos deben estar dotados de los medios mecánicos que permitan el rápido traslado de su contenido a los depósitos de almacenamiento. Así mismo, deben disponer de un elemento adecuado para la toma de muestras.

Las emulsiones bituminosas de rotura lenta, para micro-aglomerados y reciclados en frío, se deben transportar en carrotanques llenos o al menos al noventa por ciento (> 90 %) de su capacidad, preferiblemente a temperatura ambiente y siempre a una temperatura inferior a cincuenta grados Celsius (< 50 °C), para evitar posibles roturas parciales de la emulsión durante el transporte.

415.3.2 Depósitos de almacenamiento

El almacenamiento que requiera la emulsión asfáltica modificada con polímeros antes de su uso se debe realizar en tanques cilíndricos verticales, con tuberías de fondo para carga y descarga, las cuales se deben encontrar en posiciones diametralmente opuestas. Los tanques deben tener bocas de ventilación para evitar que trabajen a presión y deben contar con los aparatos de medición y seguridad necesarios para garantizar su correcto funcionamiento, situados en puntos de fácil acceso. Así mismo, deben disponer de una válvula adecuada para la toma de muestras.

Además, los tanques deben estar provistos de elementos que permitan la agitación y la recirculación de la emulsión, cuando esta se deba almacenar por un período de tiempo mayor de cinco días (> 5 d) o de otro método aprobado por el interventor.

Cuando los tanques de almacenamiento no dispongan de medios de carga propios, los carrotanques empleados para el transporte de la emulsión asfáltica modificada con polímeros deben estar dotados de medios neumáticos o mecánicos apropiados para el trasvase rápido de su contenido a los tanques.

Todas las tuberías directas y bombas, preferiblemente rotativas, utilizadas para el trasvase de la emulsión asfáltica, desde el carrotanque de transporte al tanque de almacenamiento y desde este al equipo de aplicación en obra o mezclador, deben estar dispuestas de modo que se puedan limpiar fácil y perfectamente, después de cada aplicación o jornada de trabajo.

Tabla 415 — 1. Especificaciones de emulsiones asfálticas catiónicas modificadas con polímeros

Ensayos sobre la emulsión	Norma de ensayo INV	Tipo de rotura (Nota)				
		Rápida			Media	Lenta
		CRR-60m		CRR-65m	CRM-60m	CRL-57hm
Destilación: - Contenido de asfalto residual (%) - Contenido de disolventes (%)	E-762	Mín. Máx.	60 3	65 3	60 12	57 0
Contenido de agua en volumen (%)	E-761	Máx.	40	35	40	43
Viscocidad: - Saybolt-Furol a 25 °C (s)	E-763	Máx.	-	-	-	100
- Saybolt-Furol a 50 °C (s)		Mín. Máx.	20 100	20 300	20 450	- -
Estabilidad durante el almacenamiento: - Sedimentación a 24 h (%) - Sedimentación a los 5 días (%)	E-764	Máx. Máx.	1 5	1 5	1 5	1 5
Tamizado Retenido tamiz de 0,850 mm (nro. 20) (%)	E-765	Máx.	0,1	0,1	0,1	0,1
Rotura: - Dioctisulfosuccinato sódico (%) - Mezcla con cemento (%)	E-766 E-770	Mín. Máx.	40 -	40 -	- -	- 2
Carga eléctrica de la partícula	E-767	-	Positiva			
pH	E-768	Máx.	5	5	5	5
Cubrimiento del agregado y resistencia al desplazamiento: - Con agregado seco - Con agregado seco y acción del agua - Con agregado húmedo - Con agregado húmedo y acción del agua	E -769		- - - -	Buena Satisfactoria Satisfactoria Satisfactoria	- - - -	- - - -
Ensayos sobre el residuo de destilación						
Penetración (25 °C, 100 g, 5 s) (0,1 mm)	E-706	Mín. Máx.	60 — 100 100 — 250	60 — 100 100 — 250	100 250	60 100
Punto de ablandamiento (°C)	E-712	Mín.	55 — 45	55 — 45	40	55 — 45
Ductilidad (5 °C, 5 cm/min) (cm)	E-702	Mín.	10	10	10	10
Recuperación elástica por torsión 25 °C (%)	E-727	Mín.	12	12	12	12

Nota: el tipo de rotura se establece de acuerdo con lo indicado en las normas de ensayo ASTM D244 e INV E-767.

415.4 Ejecución de los trabajos

415.4.1 Recibo del producto

A la llegada de cada carrotanque al sitio de los trabajos, el constructor debe entregar al interventor una certificación expedida por el fabricante de la emulsión modificada, con la siguiente información:

- Tipo de emulsión asfáltica y velocidad de rotura.
- Fechas de elaboración y despacho.
- Resultados de los ensayos de calidad efectuados sobre muestras representativas de la entrega, con la lista de verificación que muestre la conformidad con los requisitos establecidos en la Tabla 415 — 1.

No se debe aceptar el empleo de suministros de emulsión asfáltica modificada que no se encuentren respaldados por la certificación del fabricante. Esta certificación no evita la ejecución de ensayos de comprobación por parte del interventor, ni implica necesariamente la aceptación de la entrega. De todas maneras, el interventor se debe abstener de aceptar el empleo de suministros de emulsión asfáltica modificada que no se encuentren respaldados por la certificación del fabricante.

Con la frecuencia que el interventor considere pertinente, se deben comprobar los sistemas de transporte y trasvase y las condiciones de almacenamiento, en todo cuanto pueda afectar la calidad del material; el interventor puede ordenar la suspensión de la utilización del contenido del tanque o carrotanque, mientras realiza las comprobaciones que estime convenientes de las características de calidad de la emulsión asfáltica modificada con polímeros.

El empleo de la emulsión asfáltica modificada con polímeros en la elaboración de riegos de liga, tratamientos superficiales, lechadas asfálticas y mezclas abiertas en frío se debe hacer de conformidad con lo establecido en la especificación correspondiente a la partida de trabajo de la cual forma parte.

415.4.2 Manejo ambiental

Al respecto, rige el artículo 106, Aspecto ambientales, así como todo lo que resulte aplicable del numeral 400.4.7 del artículo 400.

415.5 Condiciones para el recibo del producto

415.5.1 Controles generales

Se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Verificar que, en las operaciones de suministro de la emulsión asfáltica modificada con polímeros, el constructor cumpla la legislación vigente, en relación con las materias ambiental, de seguridad industrial, almacenamiento y transporte.
- Verificar el estado y el funcionamiento de los equipos de transporte y de almacenamiento de la emulsión asfáltica modificada con polímeros.
- Verificar que, durante el vaciado de los carrotanques, no se lleven a cabo manipulaciones que puedan afectar la calidad del producto, generar incendios o poner en riesgo la integridad de la flora ni la seguridad de personas, bienes o animales.

De cada carrotanque de emulsión bituminosa que llegue a la obra se deben tomar dos (2)

muestras de, al menos, dos kilogramos (2 kg), en el momento del trasvase del material del carrotanque al tanque de almacenamiento, de acuerdo con la norma INV E-701, para realizar los ensayos que indica la Tabla 415 — 1.

415.5.2 Controles específicos para el recibo y tolerancias

Al respecto, el interventor debe llevar a cabo las siguientes acciones:

- Comprobar, mediante muestras representativas de cada entrega, el tipo de emulsión, su contenido de asfalto residual y sobre el residuo de evaporación se debe hacer la determinación de su penetración, punto de ablandamiento y recuperación elástica por torsión.
- Guardar, en todos los casos, una muestra para eventuales ensayos ulteriores de contraste, cuando alguna de las partes manifieste inconformidad con los resultados iniciales.
- Exigir al constructor la realización de los ensayos necesarios para la comprobación de las características especificadas en la Tabla 415 – 1, con una frecuencia recomendada de una (1) vez cada mes y como mínimo de tres (3) veces durante la ejecución de la obra. Para proyectos con duración inferior a un (1) mes, basta con la realización de una (1) sola comprobación.
- Indicar las medidas a adoptar en el caso en que la emulsión modificada con polímeros no cumpla alguna de las características establecidas en la Tabla 415 — 1.
- Efectuar los ensayos necesarios para determinar la cantidad de emulsión asfáltica modificada con polímeros incorporada en riegos de liga, tratamientos superficiales, lechadas asfálticas y mezclas abiertas en frío.
- Realizar como mínimo sobre dos (2) muestras, si la emulsión bituminosa hubiese estado almacenada durante un lapso superior a quince días (> 15 d) antes de su empleo, una de la parte superior y otra de la inferior del tanque de almacenamiento, el ensayo de tamizado, según la norma INV E-765 y el ensayo de contenido de ligante, de acuerdo con la norma INV E-762. Si no cumple lo establecido para esta característica, se debe proceder a su homogeneización y a la realización de nuevos ensayos, o a su retirada por rechazo si los resultados de estos últimos no resultan satisfactorios. El almacenamiento de quince días (15 d), se debe reducir a cinco días (5 d), cuando se trate de emulsiones con rotura lenta.

415.6 Medida

La unidad de medida de la emulsión asfáltica modificada con polímeros debe ser el litro (L), aproximado al litro entero, de emulsión incorporada en las mezclas ejecutadas, aprobadas por el interventor. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida para cada uno de los ítems, empleando el método de redondeo indicado por la norma INV E-823.

Debido a que al aplicarse la emulsión en obra se pierde el agua que contiene, la determinación de la cantidad de emulsión realmente utilizada se debe hacer a partir de la masa de la mezcla aceptada en su posición final, la cual se obtiene multiplicando el volumen aprobado por la densidad media obtenida en obra en cada lote. A la masa así determinada,

se le debe aplicar el porcentaje promedio de asfalto que resulte de los ensayos de extracción sobre muestras representativas de la mezcla aceptada.

Como este valor corresponde únicamente a asfalto residual, su conversión a emulsión asfáltica modificada con polímeros se debe realizar de acuerdo con la concentración de esta. Por último, la conversión de masa de emulsión a volumen se debe realizar considerando la densidad de un kilogramo por litro (1 kg/L). Para efectos de pago, se debe considerar siempre una emulsión asfáltica con una concentración del sesenta por ciento (60 %); por lo tanto, si la emulsión suministrada y utilizada tiene una concentración diferente, se debe hacer la conversión correspondiente mediante la siguiente expresión:

$$\begin{pmatrix}\text{Volumen}\\ \text{para pago}\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}\text{Volumen}\\ \text{aplicado}\end{pmatrix} * \frac{C}{60\ \%} \quad [415.1]$$

Donde:

C, concentración de la emulsión empleada, en porcentaje.

No debe haber medida, para efectos de pago separado, de la emulsión asfáltica modificada con polímeros utilizada en riegos de liga, tratamientos superficiales simples o dobles, lechadas asfálticas e instalación de geotextiles y geomallas para repavimentación.

415.7 Forma de pago

El pago se debe hacer al precio unitario del contrato, por la emulsión asfáltica modificada con polímeros, efectivamente incorporada en las mezclas en su posición final, aprobadas por el interventor.

El precio unitario debe cubrir todos los costos de suministro de la emulsión modificada con polímeros en obra, manejo, almacenamiento y transportes entre la planta de fabricación de la emulsión y el sitio de colocación final. Además, debe cubrir los costos por concepto de administración e imprevistos y la utilidad del constructor, así como de patentes, desperdicios y en general, todo costo necesario para el correcto cumplimiento de esta especificación.

No debe haber ningún pago separado por concepto de la emulsión asfáltica modificada con polímeros cuando sea incorporada en riegos de liga (artículo 421), tratamientos superficiales (artículo 430), sello de arena-asfalto (artículo 432), lechada asfáltica (artículo 433), mezclas asfálticas en frío (densas o abiertas) (artículo 440), reciclado de pavimentos asfálticos *in situ* empleando ligantes bituminosos (artículo 461) e instalación de geotextiles y geomallas para repavimentación (artículo 464).

415.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
415.1	Emulsión asfáltica de rotura media modificada con polímeros, CRM-60m	Litro (L)
415.2	Emulsión asfáltica de rotura rápida modificada con polímeros, CRR-60m	Litro (L)
415.3	Emulsión asfáltica de rotura rápida modificada con polímeros, CRR-65m	Litro (L)
415.4	Emulsión asfáltica de rotura lenta modificada con polímeros, CRL-57hm	Litro (L)

Suministro de asfalto líquido para riegos de imprimación

Artículo 416 – 22

416.1 Descripción

Esta especificación se refiere al suministro en el sitio, del asfalto líquido por utilizar en la elaboración de riegos de imprimación, de acuerdo con lo establecido en el artículo 420.

416.2 Materiales

416.2.1 Definición

El asfalto líquido es un ligante hidrocarbonado resultante de incorporar a un cemento asfáltico, de los definidos en el artículo 410, fracciones líquidas más o menos volátiles procedentes de la destilación del petróleo.

416.2.2 Designación y especificaciones

La designación del asfalto líquido para riegos de imprimación se define con las letras MC, indicativas de curado medio, por la incorporación del queroseno como solvente, seguidas por un número 30 que identifica la viscosidad mínima del producto a sesenta grados Celsius (60 °C), medida en centistokes (cSt). Sus características de calidad deben ser las indicadas en la Tabla 416 — 1.

416.3 Equipo

En adición a lo que resulte pertinente del numeral 400.3 del artículo 400, es aplicable lo siguiente:

416.3.1 Vehículos de transporte

El transporte del asfalto líquido para riegos de imprimación desde la planta de fabricación hasta el sitio de colocación se debe realizar a granel, en carrotanques que no requieran aislamientos térmicos ni calefacción. Los vehículos deben estar dotados de los medios mecánicos que permitan el rápido traslado de su contenido a los depósitos de almacenamiento. Así mismo, deben disponer de un elemento adecuado para la toma de muestras.

Tabla 416 — 1. Especificaciones del asfalto líquido para riegos de imprimación

Característica	Unidad	Norma de ensayo INV	MC 30	
			Mín.	Máx.
Punto de inflamación (Copa abierta de Tag.)	°C	E-710	38	-
Viscosidad a 60 °C	cSt (Pa·s)	E-715/E-717	30 (0,03)	60 (0,06)
Viscosidad Saybolt-Furol a 25 °C	s	E-714	75	150

Característica	Unidad	Norma de ensayo INV	MC 30	
			Mín.	Máx.
Destilación: Destilado (porcentaje (%) sobre el volumen total destilado hasta 360 °C): - A 225 °C - A 260 °C - A 316 °C	 % % %	E-723	 - 40 75	 25 70 93
Residuo de destilación a 360 °C (porcentaje (%) en volumen por diferencia)	%	E-723	50	60
Ensayos sobre el residuo de la destilación				
Penetración (25 °C, 100 g, 5 s)	0,1 mm	E-706	120	300
Ductilidad (25 °C, 5 cm/min)	cm	E-702	100	-
Solubilidad en tricloroetileno	%	E-713	99,5	100

416.3.2 Depósitos de almacenamiento

El almacenamiento que requiera el asfalto líquido, antes de su aplicación para los riegos de imprimación, se debe realizar en tanques adecuados para tal fin, con bocas de ventilación para evitar que trabajen a presión, lejos de fuentes de calor e ignición, y deben contar con los aparatos de medición y protección contra incendios, fugas y pérdida excesiva de solventes para garantizar su correcto funcionamiento, situados en puntos de fácil acceso. Así mismo, deben disponer de una válvula adecuada para la toma de muestras.

Cuando los tanques de almacenamiento no dispongan de medios de carga propios, los carrotanques empleados para el transporte del asfalto líquido deben estar dotados de medios neumáticos o mecánicos apropiados para el trasvase rápido de su contenido a los tanques. Cuando se empleen bombas de trasvase, se deben preferir las de tipo rotativo a las centrífugas. El trasvase desde el carrotanque al tanque de almacenamiento se debe realizar siempre por tubería directa.

Todas las tuberías usadas para el trasvase del asfalto líquido para imprimación, del carrotanque al tanque de almacenamiento y de este al equipo de empleo, deben estar dispuestas de manera que se puedan limpiar fácilmente después de cada aplicación y/o jornada de trabajo.

416.4 Ejecución de los trabajos

416.4.1 Recibo del producto

A la llegada de cada carrotanque al sitio de los trabajos, el constructor debe entregar al interventor una certificación expedida por el fabricante del asfalto líquido, con la siguiente información:

- Tipo de asfalto líquido, tipo de solvente y velocidad de curado.
- Fechas de elaboración y despacho.
- Resultados de los ensayos de calidad efectuados sobre muestras representativas de la entrega, con la lista de verificación que muestre la conformidad con los requisitos establecidos en la Tabla 416 — 1.

No se debe aceptar el empleo de suministros de asfalto líquido que no se encuentren respaldados por la certificación correspondiente dada por el fabricante.

La certificación no implica necesariamente la aceptación del producto, ni evita que el interventor pueda ordenar la verificación de su calidad mediante los ensayos indicados en la Tabla 416 — 1, conforme se indica en el numeral 416.5.2.

Con la frecuencia que el interventor considere pertinente, se deben comprobar los sistemas de transporte y trasvase y las condiciones de almacenamiento, en todo cuanto pueda afectar la calidad del material. El interventor puede ordenar la suspensión de la utilización del contenido del tanque o carrotanque, mientras se realizan las comprobaciones que estime convenientes de las características de calidad del asfalto líquido.

El asfalto líquido para riegos de imprimación solamente puede ser empleado en la ejecución de la partida de trabajo a la cual se refiere el artículo 420.

416.4.2 Manejo ambiental

Al respecto, rige el artículo 106, Aspectos ambientales, y todo lo que resulte aplicable del numeral 400.4.7 del artículo 400 y lo establecido en la hoja de seguridad del producto.

416.5 Condiciones para el recibo del producto

416.5.1 Controles generales

Se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Verificar el cumplimiento de la legislación vigente en relación con las materias ambiental, de seguridad industrial, almacenamiento y transporte.
- Verificar el estado y el funcionamiento de los equipos de transporte y almacenamiento del asfalto líquido para riegos de imprimación.
- Verificar que, durante el vaciado de los carrotanques, no se lleven a cabo manipulaciones que puedan afectar la calidad del producto, generar incendios o poner en riesgo la integridad de la flora ni la seguridad de personas, bienes o animales.
- Cada vez el interventor lo estime conveniente, se deben tomar muestras para los ensayos que indica la Tabla 416 — 1 y se deben efectuar las respectivas pruebas. Las muestras se deben tomar de acuerdo con el procedimiento indicado en la norma INV E-701.

416.5.2 Controles específicos para el recibo y tolerancias

Se deben adelantar los siguientes controles principales:

- En el momento del trasvase del asfalto líquido de cada carrotanque al tanque de almacenamiento, se deben tomar dos (2) muestras representativas, de al menos un litro (1 L) cada una, de acuerdo con el procedimiento descrito en la norma INV E-701 y sobre una de ellas se deben realizar los ensayos de viscosidad Saybolt-Furol (norma INV E-714), destilación (norma INV E-723) y penetración sobre el residuo de destilación (norma INV E-706), conservando la otra muestra para eventuales ensayos ulteriores de contraste, en caso de

que alguna de las partes manifieste inconformidad con los resultados iniciales. Si los resultados de las pruebas de contraste no son satisfactorios en alguna de las características, se debe rechazar el producto y los riegos que eventualmente se hubiesen fabricado con este.

- El interventor debe exigir la realización de los ensayos necesarios para la comprobación de las características especificadas en la Tabla 416 — 1 con una frecuencia recomendada de una (1) vez cada mes y como mínimo tres (3) veces durante la ejecución de la obra. Para proyectos con duración inferior a un (1) mes, basta la realización de una (1) sola comprobación.

416.6 Medida

No debe haber lugar a medida, para efectos de pago separado, del asfalto líquido destinado a la ejecución de riegos de imprimación.

416.7 Forma de pago

No debe haber pago separado por el asfalto líquido para la ejecución de riegos de imprimación. Por lo tanto, todos los costos que implique el suministro en el sitio, patentes, manejo, almacenamiento, desperdicios, cargues, descargues, aplicación en la obra y cualquier otro costo requerido para la correcta ejecución de la imprimación, deben estar incluidos dentro del precio unitario del ítem correspondiente, en el artículo 420.

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

Fibras sintéticas de aramida y poliolefina de refuerzo para mezcla asfáltica

Artículo 418 - 22

418.1 Descripción

Este trabajo consiste en la elaboración, transporte, colocación y compactación, de una o más capas de mezcla asfáltica con adición de fibras sintéticas de aramida y poliolefina (método de vía seca) preparada y colocada de acuerdo con esta especificación y de conformidad con los alineamientos, las cotas, las secciones y los espesores indicados en los documentos del proyecto.

Las fibras sintéticas de aramida y poliolefina son formuladas para reforzar mezclas asfálticas, mediante el control del agrietamiento térmico, reflejado y de fatiga, minimizando la formación de ahuellamiento y aumentando la vida útil de los pavimentos asfálticos.

Los documentos del proyecto establecen los tipos y calidades de las capas asfálticas que componen la estructura.

418.2 Materiales

418.2.1 Fibras sintéticas de aramida y poliolefina

Se permite la incorporación de fibras sintéticas de aramida y poliolefina, siempre y cuando se presenten informes técnicos que determinen su dosificación.

Los informes deben reportar las mejoras obtenidas en el desempeño, en los procesos productivos, en los procesos constructivos, en la durabilidad o en las prestaciones mecánicas, demostrando un comportamiento que justifique la relación costo/beneficio, al ser comparada la mezcla modificada respecto a la mezcla patrón sin incorporación de dichas fibras sintéticas.

El comportamiento mecánico de la mezcla con incorporación de fibras sintéticas de aramida y poliolefina, se considera lo que resulte aplicable de lo indicado en los artículos 450, 451, 452, 453, 462, y 467P, según el tipo de mezcla asfáltica utilizada.

Además, el uso de estos productos debe ser respaldado con las respectivas fichas técnicas y hojas de seguridad proporcionadas por el fabricante para contar con la aprobación del interventor.

Las fibras sintéticas de aramida y poliolefina seleccionadas deben ser recomendadas y suministradas por el constructor, y su dosificación y dispersión homogénea debe ser controlada y verificada en la planta para tener la aprobación del interventor.

Las propiedades de las fibras sintéticas de aramida y poliolefina se establecen en la Tabla 418-1. Es responsabilidad del constructor verificar la calidad y durabilidad de las fibras sintéticas de aramida y poliolefina, sus características técnicas hacen parte integral de las especificaciones del proyecto.

Tabla 418-1 Propiedades físicas de las fibras de aramida y poliolefina

Material	Poliolefina	Aramida
Forma	Cortadas	Monofilamentos
Tamaño (mm)	19	19
Densidad (g/cm^3)	0,90 – 0,92	1,44 - 1,47
Resistencia Ácida/Alcalina	Neutral	Buena
Temperatura de descomposición (ºC)	n/a (Nota)	427
Absorción	_	Nula

Nota: A temperaturas superior a ~100°C las fibras de poliolefina se derriten y cambian a un estado viscoso.

El constructor con los estudios realizados a la mezcla con y sin adición de fibras sintéticas de aramida y poliolefina, debe garantizar que su incorporación no produce ningún efecto nocivo a los agregados, al ligante asfáltico o a la mezcla. Cualquier efecto adverso en el comportamiento del pavimento que se derive del empleo de las fibras sintéticas, es de responsabilidad exclusiva del constructor, quien debe efectuar todas las reparaciones que requiera la mezcla compactada, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías (INVIAS), de acuerdo con las indicaciones del interventor y hasta ser aprobado por este.

418.2.2 Dosis de las fibras sintéticas de aramida y poliolefina

La dosis de las fibras sintéticas de aramida y poliolefina debe ser definida en laboratorio en el proceso de diseño y verificación de la mezcla, la dosificación inicial debe ser la proporcionada por el fabricante en kilogramo por tonelada de mezcla asfáltica. Este proceso de diseño debe suministrar la fórmula de trabajo con el contenido óptimo de fibras sintéticas y los parámetros mecánicos de evaluación de desempeño de esa mezcla asfáltica como son: módulo dinámico, resistencia retenida a la tensión diametral (susceptibilidad al agua), deformación plástica (características de ahuellamiento), resistencia a la fisuración (fatiga de la mezcla), que permitan realizar una comparación con los parámetros de la mezcla asfáltica sin adición de fibras ponderando sus beneficios en conjunto con la validación de campo, para contar con la aprobación del interventor.

418.3 Equipo

Al respecto, se considera lo que resulte aplicable de lo indicado en el artículo 400.

Para la compactación, se deben poner a disposición de los trabajos, como mínimo, un (1) compactador vibratorio de rodillos metálicos o mixtos y uno (1) de llantas neumáticas.

418.4 Ejecución de los trabajos

Para la ejecución de los trabajos se considera lo que resulte aplicable de lo indicado en los artículos 450, 451, 452, 453, 462, y 467P, según el tipo de mezcla asfáltica utilizada.

Las mezclas asfálticas en caliente con incorporación de fibras sintéticas de aramida y poliolefina se diseñan por el método correspondiente a cada tipo de mezcla, especificados en: artículo 450, Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (concreto asfáltico), artículo 451, Mezcla abierta en caliente, artículo 452, Mezcla discontinua en caliente para capa de rodadura (microaglomerado en caliente), articulo 453, Mezcla drenante, artículo 462, Reciclado de pavimento asfáltico en planta y en caliente, artículo 467P, Mezcla asfáltica en caliente con cemento asfáltico modificado con grano de caucho reciclado (GCR).

418.4.1 Desarrollo de pruebas de laboratorio

Se debe proceder a la caracterización de la mezcla asfáltica con incorporación de fibras sintéticas de aramida y poliolefina siguiendo los procedimientos establecidos en los artículos 450, 451,452, 453, 462 o 467P.

418.4.2 Adición de las fibras sintéticas de aramida y poliolefina

La maquinaria requerida, para la adición de las fibras sintéticas de aramida y poliolefina.

418.4.2.1 Adicionar las fibras sintéticas en plantas discontinuas

Se determina la cantidad (en kilogramos) de fibras sintéticas de aramida y poliolefina que se deben adicionar al mezclador de la planta discontinua o tipo “batch”, dependiendo de la capacidad de producción en toneladas de mezcla asfáltica, y según la dosis de fibras sintéticas indicada en el diseño (kilogramo de fibras por tonelada de mezcla asfáltica).

Se adicionan las fibras sintéticas de aramida y poliolefina directamente en el mezclador, al momento que los agregados pétreos caen del compartimiento de pesaje hacia el mezclador.

Se debe programar un tiempo de mezclado en seco de los agregados pétreos con las fibras sintéticas de siete (7) a diez (10) segundos. Ninguna otra modificación es necesaria.

Durante la producción a la salida de la mezcla asfáltica del mezclador, el constructor debe verificar que las fibras sintéticas han sido distribuidas de manera uniforme y homogénea en la mezcla asfáltica, de lo contrario, se necesita ajustar los tiempos de mezclado descritos anteriormente.

418.4.2.2 Adicionar las fibras sintéticas en plantas continuas de tambor mezclador

Para adicionar las fibras sintéticas de aramida y poliolefina en una planta continua (planta de tambor secador-mezclador), las fibras se suministran después de la llama del tambor secador, pero antes del ingreso del cemento asfaltico. Dependiendo del modelo de la planta continua en uso, se recomienda utilizar uno de los siguientes métodos para adicionar las fibras:

- Directamente al ingreso del Pavimento Reciclado (RAP).
- Vía tubería y con inyector a presión de aire, en el tambor secador después de la llama, pero antes del ingreso del cemento asfáltico.
- Si la planta tiene un mezclador externo (ejemplo: planta de marca Ciber o similar), las fibras sintéticas se adicionan a la salida de los agregados del tambor secador durante su descargue al mezclador.
- Las fibras pueden ser adicionadas de manera continua o por bolsa, dependiendo del tipo de planta y del tiempo de mezclado de la mezcla asfáltica en caliente. Se debe seguir las instrucciones dadas por el interventor y el proveedor al revisar la planta.

Durante el proceso de producción y a la salida del tambor mezclador de la mezcla asfáltica, el constructor debe verificar que las fibras sintéticas han sido distribuidas de manera uniforme y homogénea, documentando el proceso de fabricación e incluyendo los resultados de verificación de uniformidad.

De lo contrario, se recomienda ajustar los tiempos de mezclado según las recomendaciones y aprobación del interventor y del proveedor.

418.4.2.3 Manejo ambiental

Al respecto rige el artículo 106, Aspectos ambientales, así como todo lo que resulte aplicable del numeral 400.4.7 del artículo 400.

418.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

Rige lo que resulte aplicable del numeral 400.5.1 del artículo 400 y lo indicado en el artículo 450, 451, 452, 453, 462 o 467P, según el tipo de mezcla asfáltica utilizado.

418.6 Medida

La unidad de medida de las fibras sintéticas de aramida y poliolefina será el kilogramo (kg), aproximado al kilogramo completo, incorporado en la mezcla asfáltica, debidamente aceptada por el interventor.

Rige lo descrito en el artículo 400 y, en particular, en el numeral 400.6.2. Para bacheos, se aplica lo especificado en el numeral 400.6.3 del mismo artículo.

418.7 Forma de pago

El pago se debe hacer al precio unitario del contrato por la cantidad de fibras sintéticas de aramida y poliolefina incorporadas en la mezcla asfáltica en caliente, debidamente aceptada por el interventor.

Rige lo descrito en el artículo 400 y en particular en el 400.7.3.

418.8 Item de pago

Ítem	Descripción	Unidad
418-1	Fibras sintéticas de aramida y poliolefina	kilogramo

Riego de imprimación

Artículo 420 – 22

420.1 Descripción

Este trabajo consiste en el suministro, el transporte, el eventual calentamiento y la aplicación uniforme de una emulsión asfáltica o un asfalto líquido sobre una superficie granular (no tratada) terminada, previamente a la extensión de una capa asfáltica o un tratamiento bituminoso, con el propósito de impermeabilizar, cubrir, ligar las partículas sueltas y proveer adhesión entre la capa existente y la capa asfáltica siguiente. El riego también se puede aplicar a bermas construidas en material granular y a sus taludes.

Eventualmente, el trabajo incluye también, el suministro y la aplicación de un agregado fino sobre la imprimación para absorber eventuales excesos del material de imprimación o para la protección de la superficie imprimada, cuando se requiera.

420.2 Materiales

420.2.1 Material bituminoso

Los documentos del proyecto deben indicar el tipo de material bituminoso, de los presentados en la Tabla 420 — 1, que debe ser utilizado para el riego de imprimación.

Tabla 420 — 1. Materiales bituminosos para el riego de imprimación

Tipo de material	Denominación	Requisitos
Emulsión asfáltica	Emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta tipo CRL-40	Artículo 411
	Emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta tipo CRL-57	
Asfalto líquido	Asfalto líquido MC 30	Artículo 416

Cuando se emplee emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta tipo CRL-57, esta se debe diluir en agua, hasta que tenga una concentración aproximada de cuarenta por ciento (40 %).

420.2.2 Agregado de protección

El agregado de protección de la superficie imprimada se define como aquel material que se aplica sobre el riego de imprimación, en una capa de pequeño espesor, de manera que brinde protección en caso de estar expuesto al tránsito inmediatamente después de su aplicación. Este material debe ser arena natural, arena de trituración o una mezcla de ambas, la cual debe estar exenta de terrones de arcilla u otros materiales objetables. Sus características deben ser las mismas que se exigen a los agregados para el sello de arena-asfalto, según el

artículo 432, exceptuándose los requisitos de durabilidad, angularidad y adhesividad (método de Riedel-Weber).

420.3 Equipo

Además de lo que se indica a continuación, rige lo descrito en el numeral 400.3 del artículo 400.

Para los trabajos de imprimación se requieren elementos mecánicos de limpieza, carrotanques irrigadores de asfalto y, eventualmente, distribuidores mecánicos de agregados.

420.3.1 Equipo de limpieza

El equipo para la limpieza previa de la superficie donde se deba aplicar el riego de imprimación debe estar constituido por una barredora mecánica de tipo rotatorio y/o una sopladora mecánica, autopropulsadas o arrastradas por tractor, equipos que se utilizan siempre que las autoridades ambientales autoricen su empleo. Como equipo adicional, se puede utilizar compresores y escobas y demás implementos que el interventor autorice y que cumplan las disposiciones ambientales vigentes, especialmente en lo que refiere al manejo del material particulado, y protección del personal y la comunidad.

420.3.2 Equipo de irrigación

El carrotanque irrigador debe aplicar el producto asfáltico para imprimación de manera uniforme y constante, a la temperatura apropiada, sin que lo afecte la carga, la pendiente de la vía o la dirección del vehículo. Sus dispositivos de irrigación deben proporcionar una distribución transversal adecuada del ligante. El vehículo debe estar provisto de un velocímetro calibrado en metros por segundo (m/s), o pies por segundo (pie/s), visible al conductor, para mantener la velocidad constante y necesaria que permita la aplicación uniforme del asfalto en sentido longitudinal.

El carrotanque debe aplicar el producto asfáltico a presión y para ello debe disponer de una bomba de impulsión, accionada por motor y provista de un indicador de presión. También debe estar provisto de un termómetro para el ligante, cuyo elemento sensible no se pueda encontrar cerca de un elemento calentador, y debe estar calibrado. Previo al inicio de las labores, el interventor debe verificar la calibración del equipo o requerir que el constructor presente la documentación que certifique dicha calibración, en cuyo caso la misma no puede ser superior a un año.

Para áreas inaccesibles al equipo irrigador y para retoques y aplicaciones mínimas, se debe usar una caldera regadora portátil, con sus elementos de irrigación a presión, o una extensión del carrotanque, con una boquilla de expansión que permita un riego uniforme. Por ningún motivo, se debe permitir el empleo de regaderas u otros dispositivos de aplicación manual por gravedad.

420.3.3 Equipo de distribución de agregado

Para la aplicación del agregado de protección se deben emplear distribuidores mecánicos, acoplados a un camión o autopropulsados, que permitan la aplicación homogénea de la arena. Previa autorización del interventor, el agregado se puede aplicar manualmente en

sitios puntuales o de difícil acceso para el equipo de distribución mecánica.

420.4 Ejecución de los trabajos

420.4.1 Preparación de la superficie existente

Antes de autorizar los trabajos de imprimación, se debe comprobar que la superficie sobre la cual se va a efectuar la aplicación cumpla todos los requisitos especificados, en cuanto a conformación, compactación y acabado de la capa granular a la cual corresponda.

Si la superficie presenta fallas o imperfecciones, tales como ahuellamientos, corrugaciones, segregaciones, agua libre, encharcada u otras, el constructor debe proceder a corregirlas, hasta contar con la aprobación del interventor.

En el momento de la aplicación, la capa granular sobre la cual se va a aplicar la emulsión no debe tener exceso de humedad; la humedad debe ser cercana a la óptima de compactación, e idealmente debe estar dos (2) puntos de porcentaje por debajo de la misma. Para tal fin, la humedad debe ser medida entre los cinco y los quince milímetros (5 mm – 15 mm) superiores de la capa, acorde con los métodos de ensayo aceptados.

La superficie que ha de recibir el riego de imprimación se debe limpiar cuidadosamente de polvo, barro seco, suciedad y cualquier material suelto que pueda ser perjudicial, utilizando el equipo de limpieza aprobado. En lugares inaccesibles a los equipos mecánicos, se permite el uso de escobas manuales.

La limpieza debe dejar a la vista las partículas gruesas sin soltarlas ni aflojarlas.

420.4.2 Determinación de la dosificación del ligante

La dosificación del ligante depende del tipo de producto bituminoso, del sistema de aplicación y de las características superficiales de la capa granular por imprimar.

El constructor debe establecer la dosificación definitiva del ligante, con base en los resultados de las aplicaciones iniciales (tramos de prueba) y debe ser, salvo instrucción en contrario, aquella que sea capaz de absorber la capa que se imprima, en un lapso de veinticuatro horas (24 h), logrando una penetración no inferior a cinco milímetros (5 mm). El procedimiento para determinar la profundidad de penetración debe ser fijado de común acuerdo con el interventor. En climas fríos o húmedos, el lapso para garantizar la penetración indicada puede ser hasta de cuarenta y ocho horas (48 h). En consecuencia, los tiempos finales para garantizar la penetración requerida, deben ser definidos según las condiciones propias del proyecto.

Esta dosificación debe contar con la aprobación del interventor.

Como guía, las cantidades de producto bituminoso por aplicar pueden estar entre los siguientes valores, para una concentración del sesenta por ciento (60 %):

- Aplicación por riego de emulsión o asfalto líquido: 0,85 L/m^2 – 2,25 L/m^2.
- La cantidad de ligante residual no debe ser inferior a quinientos gramos por metro cuadrado (500 g/m^2).

Se aclara que, si bien es cierto, para una CRL-57, se indica una concentración aproximada de cuarenta por ciento (40 %), su dosificación debe garantizar la cantidad mínima de asfalto residual de quinientos gramos por metro cuadrado (500 g/m^2).

420.4.3 Aplicación del ligante bituminoso

La superficie debe ser humedecida mediante un rociado ligero previamente al riego de imprimación, con el fin de retrasar el rompimiento y mejorar la absorción. Este humedecimiento no debe ser excesivo. Los vacíos entre partículas no deben quedar llenos de agua.

La aplicación del ligante se debe hacer de manera suave y uniforme. Se deben evitar los traslapos en las juntas transversales que generan una dosificación excesiva de imprimante, para lo cual se deben colocar tiras de papel u otro material adecuado en las zonas de iniciación o terminación del trabajo, de manera que el riego comience y termine sobre estas.

La temperatura de aplicación debe ser tal, que la viscosidad del producto asfáltico se encuentre entre cinco y veinte segundos Saybolt-Furol (5 sSF – 20 sSF). Se debe especificar el rango de temperaturas correspondientes, según los ensayos de calidad efectuados por el proveedor de la emulsión y suministrados al inicio de las labores.

Antes de iniciar cada jornada de trabajo, se debe verificar la uniformidad del riego, y, de ser necesario, se debe ajustar la altura del carro tanque irrigador, de tal forma que la base del abanico que se forma al salir el material por una boquilla cubra hasta la mitad o las dos terceras partes de la base del abanico contiguo (cubrimiento doble o triple). Si fuere necesario, se deben calentar las boquillas de irrigación antes de cada descarga. La bomba y la barra de distribución se deben limpiar al término de la jornada.

En las zonas donde se presenten insuficiencias o excesos de material bituminoso, el constructor debe corregir la anormalidad mediante la adición de ligante o agregado de protección, respectivamente, según la indicación del interventor y hasta contar con su aprobación, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS).

En los casos en que, por las condiciones de la obra, se deba efectuar el riego por franjas, debe existir una pequeña superposición de dicho riego en toda la junta longitudinal.

No se permite transitar sobre la superficie imprimada ni colocar capas de rodadura, base asfáltica o tratamientos, hasta que lo autorice el interventor, quien se debe basar en los tiempos mínimos requeridos para garantizar la penetración, la eliminación de agua y el cumplimiento de la dosificación establecida según el asfalto residual.

El constructor debe proteger adecuadamente los elementos susceptibles de ser manchados por el ligante tales como sardineles, árboles, vallas y similares antes de aplicar el riego.

420.4.4 Determinación de la dosificación del agregado de protección

La dosificación del agregado de protección debe ser la mínima necesaria para absorber los excesos de ligante o para garantizar la protección

de la imprimación, cuando la capa imprimada deba soportar la acción del tránsito automotor. En ningún caso, la cantidad de agregado debe exceder de trece coma seis kilogramos por metro cuadrado (13,6 kg/m^2) o el equivalente a seis litros por metro cuadrado (6 L/m^2). La dosificación definitiva del agregado de protección se debe establecer como resultado de la aplicación de las pruebas iniciales realizadas en la obra.

420.4.5 Extensión del agregado de protección

La extensión eventual del agregado de protección se debe realizar por instrucción del interventor, cuando sea necesario permitir la circulación del tránsito automotor sobre la imprimación o donde se advierta que parte de ella no ha sido absorbida veinticuatro horas (24 h) después de aplicado el ligante.

El agregado se debe extender con el equipo aprobado y, en el momento de la aplicación, su humedad no puede exceder de cuatro por ciento (4 %).

Se debe evitar el contacto de las ruedas del distribuidor del agregado con la imprimación sin cubrir. En caso de extender el agregado sobre una franja imprimada sin que lo hubiera sido la adyacente, se debe dejar sin cubrir una zona de aquella de unos quince a veinte centímetros (15 cm – 20 cm), junto a la zona que se encuentra sin imprimar.

420.4.6 Control del tránsito

Se debe prohibir todo tipo de tránsito sobre la superficie imprimada, mientras no se haya absorbido todo el ligante o, en caso de que se haya extendido el agregado de protección, dentro de las cuatro horas (4 h) siguientes a la aplicación de este. Una vez permitida la circulación, la velocidad de los vehículos no debe exceder de treinta kilómetros por hora (30 km/h).

420.4.7 Limitaciones en la ejecución

No se debe permitir la aplicación de riegos de imprimación cuando la temperatura ambiente a la sombra y la de la superficie sean inferiores a cinco grados Celsius (5 °C) o haya lluvia o fundados temores de que ella ocurra. Tampoco se deben aplicar riegos cuando la velocidad del viento impida que la aplicación de material asfáltico sea uniforme.

La aplicación del riego de imprimación debe estar coordinada con la puesta en obra de la capa superpuesta a este, de manera que el ligante no haya perdido su efectividad como elemento de unión. Cuando el interventor lo estime necesario, se debe aplicar otro riego de imprimación, sin costo adicional para INVÍAS, si la pérdida de efectividad de la imprimación anterior es imputable al constructor.

Los trabajos de aplicación del riego de imprimación se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que resulte adecuado, y que cuente con la aprobación del interventor. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para

completar el trabajo en el tiempo especificado, por lo cual debe operar únicamente durante las horas de luz solar.

420.4.8 Reparaciones

Todo daño de la superficie imprimada atribuible a descuido, falta de previsión o negligencia del constructor, debe ser reparado por este, sin costo adicional para INVÍAS y hasta ser aprobado por el interventor.

420.4.9 Manejo ambiental

Al respecto, rige el artículo 106, Aspecto ambientales, así como todo lo que resulte aplicable del numeral 400.4.7 del artículo 400.

420.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

420.5.1 Controles

Rige todo lo que resulte aplicable del numeral 400.5.1 del artículo 400.

420.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

420.5.2.1 Calidad del producto asfáltico

A la llegada de cada carrotanque al sitio de los trabajos, el constructor debe entregar al interventor una certificación expedida por el fabricante de la emulsión asfáltica o del asfalto líquido, donde se indiquen las fechas de elaboración y despacho, así como los resultados de los ensayos de calidad efectuados sobre muestras representativas de la entrega, los cuales deben satisfacer todas las condiciones establecidas en los artículos 411 o 416 (Suministro de emulsión asfáltica catiónica y Suministro de asfalto líquido para riegos de imprimación, respectivamente), dependiendo de si el producto asfáltico es una emulsión o un asfalto líquido.

El interventor se debe abstener de aceptar el empleo de suministros de emulsión asfáltica o asfalto líquido que no se encuentren respaldados por la certificación del fabricante.

Dicha constancia no debe reemplazar, en ningún caso, a la ejecución de ensayos de comprobación, ni implica necesariamente la aceptación final de la entrega.

Se deben efectuar las verificaciones exigidas en el numeral 411.5.2 del artículo 411 a las muestras representativas de las diversas entregas, si se trata de una emulsión asfáltica o en el numeral 416.5.2 del artículo 416, si es un asfalto líquido. En todos los casos, el interventor debe guardar una muestra para ensayos ulteriores de contraste, por si se presentan dudas o desacuerdos entre las partes sobre los resultados iniciales.

En relación con los resultados de las pruebas, no se debe admitir ninguna tolerancia sobre los límites establecidos en la Tabla 411 — 1 del artículo 411, o en la Tabla 416 —1 del artículo 416, según se trate de una emulsión asfáltica o un asfalto líquido, respectivamente.

420.5.2.2 Calidad del agregado de protección

Rige lo indicado en el numeral 432.5.2.2 del artículo 432.

Adicionalmente, el constructor es responsable de solicitar al proveedor los datos de procedencia del material, entre los que se registran, como mínimo: ubicación del lugar de extracción, fuente, roca de origen, certificado de calidad del material que incluyan

ensayos mínimos de limpieza y granulometría, identificación del vehículo que transporta, así como fecha y hora de recepción.

420.5.2.3 Dosificación

Se debe considerar como lote, que se acepta o rechaza en conjunto, la menor área que resulte de aplicar los siguientes criterios:

- Quinientos metros (500 m) de calzada imprimada.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m^2) de calzada imprimada.
- La superficie imprimada en un día de trabajo.

La dosificación del asfalto se puede comprobar al verificar el volumen del producto dentro del carrotanque distribuidor antes y después de su aplicación, mediante la norma de ensayo INV E-818. También se puede comprobar mediante el pesaje de bandejas metálicas u hojas de papel resistente, colocadas durante la aplicación del ligante en no menos de cinco (5) puntos del área considerada como lote, ubicados al azar, según la norma de ensayo INV E-730, pero de manera que se realice al menos una (1) prueba por hectómetro.

La dosificación del agregado de protección, cuando su utilización sea ordenada por el interventor, se debe comprobar mediante el pesaje de bandejas metálicas, según la norma de ensayo INV E-819, en no menos de cinco (5) puntos del área considerada como lote, ubicados al azar según la norma de ensayo INV E-730, pero de manera que se realice al menos una (1) prueba por hectómetro.

Las tasas medias de aplicación de ligante residual (*TML*) y de agregados (*TMA*) por lote, no pueden variar en más de quince por ciento (15 %) de las autorizadas por el interventor (*TEL* y *TEA*).

$$0{,}85\ TEL \leq TML \leq 1{,}15\ TEL \quad [420.1]$$

$$0{,}85\ TEA \leq TMA \leq 1{,}15\ TEA \quad [420.2]$$

El interventor se debe abstener de aceptar lotes imprimados donde la dosificación media de ligante o agregados esté por fuera del rango especificado. Tampoco se debe aceptar un lote donde más de un punto de ensayo presente un resultado por fuera del límite citado.

El interventor debe determinar las medidas por adoptar cuando se presenten estos incumplimientos. El constructor debe ejecutar las medidas correctivas sin costo adicional para INVÍAS.

420.6 Medida

Rige lo pertinente del numeral 400.6 del artículo 400, y en particular lo indicado en el numeral 400.6.1.

420.7 Forma de pago

Rige lo pertinente del numeral 400.7 del artículo 400, y en particular lo indicado en el numeral 400.7.2.

No debe haber pago separado por el suministro y la extensión del agregado de protección.

420.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
420.1	Riego de imprimación con emulsión asfáltica CRL-40	Metro cuadrado (m^2)
420.2	Riego de imprimación con emulsión asfáltica CRL-57	Metro cuadrado (m^2)
420.3	Riego de imprimación con asfalto líquido MC 30	Metro cuadrado (m^2)

Riego de liga

Artículo 421 – 22

421.1 Descripción

Este trabajo consiste en el suministro, el transporte, el eventual calentamiento y la aplicación uniforme de un ligante asfáltico sobre losas de concreto o sobre una capa bituminosa, previamente a la extensión de otra capa bituminosa, que no sea un tratamiento superficial, un sello de arena-asfalto o una lechada asfáltica, con el objeto de lograr adherencia óptima entre las capas involucradas.

421.2 Materiales

421.2.1 Material bituminoso

Los documentos del proyecto deben indicar cuál de los materiales bituminosos indicados en la Tabla 421 — 1 debe ser utilizado para el riego de liga.

Tabla 421 — 1. Materiales bituminosos para riego de liga

Tipo de material	Denominación	Requisitos
Emulsión asfáltica	CRR-60 o CRR-65	Artículo 411
Emulsión asfáltica modificada con polímeros	CRR-60m o CRR- 65m	Artículo 415

Nota: en aquellos casos en los que alguna de las capas que se va a ligar contenga ligantes modificados, la emulsión que se va a emplear en el riego de liga debe ser del tipo modificada con polímeros.

421.3 Equipo

Además de lo que se indica a continuación, rige todo lo descrito en el numeral 400.3 del artículo 400.

Para los trabajos de riego de liga se requieren elementos mecánicos de limpieza, carrotanques irrigadores de asfalto y, eventualmente, sistemas de aplicación del riego, incorporados a los de extensión de las mezclas asfálticas.

El equipo para la limpieza previa de la superficie donde se va a aplicar el riego de liga, debe estar constituido por una barredora mecánica de tipo rotatorio y/o una sopladora mecánica, ambas autopropulsadas o arrastradas por tractor, equipos que se pueden utilizar siempre que las autoridades ambientales autoricen su empleo. Como equipo adicional, se pueden utilizar compresores, escobas, y demás implementos que el interventor autorice y que cumplan las disposiciones ambientales vigentes.

El carrotanque irrigador debe cumplir las exigencias mínimas que garanticen la aplicación uniforme y constante del producto asfáltico, a la temperatura apropiada, sin que lo afecte la carga, la pendiente de la vía o la dirección del vehículo. Sus dispositivos de irrigación deben proporcionar una distribución transversal adecuada del ligante. El vehículo debe estar provisto de un velocímetro calibrado en metros por segundo (m/s), o pies por segundo (pie/s), visible al conductor, para mantener la velocidad constante y necesaria que permita la aplicación uniforme del asfalto en sentido longitudinal.

El carrotanque debe aplicar el producto asfáltico a presión y para ello debe disponer de una bomba de impulsión, accionada por motor y provista de un indicador de presión. También, debe estar provisto de un termómetro para el ligante, cuyo elemento sensible no puede encontrarse cerca de un elemento calentador y debe estar calibrado. Previo al inicio de las labores, el interventor debe verificar la calibración del equipo o debe requerir que el constructor presente la documentación que certifique dicha calibración, en cuyo caso la misma no puede ser superior a un año.

Cuando el riego de liga se aplique previamente a la extensión de una mezcla asfáltica discontinua en caliente o una mezcla drenante, es deseable que el sistema de aplicación del riego se encuentre incorporado al de extensión de la mezcla asfáltica, de tal manera que se garantice una dosificación continua y uniforme de ambos.

Se debe usar una caldera regadora portátil, con sus elementos de irrigación a presión, o una extensión del carrotanque con una boquilla de expansión que permita un riego uniforme en algunas aplicaciones que autorice el interventor y para áreas inaccesibles al equipo irrigador y para retoques y aplicaciones mínimas.

Por ningún motivo se debe permitir la aplicación del riego de liga con regaderas, recipientes perforados, cepillos o cualquier otro dispositivo de aplicación manual por gravedad, que no garantice una aplicación completamente homogénea del riego de liga sobre la superficie por tratar.

421.4 Ejecución de los trabajos

421.4.1 Preparación de la superficie existente

La superficie sobre la cual se va a aplicar el riego de liga debe cumplir todos los requisitos de calidad y uniformidad exigidos, en condiciones para el recibo de los trabajos establecidos en los artículos 440, Mezclas asfálticas en frío (densa y abierta), 450, Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (Concreto asfáltico), 451, Mezcla abierta en caliente, y 453, Mezcla drenante, según corresponda, para que pueda recibir la capa asfáltica según lo contemplen los documentos del proyecto. De no ser así, el constructor debe realizar todas las correcciones previas que le indique el interventor.

La superficie se debe limpiar de polvo, barro seco, suciedad y cualquier material suelto que pueda ser perjudicial para el trabajo como grasa y/o combustible, empleando barredoras o sopladoras mecánicas, en sitios accesibles a ellas, si su uso está autorizado y escobas manuales donde aquellas no puedan acceder.

Cuando la superficie que va a recibir el riego de liga tenga un tiempo determinado en servicio, se deben eliminar los excesos de ligante que puedan existir previamente, mediante fresado, y se deben reparar todos los desperfectos que puedan impedir una correcta adherencia, tales como fisuras, baches, ahuellamientos, hundimientos y desprendimiento de agregados. Si la superficie es de concreto, se deben remover los excesos de sello de juntas y/o grietas.

Si la superficie está cubierta por un riego de curado, este se debe eliminar mediante barrido enérgico, seguido de soplo con aire comprimido u otro procedimiento aprobado por el interventor, una vez transcurrido el plazo de curado y antes de aplicar el riego de liga.

421.4.2 Determinación de la dosificación del ligante

El constructor debe establecer la dosificación definitiva del ligante, con base en los resultados de las pruebas iniciales en obra. Esta dosificación debe contar con la aprobación del interventor, para lo cual, se puede apoyar en los ensayos de adherencia entre capas UNE-EN 12697-48 SBT o NLT-382. En condiciones normales, las dosificaciones deben ser del orden de doscientos a trescientos gramos de ligante residual por metro cuadrado (200 g/m^2 – 300 g/m^2).

421.4.3 Aplicación del ligante bituminoso

La aplicación del ligante se debe efectuar con el equipo aprobado y a una temperatura tal, que dé lugar a una viscosidad Saybolt-Furol entre diez y cuarenta segundos (10 sSF – 40 sSF), de manera uniforme, evitando la doble aplicación en las juntas transversales. Se debe especificar el rango de temperaturas de aplicación correspondientes, según los ensayos de calidad efectuados por el proveedor de la emulsión y suministrados al inicio de las labores. Con este propósito se deben colocar tiras de papel o de otro material adecuado bajo los difusores, en aquellas zonas de la superficie en donde empiece y termine el riego, con el fin de que este se inicie o culmine sobre ellas y los difusores funcionen con normalidad sobre la zona por tratar.

En los casos en que, por las condiciones de la obra, se deba efectuar el riego por franjas, debe existir una pequeña superposición de dicho riego a lo largo de la junta longitudinal.

El riego solo se debe aplicar cuando la superficie esté seca y con la anticipación necesaria a la colocación de la capa bituminosa, para que presente las condiciones de adherencia requeridas.

Antes de iniciar cada jornada de trabajo, se debe verificar la uniformidad del riego. Si fuere necesario, se deben calentar las boquillas de irrigación antes de cada descarga. La bomba y la barra de distribución se deben limpiar al final de la jornada.

En las zonas donde se presenten insuficiencias o excesos de ligante, el constructor debe corregir la anormalidad, mediante la adición de ligante o arena limpia, según el caso, inmediatamente sea identificada la condición, sin costo para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) y hasta la aprobación del interventor.

El constructor debe proteger adecuadamente elementos tales como sardineles, árboles,

dispositivos de señalización, defensas y similares, susceptibles de ser manchados por el ligante, antes de aplicar el riego.

Se debe ajustar la altura del carro tanque irrigador, de tal forma que la base del abanico que se forma al salir el material por una boquilla cubra hasta la mitad o dos terceras partes de la base del abanico contiguo (cubrimiento doble o triple).

421.4.4 Control del tránsito

No se debe permitir transitar por la superficie sobre la cual se ha aplicado el riego de liga, sin la autorización del interventor, hasta que se haya producido la rotura de la emulsión en toda la superficie aplicada y siempre que no se verifique qué parte del riego de liga se adhiere a los neumáticos de los equipos. Todos los defectos que se generen o deriven de un incorrecto control del tránsito, deben ser corregidos por el constructor, acorde a las instrucciones del interventor y sin costo para INVÍAS.

421.4.5 Limitaciones en la ejecución

No se debe permitir la extensión del riego de liga sobre superficies con agua libre, o encharcada en momentos de lluvia, ni cuando haya fundado temor de que ella ocurra o cuando la temperatura ambiente a la sombra y la del pavimento sean inferiores a cinco grados Celsius (5 °C). Tampoco se deben aplicar riegos cuando la velocidad del viento impida que la aplicación de material asfáltico sea uniforme.

La aplicación del riego de liga debe estar coordinada con la puesta en obra de la capa superpuesta a este, de manera que el ligante no haya perdido su efectividad como elemento de unión, por lo que dicha actividad se debe ejecutar en un tiempo máximo de cuatro horas (4 h). Se debe esperar que el riego de liga cure completamente previo a la colocación de la capa siguiente. Cuando el interventor lo estime necesario, se debe aplicar otro riego de liga, cuyo costo lo debe asumir el constructor, si la pérdida de efectividad del riego anterior es imputable a este.

Los trabajos de aplicación del riego de liga se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo, en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que resulte adecuado, y que cuente con la aprobación del interventor. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y, por tanto, debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

421.4.6 Reparaciones

Todo daño de la superficie tratada atribuible a descuido, falta de previsión o negligencia del constructor, debe ser reparado por este, sin costo alguno para INVÍAS, y hasta contar con la aprobación del interventor.

421.4.7 Manejo ambiental

Al respecto, rige el artículo 106, Aspectos ambientales, así como todo lo que resulte aplicable del numeral 400.4.7 del artículo 400.

421.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

421.5.1 Controles

Rige lo indicado en el numeral 400.5.1 del artículo 400.

421.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

421.5.2.1 Calidad del material bituminoso

A la llegada de cada carrotanque al sitio de los trabajos, el constructor debe entregar al interventor una certificación expedida por el fabricante de la emulsión, donde se indiquen las fechas de elaboración y despacho, el tipo y la velocidad de rotura, así como los resultados de los ensayos de calidad efectuados sobre muestras representativas de la entrega, los cuales deben satisfacer todas las condiciones establecidas en los artículos 411, Suministro de emulsión asfáltica catiónica, o 415, Suministro de emulsión asfáltica catiónica modificada con polímeros, según sea el caso. El interventor se debe abstener de aceptar el empleo de suministros de emulsión asfáltica que no se encuentren respaldados por la certificación del fabricante. Dicha constancia no evita, en ningún caso, la ejecución de ensayos de comprobación por parte del interventor, ni implica necesariamente la aceptación de la entrega.

Además, sobre muestras representativas de las diversas entregas, se deben efectuar las verificaciones exigidas en el numeral 411.5.2 del artículo 411 o en el numeral 415.5.2 del artículo 415, dependiendo del material bituminoso utilizado para el riego. En todos los casos, el interventor debe guardar una muestra para ensayos ulteriores de contraste, por si hay dudas o desacuerdos entre las partes sobre los resultados iniciales.

En relación con los resultados de las pruebas, no se debe admitir ninguna tolerancia sobre los límites establecidos en la Tabla 411 — 1 del artículo 411 o en la Tabla 415 — 1 del artículo 415, respectivamente, según si la emulsión asfáltica utilizada es convencional o modificada con polímeros.

421.5.2.2 Dosificación

Se debe considerar como lote, que se acepta o rechaza en conjunto, la menor área que resulte de aplicar los siguientes criterios:

- Quinientos metros (500 m) de calzada con aplicación de riego de liga.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m^2) de calzada con aplicación de riego de liga.
- La superficie regada en un día de trabajo.

La dosificación del asfalto se puede comprobar verificando el volumen del producto dentro del carrotanque distribuidor antes y después de su aplicación, mediante la norma de ensayo INV E-818. También se puede comprobar mediante el pesaje de bandejas metálicas u hojas de papel resistente colocadas durante la aplicación del ligante en no menos de cinco (5) puntos del área considerada como lote, ubicados al azar, según la norma de ensayo INV E-730, pero de manera que se realice al menos una (1) prueba por hectómetro.

La tasa media de aplicación de ligante residual (*TML*) por lote, no puede variar en más de quince por ciento (15 %) de la autorizada por el interventor (*TEL*).

$$0{,}85\ TEL \leq TML \leq 1{,}15\ TEL \quad [421.1]$$

El interventor se debe abstener de aceptar lotes regados, donde la dosificación media de ligante esté por fuera del rango especificado. Tampoco se debe aceptar un lote donde más de un punto de ensayo presente un resultado por fuera del límite citado. El interventor debe determinar las medidas por adoptar cuando se presenten estos incumplimientos.

El constructor debe asumir el costo de los materiales, equipos y operaciones requeridos para la corrección de defectos o excesos en el riego de liga.

421.6 Medida

Rige lo pertinente del numeral 400.6 del artículo 400, y en particular lo indicado en el numeral 400.6.1.

421.7 Forma de pago

Rige lo pertinente del numeral 400.7 del artículo 400, y en particular lo indicado en el numeral 400.7.2.

421.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
421.1	Riego de liga con emulsión asfáltica CRR-60	Metro cuadrado (m^2)
421.2	Riego de liga con emulsión asfáltica CRR-65	Metro cuadrado (m^2)
421.3	Riego de liga con emulsión modificada con polímeros CRR-60m	Metro cuadrado (m^2)
421.4	Riego de liga con emulsión modificada con polímeros CRR-65m	Metro cuadrado (m^2)

Riego de curado

Artículo 422 – 22

422.1 Descripción

Este trabajo consiste en el suministro, el transporte, el eventual calentamiento y la aplicación uniforme de un ligante bituminoso sobre una capa tratada con un conglomerante hidráulico, con el fin de brindar impermeabilidad a toda su superficie y evitar la evaporación de agua necesaria para el correcto fraguado. El trabajo incluye también, eventualmente, el suministro y la aplicación de un agregado fino para la protección de la superficie con el riego.

422.2 Materiales

422.2.1 Material bituminoso

El ligante bituminoso por emplear debe ser una emulsión asfáltica catiónica de rotura rápida tipo CRR-60, la cual debe cumplir las condiciones indicadas en el artículo 411.

422.2.2 Agregado de protección

El agregado que eventualmente se deba colocar para la protección de la superficie con el riego es arena natural, arena de trituración o una mezcla de ambas, la cual debe estar exenta de terrones de arcilla u otros materiales objetables. Sus características deben ser las mismas que se exigen a los agregados para el sello de arena-asfalto, según el artículo 432; se exceptúan los requisitos de durabilidad, angularidad y adhesividad (método de Riedel-Weber).

422.3 Equipo

Rige todo lo descrito en el numeral 400.3 del artículo 400, así como lo que se indica en el numeral 420.3 del artículo 420, en relación con el equipo requerido para aplicar los riegos de imprimación.

422.4 Ejecución de los trabajos

422.4.1 Preparación de la superficie existente

Antes de autorizar el riego de curado, el interventor debe comprobar que la superficie sobre la cual se va a efectuar el riego cumpla todos los requisitos especificados, en cuanto a conformación, compactación y acabado de la capa a la cual corresponda.

En caso de que sobre la superficie por tratar se observen fallas o imperfecciones, tales como depresiones o baches aislados, el constructor debe corregir hasta ser aprobado por el interventor.

La superficie que va a recibir el riego de curado se debe limpiar cuidadosamente de polvo, barro seco, suciedad y cualquier material suelto que pueda ser perjudicial, mediante el equipo de limpieza aprobado. En lugares inaccesibles a los equipos mecánicos o donde su empleo no esté autorizado, se permite el uso de escobas manuales.

422.4.2 Determinación de la dosificación del ligante

El constructor debe establecer la dosificación definitiva del ligante como resultado de la aplicación de los riegos iniciales, la cual debe quedar definida por la cantidad que garantice la formación de una película continua, uniforme e impermeable de ligante. Esta dosificación debe contar con la aprobación del interventor. Dicha cantidad no debe ser inferior, en ningún caso, a cuatrocientos gramos por metro cuadrado (400 g/m^2) de ligante residual.

422.4.3 Aplicación del ligante bituminoso

En el momento de aplicar el riego, que en ningún caso puede exceder las cinco horas (5 h) después de terminada la compactación de la capa por curar, la superficie de la capa tratada debe ser humedecida previamente, sin llegar a la saturación.

La aplicación del ligante se debe hacer de manera uniforme, tanto longitudinal como transversalmente, y se debe evitar la duplicación en las juntas transversales, para lo cual se deben colocar tiras de papel u otro material adecuado en las zonas de iniciación o terminación del trabajo, de manera que el riego comience y termine sobre estas.

La temperatura de aplicación debe ser tal, que la viscosidad del producto asfáltico se encuentre entre diez y cuarenta segundos Saybolt-Furol (10 sSF – 40 sSF). Se debe especificar el rango de temperaturas correspondientes, según los ensayos de calidad efectuados por el proveedor de la emulsión y suministrados al inicio de las labores.

Antes de iniciar cada jornada de trabajo, se debe verificar la uniformidad del riego. Si fuere necesario, se deben calentar las boquillas de irrigación antes de cada descarga. La bomba y la barra de distribución se deben limpiar al término de la jornada. Si fuere necesario, con el fin de garantizar un total y uniforme cubrimiento del riego, se debe ajustar la altura del carrotanque irrigador, de tal forma que la base del abanico que se forma al salir el material por una boquilla cubra hasta la mitad o las dos terceras partes de la base del abanico contiguo (cubrimiento doble o triple).

En las zonas donde se presenten insuficiencias o excesos de material bituminoso, el constructor debe corregir la anormalidad, mediante la adición de ligante o agregado de protección, respectivamente, según la indicación del interventor y hasta contar con su aprobación, sin costo alguno para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS).

En los casos en que, por las condiciones de la obra, se deba efectuar el riego por franjas, debe existir una pequeña superposición de este, a lo largo de la junta longitudinal.

No se debe permitir transitar sobre la superficie tratada con el riego, ni la colocación de capas de rodadura, base asfáltica o tratamientos, hasta que lo autorice el interventor quien, además, debe fijar el plazo de curado, para lo cual se considera como mínimo el tiempo establecido para el curado de la capa estabilizada.

El constructor debe proteger los elementos susceptibles de ser manchados por el ligante, tales como sardineles, árboles, vallas y similares, antes de aplicar el riego.

422.4.4 Determinación de la dosificación del agregado de protección

La dosificación del agregado de protección debe ser la mínima necesaria para garantizar la integridad del riego de curado, cuando este deba, por condiciones eventuales o de emergencia, soportar la acción del tránsito automotor después de su aplicación y cuando el interventor lo considere necesario. En ningún caso, la cantidad de agregado debe exceder de trece coma seis kilogramos por metro cuadrado (13,6 kg/m^2) o seis litros por metro cuadrado (6 L/m^2).

La dosificación definitiva del agregado de protección se debe establecer como resultado de la aplicación de las pruebas iniciales realizadas en la obra.

422.4.5 Extensión del agregado de protección

La extensión eventual del agregado de protección se debe realizar por instrucción del interventor. El agregado se debe extender con el equipo aprobado, inmediatamente después de la aplicación del ligante. Su humedad, en el momento de la extensión, no puede exceder de cuatro por ciento (4 %).

Se debe evitar el contacto de las ruedas del distribuidor del agregado con el riego de curado sin cubrir. En caso de extender el agregado sobre una franja regada sin que lo hubiera sido la adyacente, se debe dejar sin cubrir una zona de aquella de unos quince a veinte centímetros (15 cm – 20 cm), junto a la zona que se encuentra sin tratar.

422.4.6 Control del tránsito

Se debe prohibir todo tipo de tránsito sobre la superficie tratada con el riego de curado durante el lapso que determine el interventor, considerando como mínimo el tiempo establecido para el curado de la capa estabilizada y/o la presencia de agregado de protección. Una vez permitida la circulación, la velocidad de los vehículos no debe exceder de treinta kilómetros por hora (30 km/h).

422.4.7 Limitaciones en la ejecución

Por ningún motivo se debe permitir la aplicación de riegos de curado cuando la temperatura ambiente a la sombra y la de la superficie sean inferiores a cinco grados Celsius (5 °C) o haya lluvia o fundados temores de que ella ocurra. Tampoco se deben aplicar riegos cuando la velocidad del viento impida que la aplicación de material asfáltico sea uniforme.

Los trabajos de aplicación del riego de curado se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que resulte adecuado, y que cuente con la aprobación del interventor. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

422.4.8 Reparaciones

Todo daño en el riego de curado atribuible a descuido, falta de previsión o negligencia por parte del constructor, debe ser reparado por este, sin costo alguno para INVÍAS, según la indicación del interventor y hasta contar con su aprobación.

422.4.9 Manejo ambiental

Al respecto, rige el artículo 106, Aspectos ambientales, así como todo lo que resulte aplicable del numeral 400.4.7 del artículo 400.

422.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

422.5.1 Controles

Rige todo lo que resulte aplicable del numeral 400.5.1 del artículo 400.

422.5.2 Condiciones específicas para el recibo y las tolerancias

422.5.2.1 Calidad de la emulsión

A la llegada de cada carrotanque al sitio de los trabajos, el constructor debe entregar al interventor una certificación expedida por el fabricante de la emulsión, donde se indiquen las fechas de elaboración y despacho, el tipo y la velocidad de rotura, así como los resultados de los ensayos de calidad efectuados sobre muestras representativas de la entrega, los cuales deben satisfacer todas las condiciones establecidas en la Tabla 411 — 1 del artículo 411. El interventor se debe abstener de aceptar el empleo de suministros de emulsión asfáltica que no se encuentren respaldados por la certificación del fabricante. Dicha constancia no evita, en ningún caso, la ejecución de ensayos de comprobación por parte del interventor, ni implica necesariamente la aceptación de la entrega.

Además, sobre muestras representativas de las diversas entregas, se deben efectuar las verificaciones exigidas en el numeral 411.5.2 del artículo 411. En todos los casos, el interventor debe guardar una muestra para ensayos ulteriores de contraste, por si hay dudas o desacuerdos entre las partes sobre los resultados iniciales.

En relación con los resultados de las pruebas, no se debe admitir tolerancia alguna sobre los límites establecidos en la Tabla 411 — 1 del artículo 411.

422.5.2.2 Calidad del agregado de protección

Rige lo indicado en el numeral 432.5.2.2 del artículo 432.

Adicionalmente, el constructor es responsable de solicitar al proveedor los datos de procedencia del material, entre los cuales se deben registrar como mínimo: ubicación del lugar de extracción, fuente, roca de origen, certificado de calidad del material que incluya ensayos mínimos de limpieza y granulometría, identificación del vehículo que transporta, así como fecha y hora de recepción.

422.5.2.3 Dosificación

Se debe considerar como lote, que se acepta o rechaza en conjunto, la menor área que resulte de aplicar los siguientes criterios:

- Quinientos metros (500 m) de calzada con riego de curado.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m^2) de calzada con riego de curado.
- La superficie cubierta con el riego en un día de trabajo.

La dosificación del asfalto se puede comprobar verificando el volumen del producto dentro del carrotanque distribuidor antes y después de su aplicación, mediante la norma de ensayo INV E-818; también se puede comprobar mediante el pesaje de bandejas metálicas u hojas de papel resistente, colocadas durante la aplicación del ligante o la extensión del agregado en no menos de cinco (5) puntos del área considerada como lote, ubicados al azar, según la norma de ensayo INV E-730, pero de manera que se realice al menos una (1) prueba por hectómetro.

La dosificación del agregado de protección, cuando su utilización sea ordenada por el interventor, se debe comprobar mediante el pesaje de bandejas metálicas, según la norma de ensayo INV E-819, en no menos de cinco (5) puntos del área considerada como lote, ubicados al azar según la norma de ensayo INV E-730, pero de manera que se realice al menos una (1) prueba por hectómetro.

Las tasas medias de aplicación de ligante residual (*TML*) y de agregados (*TMA*) por lote, no pueden variar en más de quince por ciento (15 %) de las autorizadas por el interventor (*TEL* y *TEA*).

$$0{,}85\ TEL \leq TML \leq 1{,}15\ TEL \quad [422.1]$$

$$0{,}85\ TEA \leq TMA \leq 1{,}15\ TEA \quad [422.2]$$

El interventor se debe abstener de aceptar lotes con riego de curado, donde la dosificación media de ligante o agregados esté por fuera del rango especificado. Tampoco se debe aceptar un lote donde más de un punto de ensayo presente un resultado por fuera del límite citado. El interventor debe determinar las medidas por adoptar cuando se presenten estos incumplimientos.

El constructor debe asumir el costo de los materiales, equipos y operaciones requeridos para corregir los defectos o los excesos en el riego de curado y/o en el agregado de protección.

422.6 Medida

No debe haber lugar a medida, para efecto de pago separado, del riego de curado que se aplique sobre una capa tratada con un conglomerante hidráulico.

422.7 Forma de pago

No debe haber pago separado por el riego de curado. Por tanto, todos los costos que impliquen el suministro de los materiales requeridos y la ejecución de los trabajos objeto del presente artículo, deben formar parte del precio unitario de la capa tratada con conglomerante hidráulico que se está protegiendo.

Tratamientos superficiales

Artículo 430 – 22

430.1 Descripción

Este trabajo consiste en la aplicación de sucesivas aplicaciones de material bituminoso sobre una superficie preparada, seguido por la extensión y la compactación de sendas capas de agregado pétreo, de acuerdo con esta especificación y de conformidad con los alineamientos, las cotas y las secciones indicados en los documentos del proyecto. Dichos trabajos solo se pueden ejecutar en vías, con niveles de tránsito NT1 y NT2.

De acuerdo con el número de aplicaciones de riegos de material bituminoso y agregado pétreo, estos reciben el nombre de simple (una aplicación) y doble (dos aplicaciones). Los tratamientos superficiales simples se deben denotar - TSS y los tratamientos superficiales dobles - TSD.

Si los documentos del proyecto establecen la necesidad de colocar un sello de protección, este se debe construir de acuerdo con el artículo 432, Sello de arena-asfalto.

430.2 Materiales

430.2.1 Agregados pétreos

Los agregados pétreos deben cumplir los requisitos generales señalados en el numeral 400.2.1 del artículo 400, y los requisitos particulares de la Tabla 430 — 1.

Tabla 430 — 1. Requisitos de los agregados para tratamientos superficiales

Característica	Norma de ensayo INV	Nivel de tránsito	
		NT1	NT2
Dureza, agregado grueso (O)			
Desgaste en la máquina de Los Ángeles, máximo (%): - 500 revoluciones - 100 revoluciones	E-218	 25 5	 25 5
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	E-238	-	25
Coeficiente de pulimento acelerado, mínimo	E-232	45	45
Durabilidad (O)			
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio, agregado grueso, máximo (%)	E-220	18	18
Limpieza, agregado grueso (F)			
Impurezas en agregado grueso, máximo (%)	E-237	0,5	0,5

Característica	Norma de ensayo INV	Nivel de tránsito	
		NT1	NT2
Geometría de las partículas, agregado grueso (F)			
Índices de alargamiento y aplanamiento, máximo (%)	E-230	30	30
Caras fracturadas, mínimo (%): una cara / dos caras	E-227	75 / -	75 / 60
Adhesividad (O)			
Bandeja, mínimo (%)	E-740	80	80
Limpieza, gradación combinada (F)			
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-126	NP	NP
Equivalente de arena, mínimo (%). (Nota)	E-133	50	50
Valor de azul de metileno, máximo (Nota)	E-235	10	10

Nota: el equivalente de arena debe ser el del agregado finalmente obtenido mediante la combinación de las distintas fracciones, según las proporciones determinadas en la fórmula de trabajo. En caso de que no se cumpla el valor mínimo de equivalente de arena señalado, el agregado se acepta si su equivalente de arena es superior a cuarenta por ciento (40 %) y, simultáneamente, el valor de azul de metileno, determinado mediante la norma de ensayo INV E-235, es inferior a diez (10).

Los agregados deben presentar una gradación ajustada a alguna de las franjas indicadas en la Tabla 430 — 2.

La franja por utilizar debe corresponder a la establecida en los documentos del proyecto. Se pueden emplear otras franjas, si así lo establecen las especificaciones particulares del proyecto.

El material que produce el constructor debe dar lugar a una curva sensiblemente paralela a los límites de la franja por utilizar, sin saltos bruscos de la parte superior de un tamiz a la inferior del tamiz adyacente y viceversa.

Tabla 430 — 2. Gradaciones para tratamientos superficiales

Tipo de gradación	Tamiz (mm / U.S. *Standard*)							
	25,0	19,0	12,5	9,5	6,3	4,75	2,36	1,18
	1 Pulgada	3/4 Pulgada	1/2 Pulgada	3/8 Pulgada	1/4 Pulgada	Nro. 4	Nro. 8	Nro 16
	Pasa tamiz (%)							
TSD — 25	100	90 — 100	10 — 45	0 — 15	-	0 — 5	-	-
TSS — 19 / TSD —19	-	100	90 — 100	20 — 55	0 — 15	-	0 — 5	-
TSS — 13 / TSD — 13	-	-	100	90 — 100	10 — 40	0 — 15	0 — 5	-
TSD — 10	-	-	-	100	90 — 100	20 — 55	0 — 15	0 — 5
Tolerancias en producción sobre la gradación definida en la fase de experimentación (±)	4 %						1 %	

Nota: el tipo de gradación con tamaño máximo de diecinueve milímetros (19 mm) y de trece milímetros (13 mm) aplica para tratamientos superficiales simples (TSS) y para tratamientos superficiales dobles (TSD).

El constructor, como responsable de los materiales que suministre para la ejecución de los trabajos, debe realizar todos los ensayos necesarios para establecer la calidad e inalterabilidad de los agregados por utilizar, independiente y complementariamente de los que taxativamente se exigen en las presentes especificaciones.

430.2.2 Material bituminoso

Debe ser una emulsión asfáltica catiónica de rotura rápida del tipo CRR-65 o una emulsión modificada con polímeros del tipo CRR-65m, la cual debe cumplir los requisitos de calidad establecidos en los artículos 411 o 415, según corresponda.

El tipo de emulsión por aplicar debe ser el definido en los documentos del proyecto.

430.2.3 Aditivos mejoradores de adherencia

Cuando se requieran, se deben ajustar a lo descrito en el artículo 412.

430.3 Equipo

Se aplica lo que sea pertinente del numeral 400.3 del artículo 400.

Para la ejecución de los tratamientos superficiales se requiere básicamente equipo para la explotación, la elaboración y la clasificación de agregados, para la limpieza de la superficie, distribuidor autopropulsado del material bituminoso, esparcidor mecánico de agregado pétreo, compactadores neumáticos y herramientas menores.

430.3.1 Equipo para la elaboración y la clasificación de agregados triturados

La planta de trituración debe estar provista de una trituradora primaria y una trituradora secundaria; debe incluir también una clasificadora y, de ser necesario, un equipo de lavado. Además, debe estar provista de los filtros necesarios para prevenir la contaminación ambiental.

430.3.2 Equipo para la aplicación del ligante bituminoso

Debe consistir en un carrotanque irrigador de las características descritas en el numeral 420.3.2 del artículo 420, Riego de imprimación.

Para áreas inaccesibles al carrotanque y para retoques y aplicaciones mínimas, se debe usar una caldera regadora portátil, con sus elementos de irrigación a presión, o una extensión del carrotanque con boquilla de expansión que permita un riego uniforme. Por ningún motivo, se debe permitir el empleo de regaderas u otros dispositivos de aplicación manual por gravedad.

430.3.3 Equipo para la extensión del agregado pétreo

Se pueden emplear esparcidoras autopropulsadas o extendedoras mecánicas acopladas a volquetas, que garanticen una adecuada y homogénea distribución del agregado pétreo sobre la superficie.

430.3.4 Equipo multidistribuidor de asfalto y agregado

En lugar del carrotanque irrigador y del equipo de extensión del agregado pétreo, descritos en los numerales 430.3.2 y 430.3.3, se puede emplear un equipo multidistribuidor, que permita la aplicación conjugada de la emulsión asfáltica y el agregado en una sola operación.

430.3.5 Equipo de compactación

Se deben emplear rodillos neumáticos de un peso superior a cinco toneladas (5 t), cuya presión de inflado de las llantas debe tener la aprobación del interventor, acorde con las recomendaciones establecidas por el fabricante del equipo y, además, la diferencia de presión entre ruedas no debe superar los cero coma cero trecientos cuarenta y cuatro megapascales (0,0344 MPa) (5 psi). Todos los compactadores deben ser autopropulsados y estar dotados de dispositivos para la limpieza de sus llantas, durante la compactación, así como inversores de marcha suaves. Los elementos de limpieza empleados deben ser de eficiencia verificada, garantizando que no son perjudiciales para la mezcla ni para el ambiente; no se permite el uso de productos derivados de la destilación del petróleo.

430.3.6 Equipo de barrido

Se debe disponer de barredoras mecánicas de cepillo. En caso de que las autoridades ambientales no permitan su utilización, el interventor debe determinar y/o aprobar el equipo por utilizar. Como alternativa, se pueden utilizar compresores y escobas, y demás implementos que el interventor apruebe, siempre que cumplan las disposiciones ambientales vigentes, especialmente en lo que refiere al manejo de material particulado, y protección del ser humano.

430.4 Ejecución de los trabajos

430.4.1 Explotación de materiales y elaboración de agregados

Rige lo establecido en el numeral 105.13.3 del artículo 105, Desarrollo de los trabajos.

430.4.2 Dosificación del tratamiento

Salvo justificación en contrario, la dosificación por utilizar se debe encontrar dentro de los límites indicados en la Tabla 430 — 3.

De acuerdo con las características de la superficie sobre la cual se va a aplicar el tratamiento, las condiciones climáticas del lugar y el tránsito previsto, los documentos del proyecto deben indicar la dosificación o diseño preliminar del tratamiento por algún método empírico reconocido, cuyos resultados sirvan como base para las primeras pruebas.

Tabla 430 — 3. Dosificación para tratamientos superficiales

Tipo	Aplicación	Tipo de gradación	Dosificación (L/m²)	
			Agregados	Ligante residual
1	Única	TSS-19	8 — 10	0,9 — 1,3
2	Única	TSS-13	6 — 8	0,7 — 1,1
3	Primera Segunda	TSD-25 TSD-13	12 — 14 6 — 8	1,3 — 1,8 0,8 — 1,2
4	Primera Segunda	TSD-19 TSD-10	8 — 10 5 — 7	0,9 — 1,3 0,7 — 1,0

La dosificación definitiva del tratamiento superficial, incluidas las adiciones que eventualmente se requieran para mejorar la adherencia entre el ligante y el agregado, debe ser establecida por el constructor y aprobada por el interventor, de acuerdo con las características de la obra y a la vista de los resultados de la fase de experimentación y previo el cumplimiento de los requisitos indicados en el numeral 400.4.2 del artículo 400.

Esta dosificación se debe verificar y ajustar en caso de que la gradación durante producción no se ajuste a la definida en la fase de experimentación con las tolerancias que se indican en la Tabla 430 — 2.

El interventor puede autorizar que la primera aplicación del ligante se haga con la cantidad mínima necesaria para sujetar el agregado de cobertura correspondiente. En la segunda aplicación, debe completar la dosificación exigida.

430.4.3 Preparación de la superficie existente

La construcción del tratamiento no se debe comenzar hasta que se compruebe que, la superficie sobre la cual se va a colocar tenga la densidad apropiada y las cotas indicadas en los documentos del proyecto. Todas las irregularidades que excedan las tolerancias establecidas en la especificación respectiva se deben corregir, de acuerdo con lo establecido en el artículo correspondiente a la unidad de obra de que se trate.

Si la construcción del tratamiento requiere una imprimación previa de la superficie, tal construcción se debe realizar de acuerdo con lo establecido en el artículo 420. No se debe permitir la construcción del tratamiento, mientras la imprimación no haya completado su curado y, en ningún caso, antes de veinticuatro horas (24 h), transcurridas desde su aplicación.

En el momento de aplicar el ligante bituminoso, la superficie debe estar seca y libre de cualquier sustancia objetable a criterio del interventor según el presente artículo y lo que resulte aplicable del artículo 400.

430.4.4 Fase de experimentación

Rige lo establecido en el numeral 400.4.3 del artículo 400.

430.4.5 Primera aplicación

430.4.5.1 Aplicación del ligante bituminoso

Antes de la aplicación del ligante, se debe marcar una línea guía en la calzada para controlar el paso del distribuidor y se debe señalar la longitud de la carretera que va a quedar cubierta, de acuerdo con la cantidad de emulsión asfáltica disponible en el distribuidor y la capacidad de extensión del esparcidor de agregados pétreos.

La dosificación elegida del ligante se debe aplicar de manera uniforme, a una temperatura que corresponda a una viscosidad Saybolt-Furol comprendida entre veinticinco y cien segundos (25 sSF – 100 sSF), evitando así duplicaciones de dotación en las juntas transversales de trabajo, para lo cual se deben colocar fajas de papel grueso, de ancho no menor de un metro (1,0 m), bajo los difusores, en aquellas zonas donde comience o se interrumpa la aplicación. El constructor debe especificar el rango de temperaturas correspondientes a las viscosidades enunciadas, según los ensayos de calidad efectuados por el proveedor de la emulsión y suministrados al inicio de las labores.

Al comienzo de cada jornada de trabajo se debe verificar la uniformidad del riego y, de ser requerido, se debe ajustar la altura del carrotanque irrigador, de tal forma que la base del abanico que se forma al salir el material por una boquilla cubra hasta la mitad o las dos terceras partes de la base del abanico contiguo (cubrimiento doble o triple). Si fuere necesario, se deben calentar las boquillas de irrigación antes de cada descarga. La bomba y la barra de distribución se deben limpiar al final de la jornada.

Durante la aplicación del ligante, se deben proteger todos los elementos que señale el interventor, tales como bordillos, vallas o árboles. En trabajos de prueba o de limpieza de los equipos, no se debe permitir descargar el material bituminoso en zanjas o zonas próximas a la carretera.

No se debe permitir ningún tipo de tránsito sobre el ligante aplicado.

430.4.5.2 Extensión del agregado pétreo

La extensión del agregado se debe realizar de manera uniforme, en la cantidad aprobada por el interventor e inmediatamente después de la aplicación del ligante bituminoso. La distribución del agregado se debe hacer de manera que se evite el tránsito del esparcidor sobre la capa del ligante sin cubrir. En el instante de la extensión, la humedad del agregado debe ser tal, que no perjudique su adhesividad con el ligante bituminoso empleado.

Cuando el material bituminoso se aplique por franjas, el agregado se debe esparcir de forma que quede sin cubrir una banda de quince a veinte centímetros (15 cm – 20 cm) de la zona tratada, aledaña a la zona que aún no ha recibido el riego, con el fin de completar en dicha banda la dosificación prevista del ligante al efectuar su aplicación en la franja adyacente.

Los excesos o las deficiencias de agregado pétreo se deben corregir inmediatamente, por medio de remoción o adición de agregado, hasta lograr una textura uniforme.

430.4.5.3 Aplicación conjugada del ligante y los agregados pétreos

Si se dispone de un equipo multidistribuidor, la aplicación del ligante bituminoso y la del agregado pétreo se deben realizar en una sola operación. En esta circunstancia, resulta aplicable lo expuesto en el numeral 430.4.5, en relación con la aplicación del ligante, salvo su último párrafo, dada la imposibilidad de que haya tránsito vehicular sobre el ligante recién aplicado.

En relación con el agregado pétreo, este se debe extender utilizando el mismo equipo, de manera uniforme, en la cantidad indicada en los documentos del proyecto o en la cantidad aprobada por el interventor e inmediatamente después de la aplicación del ligante bituminoso. En el instante de la extensión, la humedad del agregado debe ser tal, que no perjudique su adhesividad con el ligante bituminoso empleado.

Cuando el material bituminoso se aplique por franjas, el agregado se debe esparcir de forma que quede sin cubrir una banda de quince a veinte centímetros (15 cm – 20 cm) de la zona tratada, aledaña a la zona que aún no ha recibido el riego, con el fin de completar en dicha banda la dosificación prevista del ligante al efectuar su aplicación en la franja adyacente.

430.4.5.4 Compactación

Las operaciones de compactación se deben realizar con el compactador neumático y deben comenzar inmediatamente después de la aplicación del agregado pétreo. En zonas en tangente, la compactación se debe iniciar por el borde exterior y avanzando hacia el centro, traslapando cada pasada con la anterior. En curvas, se debe iniciar desde el borde inferior hacia el borde superior, traslapando cada recorrido con el anterior.

La compactación debe continuar hasta obtener una superficie lisa y estable, en un tiempo máximo de treinta minutos (30 min), contado desde el inicio de la extensión del agregado pétreo.

Para los casos en que la capa corresponda a la rodadura, se deben garantizar al menos tres (3) pasadas, a una velocidad lo suficientemente lenta para prevenir que se desplace o se levante el agregado y evitar así el deterioro de la capa o trituración, por exceso de pasadas o por uso de compactadores muy pesados. Cuando la aplicación corresponda a la primera capa de un tratamiento superficial doble, las operaciones de compactación se deben limitar a dos (2) pasadas.

Se debe impedir cualquier tipo de tránsito automotor sobre esta superficie.

430.4.6 Segunda aplicación

430.4.6.1 Ligante bituminoso

La segunda aplicación del ligante se debe realizar en la cantidad y a la temperatura indicada en los documentos del proyecto o por el interventor y, si las condiciones meteorológicas lo permiten, dentro de las veinticuatro horas (24 h) siguientes a la construcción de la primera capa.

Esta segunda aplicación se debe hacer de la misma forma que la primera. Si en el primer riego se utiliza el criterio de la cantidad

mínima necesaria mencionado en el numeral 430.4.2, la cantidad total dosificada se debe completar en el segundo riego.

El ancho de franja en que se aplique este riego debe variar, en relación con el empleado en el primero en, aproximadamente, veinte centímetros (20 cm) en más o en menos, con el fin de evitar que la junta longitudinal de construcción se superponga con la de la primera capa, impidiendo obtener una superficie uniforme.

430.4.6.2 Agregado pétreo

La extensión se debe realizar con el agregado pétreo seleccionado para la construcción de esta capa y en la cantidad aprobada por el interventor, de la misma forma que la primera e inmediatamente después de la segunda aplicación del material bituminoso.

430.4.6.3 Aplicación conjugada del ligante y los agregados pétreos

Cuando se emplee el equipo multidistribuidor, el ligante y el agregado para la segunda capa se deben aplicar de igual forma que para la primera, con las dosificaciones de los materiales y la gradación de los agregados, aprobadas previamente por el interventor.

El ancho de franja en que se aplique este riego debe variar, en relación con el empleado en el primero en, aproximadamente, veinte centímetros (20 cm) en más o en menos, con el fin de evitar que la junta longitudinal de construcción se superponga con la de la primera capa, impidiendo obtener una superficie uniforme.

430.4.6.4 Compactación final

Inmediatamente después de la segunda extensión del agregado, se debe proceder a su compactación con el rodillo neumático, en sentido longitudinal, iniciando por el borde exterior y avanzando hacia el centro, traslapando cada pasada con la anterior. En curvas, se debe iniciar desde el borde inferior hacia el borde superior, traslapando cada recorrido con el anterior.

La compactación se debe continuar hasta obtener una superficie lisa y estable en un lapso no mayor de treinta minutos (30 min), contados desde el instante de ser iniciada la extensión del agregado de la segunda capa. Se deben garantizar al menos tres (3) pasadas, a una velocidad lo suficientemente lenta para prevenir que se desplace o levante el agregado y evitando el deterioro de la capa o trituración de este por exceso de pasadas o por el uso de compactadores muy pesados.

430.4.7 Acabado, limpieza y eliminación de sobrantes

Una vez terminada la compactación y transcurrido el plazo necesario para que el ligante utilizado alcance la cohesión suficiente para resistir la acción normal del tránsito vehicular, se debe barrer de manera enérgica la superficie del tratamiento, para eliminar todo exceso de agregados que haya quedado suelto, operación que debe continuar aún después de que el tramo con el tratamiento se haya abierto al tránsito, con frecuencia diaria, durante los siguientes cuatro días (4 d) posteriores a su construcción.

A los quince días (15 d) siguientes a la apertura del tratamiento al tránsito, se debe realizar un barrido definitivo del agregado pétreo que no esté adherido. El constructor debe recoger el material sobrante de esta operación y lo debe disponer en los sitios que autorice el interventor.

430.4.8 Apertura al tránsito

Siempre que sea posible, se debe evitar todo tipo de tránsito sobre la capa recién ejecutada durante las veinticuatro horas (24 h) siguientes a su terminación. Si ello no es factible, se deben tomar medidas para que los vehículos no circulen a una velocidad superior a treinta kilómetros por hora (30 km/h).

430.4.9 Limitaciones en la ejecución

Por ningún motivo se debe permitir la ejecución del tratamiento cuando la temperatura ambiente a la sombra y la de la superficie sean inferiores a cinco grados Celsius (5 °C) o haya lluvia o fundado temor de que ella ocurra. Tampoco se debe permitir la aplicación de ligantes bituminosos cuando la velocidad del viento impida que la aplicación de material asfáltico sea uniforme.

Cuando no se utilice equipo multidistribuidor, la extensión del agregado pétreo se debe realizar antes de que haya transcurrido, desde la aplicación del ligante, el plazo máximo aprobado por el interventor. En todos los casos, la compactación debe quedar concluida antes de treinta minutos (30 min) de haber sido extendido el agregado.

Los trabajos de construcción del tratamiento superficial se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que resulte adecuado, y que cuente con la aprobación del interventor. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

430.4.10 Manejo ambiental

Al respecto, rige el artículo 106, Aspectos ambientales, así como todo lo que resulte aplicable del numeral 400.4.7 del artículo 400.

430.4.11 Reparaciones

Todos los defectos que se presenten durante la ejecución del tratamiento, tales como juntas irregulares, defectos transversales en la aplicación del ligante o el agregado, irregularidades del alineamiento, etc., así como los que se deriven de un incorrecto control del tránsito recién terminados los trabajos, deben correr a cargo del constructor, de acuerdo con las instrucciones del interventor y hasta contar con su aprobación, sin costo alguno para INVÍAS.

430.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

430.5.1 Controles

Rige lo que resulte aplicable del numeral 400.5.1 del artículo 400.

430.5.2 Condiciones específicas para el recibo y las tolerancias

430.5.2.1 Calidad de la emulsión

Los requisitos de calidad, los controles y los criterios de aceptación para la emulsión son los establecidos en los artículos 411 y 415, según corresponda.

430.5.2.2 Calidad de los agregados

De cada procedencia de los agregados pétreos y para cualquier volumen previsto, se deben tomar cuatro (4) muestras y a cada fracción de ellas se le deben realizar los ensayos que se encuentran indicados en la Tabla 430 — 1.

Durante la etapa de producción, se deben examinar las descargas a los acopios y se deben retirar los agregados que, a simple vista, presenten restos de tierra vegetal, materia orgánica o tamaños superiores al máximo especificado. También, se deben acopiar por separado aquellos agregados que presenten alguna anomalía de aspecto, tal como distinta coloración, segregación, partículas alargadas o aplanadas y plasticidad y se debe vigilar la altura de todos los acopios y el estado de sus elementos separadores.

Además, se deben efectuar las verificaciones de calidad de los agregados indicadas en la Tabla 430 — 4.

La curva granulométrica de cada ensayo individual debe ser sensiblemente paralela a los límites de la franja adoptada y debe ajustarse a la definida en la fase de experimentación, con las tolerancias que se indican en la Tabla 430 — 2, pero sin permitir que la curva se salga de los límites de la franja. Si la curva granulométrica de algún ensayo no cumple la anterior indicación, pero no se sale de los límites de la franja, es necesario verificar y, si es el caso, ajustar la dosificación del tratamiento superficial.

El interventor puede autorizar la reducción de la frecuencia de los ensayos a la mitad de lo indicado en la Tabla 430 — 4, siempre que este considere que los materiales son suficientemente homogéneos o si en el control de recibo de la obra terminada hubiese aceptado sin objeción diez (10) lotes consecutivos.

En la eventualidad de que alguna prueba dé lugar a un resultado no satisfactorio, se deben tomar dos muestras adicionales del material y se debe repetir la prueba. Los resultados de ambos ensayos de comprobación deben ser satisfactorios o, de lo contrario, el interventor no debe autorizar la utilización del material al cual representen dichos ensayos.

430.5.2.3 Calidad del producto terminado

430.5.2.3.1 Tamaño del lote

Se debe considerar como lote, que se acepta o rechaza en conjunto, la menor área que resulte de aplicar los siguientes criterios.

- Quinientos metros (500 m) de tratamiento construido.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m^2) de tratamiento construido.
- La obra ejecutada en una jornada de trabajo.

Tabla 430 — 4. Ensayos de verificación sobre los agregados para tratamientos superficiales simples

Característica	Norma de ensayo INV	Frecuencia
Composición (F)		
Granulometría	E-213	1 por jornada
Dureza (O)		
Desgaste en la máquina de Los Ángeles	E-218	1 por mes
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval	E-238	1 por mes
Coeficiente de pulimiento acelerado	E-232	1 por mes
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio	E-220	1 por mes
Limpieza (F)		
Contenido de impurezas	E-237	1 por jornada
Geometría de las partículas (F)		
Índices de alargamiento y aplanamiento	E-230	1 por semana
Porcentaje de caras fracturadas	E-227	1 por semana

En dicho lote, se deben efectuar los controles indicados a continuación.

430.5.2.3.2 Aspectos generales

El tratamiento terminado debe presentar una superficie uniforme y ajustarse a las rasantes y pendientes establecidas. La distancia entre el eje del proyecto y el borde de la zona pavimentada no puede ser, en ningún punto, inferior a la señalada en los documentos del proyecto.

Así mismo, el acabado de la capa de rodadura no debe presentar deformaciones, afloramiento del material asfáltico o pérdida sensible de agregado pétreo, o cualquier defecto que afecte la calidad y el buen comportamiento del tratamiento.

430.5.2.3.3 Tasa de aplicación

Las dosificaciones del asfalto y del agregado se deben comprobar en cada capa, mediante las normas INV E-818 e INV E-819 respectivamente, en no menos de cinco (5) puntos del área considerada como lote, ubicados al azar, según la norma de ensayo INV E-730, pero de manera que se realice al menos una prueba por hectómetro.

Las tasas medias de aplicación de ligante residual (*TML*) y de agregados (*TMA*) por lote, no pueden variar en más de diez por ciento (10 %) de las autorizadas por el interventor como resultado de la fase de experimentación (*TEL* y *TEA*).

$$0{,}9\ TEL \leq TML \leq 1{,}1\ TEL \quad [430.1]$$

$$0{,}9\ TEA \leq TMA \leq 1{,}1\ TEA \quad [430.2]$$

Así mismo, ningún ensayo individual puede presentar un resultado que varíe en más de quince por ciento (15 %) de la tasa de aplicación de ligante o agregados autorizada por el interventor (*TEL* o *TEA*).

Si alguno de los anteriores requisitos se incumple, se debe rechazar el lote. En caso de rechazo, el tratamiento superficial simple correspondiente al lote controlado debe ser levantado o retirado mediante equipos apropiados y repuesto hasta contar con la aprobación del interventor, sin costo adicional para INVÍAS. En caso de rechazo de un lote correspondiente a la segunda capa, todo el espesor de tratamiento superficial doble del lote controlado debe ser levantado o retirado mediante equipos apropiados y repuesto hasta ser aprobado por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS.

En ambos casos, el material retirado es de propiedad del constructor.

430.5.2.3.4 Textura

Sobre la última capa de tratamiento, por lote se deben efectuar, como mínimo, tres (3) determinaciones de la profundidad de textura con el círculo de arena (INV E-791), y en sitios elegidos al azar, según la norma de ensayo INV E-730. Para tratamientos superficiales simples, el promedio de las lecturas debe ser, cuando menos, igual a uno coma dos milímetros (1,2 mm), sin que ninguno de los valores individuales sea inferior a un milímetro (1,0 mm). Para tratamientos superficiales dobles, el promedio de las lecturas debe ser, cuando menos, igual a un milímetro (1,0 mm), sin que ninguno de los valores individuales sea inferior a cero coma ocho milímetros (0,8 mm).

En caso de que se presenten valores menores, el interventor debe realizar medidas adicionales para delimitar perfectamente el área deficiente, la cual se debe levantar o retirar mediante equipos apropiados y reponer hasta contar con la aprobación del interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material retirado es de propiedad del constructor.

El requisito de textura no es aplicable cuando el tratamiento superficial se construye para la protección de bermas.

430.5.2.3.5 Resistencia al deslizamiento

Antes de la puesta en servicio del tratamiento superficial, se deben hacer las determinaciones de la resistencia al deslizamiento. Debido a que esta se encuentra relacionada directamente con la seguridad de los usuarios, los puntos para su determinación en cada lote no se deben elegir al azar, sino que el interventor debe ubicarlos en los lugares que considere más sensibles al deslizamiento vehicular, en condición de superficie húmeda.

Las medidas se deben realizar con el péndulo británico, en acuerdo con la norma de ensayo INV E-792, en tres (3) puntos por lote en zonas en tangente y en uno (1) por cada curva horizontal y por cada zona singular (glorieta, intersección, zona de frenado, etc.) incluida dentro del lote. Ninguna de ellas puede presentar un valor inferior al límite indicado en la Tabla 430 — 5, de acuerdo con el tránsito de diseño y el tipo de sección.

En caso de que se presenten valores menores, se deben realizar medidas adicionales para delimitar perfectamente el área deficiente, la cual debe ser levantada o retirada mediante

equipos apropiados y repuesta hasta contar con la aprobación del interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material retirado debe ser propiedad del constructor.

La resistencia al deslizamiento se puede verificar también con dispositivos de rueda parcialmente bloqueada (norma de ensayo INV E-815). En tal caso, la especificación particular debe indicar el equipo autorizado, así como los valores mínimos por alcanzar, los cuales deben ser, cuando menos, equivalentes a los señalados en la Tabla 430 — 5 para el péndulo británico.

Tabla 430 — 5. Valores mínimos admisibles del coeficiente de resistencia al deslizamiento con el péndulo británico

Tipo de sección	Coeficiente de resistencia al deslizamiento, mínimo	
	NT1	NT2
Secciones críticas: - Glorietas - Intersecciones - Zonas de frenado frecuente - Curvas con radio de curvatura < 200 m - Tramos con pendiente > 5 % y longitud > 100 m	50	55
Otras secciones	45	50

430.5.2.3.6 Regularidad superficial

Debido a sus características y limitado espesor, los tratamientos superficiales que sirven como capa de rodadura no pueden corregir defectos asociados con la falta de regularidad del perfil longitudinal de la calzada. Por tal razón, no se debe permitir la colocación del tratamiento, mientras no se garantice que la superficie de la capa sobre la cual se va a construir cumpla los requisitos que se exigen sobre el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en la especificación general o particular referente a dicha capa.

430.5.2.4 Modificación eventual de la extensión del lote

Si el interventor considera que las deficiencias de calidad del producto terminado no son generalizadas en todo el lote definido según los criterios establecidos en el numeral 430.5.2.3.1 de esta especificación, sino que se restringen a la superficie tratada por una sola carga del equipo empleado en la aplicación del ligante o del agregado, puede modificar la extensión del lote, limitándola al área construida con dicha carga.

430.6 Medida

Rige lo pertinente del numeral 400.6 del artículo 400, en particular lo indicado en el numeral 400.6.1.

430.7 Forma de pago

Rige lo pertinente del numeral 400.7 del artículo 400, en particular lo indicado en el numeral 400.7.2.

430.8 Ítem de pago

Item	Descripción	Unidad
430.1	Tratamiento superficial simple con emulsión CRR-65	Metro cuadrado (m^2)
430.2	Tratamiento superficial simple con emulsión CRR-65m	Metro cuadrado (m^2)
430.3	Tratamiento superficial doble con emulsión CRR-65	Metro cuadrado (m^2)
430.4	Tratamiento superficial doble con emulsión CRR-65m	Metro cuadrado (m^2)

Sello de arena-asfalto

Artículo 432 – 22

432.1 Descripción

Este trabajo consiste en la aplicación de un material bituminoso sobre la superficie de un pavimento existente, seguida por la extensión y la compactación de una delgada capa de arena, de acuerdo con lo establecido en esta especificación, los documentos del proyecto y las instrucciones del interventor, con el fin de sellar la superficie y mejorar temporalmente la fricción superficial. Dichos trabajos solo se pueden ejecutar en vías con niveles de tránsito NT1 y NT2.

432.2 Materiales

432.2.1 Agregados pétreos

Deben estar constituidos por agregado fino que cumpla los requisitos generales señalados en el numeral 400.2.1 del artículo 400, y las exigencias particulares de calidad establecidas en la Tabla 432 — 1.

Tabla 432 — 1. Requisitos de los agregados para sellos de arena-asfalto

Característica	Norma de ensayo INV	Nivel de tránsito	
		NT1	NT2
Durabilidad (O)			
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio, máximo (%)	E-220	18	
Limpieza (F)			
Índice de plasticidad	E-125 y E-126	NP	
Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	50	
Valor de azul de metileno (si es aplicable), máximo	E-235	10	
Geometría de las partículas (F)			
Angularidad de la fracción fina, mínimo (%)	E-239	45	
Adhesividad (O)			
Riedel-Weber, mínimo	E-774	4	

Su gradación se debe encontrar dentro de los límites indicados en la Tabla 432 — 2.

Tabla 432 – 2. Gradación para sellos de arena-asfalto

Tipo de gradación	Tamiz (mm / U.S. *Standard*)						
	9,5	4,75	2,36	1,18	0,600	0,300	0,150
	3/8 Pulgada	Nro.4	Nro. 8	Nro. 16	Nro. 30	Nro. 50	Nro. 100
	Pasa tamiz (%)						
SAA – 10	100	95 — 100	80 — 100	50 — 85	25 — 60	10 — 30	2 — 10

El constructor, como responsable de los materiales que suministre para la ejecución de los trabajos, debe realizar todos los ensayos necesarios para establecer la calidad e inalterabilidad de los agregados por utilizar, independiente y complementariamente de los que taxativamente se exigen en las presentes especificaciones.

432.2.2 Material bituminoso

Debe ser una emulsión catiónica de rotura rápida del tipo CRR-65 o una emulsión de rotura rápida modificada con polímeros del tipo CRR-65m, que cumpla los requisitos de calidad indicados en los artículos 411 o 415, según corresponda.

432.3 Equipo

Se aplica lo que sea pertinente del numeral 400.3 del artículo 400.

Para la ejecución de sellos de arena-asfalto se requieren, básicamente, equipo para la explotación, la elaboración y la clasificación de agregados, para la limpieza de la superficie, distribuidor autopropulsado del material bituminoso, esparcidor mecánico de agregado pétreo, compactadores y herramientas menores.

Para la compactación se deben emplear rodillos neumáticos de un peso preferiblemente superior a cinco toneladas (5 t), cuya presión de inflado de las llantas debe tener la aprobación del interventor, acorde con las recomendaciones establecidas por el fabricante del equipo, además, la diferencia de presión entre llantas no debe superar los cero coma cero treinta y cuatro megapascales (0,034 MPa) (5 psi). Todos los compactadores deben ser autopropulsados y estar dotados de dispositivos para la limpieza de sus llantas, durante la compactación, así como inversores de marcha suaves. Los elementos de limpieza empleados deben ser de eficiencia verificada, garantizando que no son perjudiciales para la mezcla ni para el ambiente; no se debe permitir el uso de productos derivados de la destilación del petróleo.

432.4 Ejecución de los trabajos

432.4.1 Explotación de materiales y elaboración de agregados

Rige lo establecido en el numeral 105.13.3 del artículo 105, Desarrollo de los trabajos.

432.4.2 Dosificación del sello

Las cantidades por aplicar de material bituminoso y arena se deben definir en el sitio de los

trabajos, en función del estado de la superficie por proteger, las condiciones ambientales de la región, la intensidad y la magnitud del tránsito circulante y los resultados de la fase de experimentación, y previo el cumplimiento de los requisitos indicados en el numeral 400.4.2 del artículo 400.

La Tabla 432 — 3 presenta una guía para la dosificación inicial del sello arena-asfalto.

Tabla 432 — 3. Dosificación guía para sellos arena-asfalto

Tipo de gradación	Dosificación (L/m²)	
	Agregados	Ligante residual
SAA – 10	3,5 — 7,0	0,7 — 1,0

432.4.3 Preparación de la superficie existente

Antes de aplicar el riego del material bituminoso, la superficie se debe encontrar seca y libre de polvo, tierra o cualquier otra sustancia objetable.

Las reparaciones previas que requiera el pavimento, tales como bacheo, sello de fisuras o fresado para eliminación de exceso de ligante o corrección de la superficie, se deben efectuar conforme lo indiquen las especificaciones correspondientes.

432.4.4 Aplicación del ligante bituminoso

Antes de la aplicación del ligante se debe marcar una línea guía en la calzada para controlar el paso del distribuidor y se debe señalar la longitud de la carretera que queda cubierta, de acuerdo con la cantidad de emulsión asfáltica disponible en el distribuidor y la capacidad de extensión del esparcidor de agregados pétreos.

La dosificación elegida del ligante se debe aplicar de manera uniforme a una temperatura que corresponda a una viscosidad Saybolt-Furol comprendida entre veinticinco y cien segundos (25 sSF — 100 sSF), evitando duplicaciones de dotación en las juntas transversales de trabajo, para lo cual se deben colocar fajas de papel grueso, de ancho no menor a un metro (1 m), bajo los difusores, en aquellas zonas donde comience o se interrumpa la aplicación. Se debe especificar el rango de temperaturas de aplicación correspondientes a las viscosidades enunciadas, según los ensayos de calidad efectuados por el proveedor de la emulsión y suministrados al inicio de las labores.

Al comienzo de cada jornada de trabajo se debe verificar la uniformidad del riego, y de ser requerido se debe ajustar la altura del carrotanque irrigador, de tal forma que la base del abanico que se forma al salir el material por una boquilla cubra hasta la mitad o dos terceras partes de la base del abanico contiguo (cubrimiento doble o triple). Si fuere

necesario, se deben calentar las boquillas de irrigación antes de cada descarga. La bomba y la barra de distribución se deben limpiar al final de la jornada.

Durante la aplicación del ligante, se deben proteger todos los elementos que señale el interventor, tales como bordillos, vallas o árboles. En trabajos de prueba o de limpieza de los equipos, no se debe permitir descargar el material bituminoso en zanjas o zonas próximas a la carretera.

No se debe permitir ningún tipo de tránsito sobre el ligante aplicado.

432.4.5 Extensión del agregado pétreo

La extensión del agregado se debe realizar de manera uniforme, en la cantidad aprobada por el interventor e inmediatamente después de la aplicación del ligante bituminoso, y se debe garantizar un espesor mínimo igual al tamaño máximo del agregado y máximo de dos coma cinco (2,5) veces el tamaño máximo nominal. La distribución del agregado se debe hacer de manera que se evite el tránsito del esparcidor sobre la capa del ligante sin cubrir. En el instante de la extensión, la humedad del agregado debe ser tal, que no perjudique su adhesividad con el ligante bituminoso empleado.

Cuando el material bituminoso se aplique por franjas, el agregado se debe esparcir de forma que quede sin cubrir una banda de quince a veinte centímetros (15 cm — 20 cm) de la zona tratada, aledaña a la zona que aún no ha recibido el riego, con el fin de completar en dicha banda la dosificación prevista del ligante al efectuar su aplicación en la franja adyacente.

Si el interventor lo aprueba, el esparcimiento de la arena puede ser manual con ayuda de palas.

Los excesos o las deficiencias de agregado pétreo se deben corregir inmediatamente, por medio de la remoción o la adición de agregado, hasta lograr una textura uniforme.

432.4.6 Compactación

Las operaciones de compactación se deben realizar con el compactador neumático y deben comenzar inmediatamente después de la aplicación de la arena. En zonas en tangente, la compactación se debe iniciar por el borde exterior avanzando hacia el centro y traslapando cada pasada con la anterior. En curvas, se debe iniciar desde el borde inferior hacia el borde superior, traslapando cada recorrido con el anterior, de acuerdo con las instrucciones del interventor.

La compactación debe continuar, de acuerdo con el plan definido en la fase de experimentación, hasta obtener una superficie lisa y estable, a una velocidad lo suficientemente lenta para prevenir que se desplace o se levante el agregado y evitando el deterioro de la capa o su trituración, por exceso de pasadas o por el uso de compactadores muy pesados.

432.4.7 Acabado, limpieza y eliminación de sobrantes

Una vez terminada la compactación y transcurrido el plazo necesario para que el ligante utilizado alcance la cohesión suficiente para resistir la acción normal del tránsito vehicular, se debe barrer de manera enérgica la superficie del sello para eliminar todo exceso de arena que haya quedado suelto sobre la superficie. Esta operación debe continuar aún

después de que el tramo con el sello haya sido abierto al tránsito y hasta eliminar completamente la arena suelta. Se debe contemplar como mínimo una frecuencia diaria durante los siguientes cuatro días (4 d) consecutivos a la construcción.

El material sobrante de esta operación debe ser recogido por el constructor, quien lo debe disponer en los sitios que autorice el interventor.

432.4.8 Apertura al tránsito

Siempre que sea posible, se debe evitar todo tipo de tránsito sobre el sello recién ejecutado durante las veinticuatro horas (24 h) siguientes a su terminación. Si ello no es factible, se deben tomar medidas para que los vehículos no circulen a una velocidad superior a treinta kilómetros por hora (30 km/h).

432.4.9 Limitaciones en la ejecución

Por ningún motivo se debe permitir la ejecución del tratamiento cuando la temperatura ambiente a la sombra y la de la superficie sean inferiores a cinco grados Celsius (5 °C) o haya lluvia o fundado temor de que ella ocurra. Tampoco se debe permitir la aplicación de ligantes bituminosos cuando la velocidad del viento impida que la aplicación de material asfáltico sea uniforme.

Los trabajos de construcción del sello de arena-asfalto se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que resulte adecuado, y que cuente con la aprobación del interventor. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

432.4.10 Manejo ambiental

Al respecto, rige el artículo 106, Aspectos ambientales, así como todo lo que resulte aplicable del numeral 400.4.7 del artículo 400.

432.4.11 Reparaciones

Todos los defectos que se presenten durante la ejecución del sello, tales como juntas irregulares, defectos transversales en la aplicación del ligante o el agregado, irregularidades del alineamiento, etc., así como los que se deriven de un incorrecto control del tránsito recién terminados los trabajos, deben ser corregidos por el constructor, de acuerdo con las instrucciones del interventor y hasta contar con su aprobación, sin costo alguno para INVÍAS.

432.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

432.5.1 Controles

Rige todo lo que resulte aplicable del numeral 400.5.1 del artículo 400.

432.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

432.5.2.1 Calidad de la emulsión

Los requisitos de calidad, controles y criterios de aceptación para la emulsión son los establecidos en los artículos 411 y 415, según corresponda.

432.5.2.2 Calidad del agregado

De cada procedencia del agregado y para cualquier volumen previsto se deben tomar dos (2) muestras, de acuerdo con el procedimiento indicado en la norma INV E-201 y para cada fracción de ellas se deben realizar los ensayos indicados en la Tabla 432 — 1, cuyos resultados deben satisfacer, en su totalidad, las exigencias allí indicadas. Además, durante la etapa de producción, se deben efectuar las verificaciones de calidad del agregado indicadas en la Tabla 432 — 4.

Tabla 432 — 4. Ensayos de verificación sobre el agregado para sellos de arena-asfalto

Ensayo	Norma de ensayo INV	Frecuencia
Composición (F)		
Granulometría	E-213	1 por jornada
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio	E-220	1 por mes
Limpieza (F)		
Índice de Plasticidad	E-125 y E-126	1 por jornada
Equivalente de arena	E-133	1 por semana
Valor de azul de metileno	E-235	1 por semana
Geometría de las partículas (F)		
Angularidad de la fracción fina	E-239	1 por jornada
Adhesividad (O)		
Riedel-Weber	E-774	1 por semana

El interventor puede autorizar la reducción de la frecuencia de los ensayos a la mitad de lo indicado en la Tabla 432 – 4, siempre que considere que los materiales son suficientemente homogéneos o si en el control de recibo de la obra terminada hubiese aceptado sin objeción diez (10) lotes consecutivos.

En ningún caso se debe permitir el empleo de agregados pétreos que no satisfagan los requisitos pertinentes del numeral 432.2.1. En la eventualidad de que alguna prueba dé lugar a un resultado no satisfactorio, se deben tomar dos muestras adicionales del material y se debe repetir la prueba. Los resultados de

ambos ensayos de comprobación deben ser satisfactorios o, de lo contrario, el interventor no debe autorizar la utilización del material al cual representen dichos ensayos.

432.5.2.3 Calidad del producto terminado

Se debe considerar como lote, que se acepta o rechaza en conjunto, la menor área que resulte de aplicar los siguientes criterios:

- Quinientos metros (500 m) de calzada con sello de arena-asfalto.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m^2) de calzada con sello de arena-asfalto.
- La obra ejecutada en una jornada de trabajo.

En dicho lote, se deben efectuar los controles indicados a continuación:

432.5.2.3.1 Tasa de aplicación

Las dosificaciones del asfalto y del agregado se deben comprobar mediante las normas INV E-818 e INV E-819 respectivamente, en no menos de cinco (5) puntos del área considerada como lote, ubicados al azar, según la norma de ensayo INV E-730, pero de manera que se realice al menos una (1) prueba por hectómetro.

Las tasas medias de aplicación de ligante residual (*TML*) y de agregados (*TMA*) por lote, no pueden variar en más de veinte por ciento (20 %) de las autorizadas por el interventor (*TEL* y *TEA*).

$$0{,}8\ TEL \leq TML \leq 1{,}2\ TEL \quad [432.1]$$

$$0{,}8\ TEA \leq TMA \leq 1{,}2\ TEA \quad [432.2]$$

Así mismo, ningún ensayo individual puede presentar un resultado por fuera del límite citado. Si lo anterior no se cumple, se debe rechazar el lote, salvo que se demuestre que el área con dosificación por fuera de la tolerancia va a presentar un comportamiento satisfactorio y se garantice, en cualquier punto, un coeficiente de resistencia al deslizamiento igual o superior al especificado en el inciso siguiente.

En caso de que no se pueda demostrar que el área construida con dosificación por fuera de la tolerancia presenta un comportamiento satisfactorio, y con independencia de que se cumplan los requisitos de resistencia al deslizamiento, el sello de arena-asfalto correspondiente al lote controlado debe ser levantado mediante fresado y/o microfresado, y repuesto hasta contar con la aprobación del interventor, sin costo adicional para INVÍAS. Si durante el proceso de remoción del sello, se causa algún deterioro a la capa subyacente, esta debe ser reparada hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS, antes de reponer el sello.

El material fresado es de propiedad del constructor.

432.5.2.3.2 Resistencia al deslizamiento

Antes de la puesta en servicio del sello de arena-asfalto, se deben hacer las determinaciones de la resistencia al deslizamiento. Debido a que esta se encuentra relacionada directamente con la seguridad de los usuarios, los puntos para su determinación en cada lote no se deben elegir al azar, sino que deben ser ubicados por el interventor en los lugares que considere más proclives al deslizamiento vehicular en condición de superficie húmeda.

Las medidas se deben realizar con el péndulo británico, de acuerdo con la norma de ensayo INV E-792, en tres (3) puntos por lote en zonas en tangente y en uno (1) por cada curva horizontal y por cada zona singular (glorieta, intersección, zona de frenado, etc.) incluida dentro del lote y ninguna de ellas puede presentar un valor inferior al límite indicado en la Tabla 432 — 5, de acuerdo con el tránsito de diseño y el tipo de sección.

Tabla 432 — 5. Valores mínimos admisibles del coeficiente de resistencia al deslizamiento con el péndulo británico

Tipo de sección	Coeficiente de resistencia al deslizamiento, mínimo	
	NT1	NT2
Secciones críticas: - Glorietas - Intersecciones - Zonas de frenado frecuente - Curvas con radio de curvatura < 200 m - Tramos con pendiente > 5 % y longitud ≥ 100 m	50	55
Otras secciones	45	50

La resistencia al deslizamiento se puede verificar también con dispositivos de rueda parcialmente bloqueada (norma de ensayo INV E-815). En tal caso, la especificación particular debe indicar el equipo autorizado, así como los valores mínimos por alcanzar, los cuales deben ser, cuando menos, equivalentes a los señalados en la Tabla 432 — 5 para el péndulo británico.

En caso de que se presenten valores menores, el interventor debe realizar medidas adicionales para delimitar perfectamente el área deficiente, la cual debe ser levantada mediante fresado y/o microfresado, y repuesta hasta contar con la aprobación del interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado es de propiedad del constructor.

432.5.2.3.3 Regularidad superficial

Debido a sus características y el limitado espesor, los sellos de arena-asfalto no pueden corregir defectos asociados con la falta de regularidad del perfil longitudinal de la calzada. Por tal razón, no se debe permitir la colocación del sello, mientras no se garantice que la superficie de la capa sobre la cual se va a construir cumpla los requisitos que se exigen sobre el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en la especificación general o particular referente a dicha capa.

432.5.2.4 Modificación eventual de la extensión del lote

Si el interventor considera que las deficiencias de calidad del producto terminado no

son generalizadas en toda el área correspondiente a un lote, sino que se restringen a la superficie tratada por una sola carga del equipo empleado en la aplicación del ligante o del agregado, puede modificar la extensión del lote, limitándola al área construida con dicha carga.

432.6 Medida

Rige lo pertinente del numeral 400.6 del artículo 400, y en particular lo indicado en el numeral 400.6.1.

432.7 Forma de pago

Rige lo pertinente del numeral 400.7 del artículo 400, y en particular lo indicado en el numeral 400.7.2.

432.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
432.1	Sello de arena-asfalto con emulsión CRR-65	Metro cuadrado (m^2)
432.2	Sello de arena-asfalto con emulsión CRR-65m	Metro cuadrado (m^2)

Lechada asfáltica

Artículo 433 – 22

433.1 Descripción

Este trabajo, también llamado *Slurry Seal,* consiste en la elaboración de una mezcla de agregados pétreos, agua, emulsión asfáltica de rotura lenta, convencional o modificada con polímeros, llenante mineral y, eventualmente, aditivos, sobre la superficie de un pavimento que no presenta un nivel avanzado de deterioro (por ejemplo agrietamientos por fatiga, desprendimiento severo de partículas, grietas con desprendimientos en el borde y ahuellamientos severos), de acuerdo con esta especificación y de conformidad con los alineamientos, las cotas y las secciones indicados en los documentos del proyecto o determinados por el interventor, con el objeto de rejuvenecer e impermeabilizar, sellar fisuras leves, mejorar las condiciones de resistencia al deslizamiento y en consecuencia la seguridad, así como de mitigar desprendimientos menores.

433.2 Materiales

433.2.1 Agregados pétreos y llenante mineral

Los agregados pétreos no deben ser susceptibles de ningún tipo de meteorización o alteración físico-química apreciable bajo las condiciones más desfavorables que presumiblemente puedan darse en la zona de empleo. Tampoco pueden dar origen, con el agua, a disoluciones que puedan causar daños a estructuras o a otras capas del pavimento, o contaminar corrientes de agua.

El constructor, como responsable de los materiales que suministre para la ejecución de los trabajos, debe realizar todos los ensayos necesarios para establecer la calidad e inalterabilidad de los agregados por utilizar, independiente y complementariamente de los que taxativamente se exigen en las presentes especificaciones.

433.2.1.1 Requisitos generales

Los agregados pétreos y el llenante mineral deben cumplir los requisitos generales del numeral 400.2.1 del artículo 400, y los requisitos particulares de la Tabla 433 — 1.

Tabla 433 — 1. Requisitos de los agregados para lechadas asfálticas

Característica	Norma de ensayo INV	Nivel de tránsito		
		NT1	NT2	NT3
Dureza (O)				
Desgaste en la máquina de Los Ángeles, máximo (%)	E-218	25	25	25
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	E-238	-	25	20
Durabilidad (O)				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio, máximo (%)	E-220	18	18	18
Limpieza, gradación combinada (F)				
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	NP	NP	NP
Equivalente de arena, mínimo (%) (Nota 1)	E-133	50	50	50
Valor de azul de metileno, máximo	E-235	10	10	10
Geometría de las partículas, agregado fino (F)				
Angularidad de la fracción fina, método A, mínimo (%)	E-239	45	45	45
Índice de Adhesividad (O)				
Riedel-Weber, mínimo (Nota 2)	E-774	4	4	4

Nota 1: el equivalente de arena debe ser el del agregado finalmente obtenido mediante la combinación de las distintas fracciones, según las proporciones determinadas en la fórmula de trabajo y antes de la incorporación del llenante mineral de aporte. En caso de que no se cumpla el valor mínimo de equivalente de arena señalado en la Tabla 433 — 1, el agregado se debe aceptar si su equivalente de arena es superior a cuarenta por ciento (40 %) y, simultáneamente, el valor de azul de metileno, determinado mediante la norma de ensayo INV E-235, es inferior a diez (10).

Nota 2: en caso que el agregado fino presente un índice de adherencia Riedel-Weber menor a seis (6), se debe tener en cuenta lo especificado en el artículo 412, Suministro de aditivo mejorador de adherencia, para el respectivo mejoramiento de la adhesividad.

433.2.1.2 Agregado fino

El agregado fino debe proceder en su totalidad de la trituración de roca de cantera o de grava natural, o parcialmente de fuentes naturales de arena. La proporción de arena natural no puede exceder del veinticinco por ciento (25 %) de la masa total del agregado combinado.

433.2.1.3 Llenante mineral

El llenante mineral incluido en los agregados se puede complementar o suplir con un producto comercial o especialmente preparado, generalmente cal hidratada o cemento, u otro material inerte de origen calizo libre de materia orgánica y partículas de arcilla cuya misión sea controlar el proceso de rotura de

la emulsión o activar la consecución de la cohesión de la lechada asfáltica. Debe cumplir con lo indicado en la Tabla 433 — 2.

Tabla 433 — 2. Requisitos del llenante mineral

Característica	Norma de ensayo INV	Valor
Densidad *bulk* (g/cm^3)	E-225	0,5 – 1,1

Adicional a lo anterior, en caso que el producto utilizado sea cal, se deben satisfacer los requisitos indicados en la tabla 433 – 3.

Tabla 433 — 3. Especificaciones para la cal

Requisito	Norma de ensayo	Masa (%)
Cal activa [% Ca $(OH)_2$ + % CaO], porcentaje (%) en masa, mínimo	ASTM C25 o NTC 5059	83
Cal deshidratada (porcentaje (%) en masa de CaO), máximo		7
Contenido de agua (porcentaje (%) en masa de H_2O), máximo		3

En caso de que el producto empleado corresponda a cemento, este debe ser de tipo Portland y garantizar el cumplimiento de lo establecido en el artículo 501, Suministro de cemento hidráulico, o los requisitos particulares que se establezcan en los documentos del proyecto.

No obstante, se recalca que los productos empleados deben estar respaldados por los certificados de calidad, ficha técnica proporcionados por el fabricante, hoja de seguridad elaborada según los lineamientos dados por la NTC 4435 o alguna otra que la sustituya, la dosificación, su forma de uso, almacenaje, y fechas de la elaboración y vencimiento.

433.2.1.4 Granulometría

La mezcla de agregados y llenante se debe ajustar a alguna de las gradaciones que se indican en la Tabla 433 — 4. La gradación por utilizar debe estar indicada en los documentos del proyecto y depende del estado de la superficie y de la función que vaya a cumplir la lechada.

Tabla 433 — 4. Gradaciones del agregado para lechadas asfálticas

Tipo de gradación	Tamiz (mm / U.S. *Standard*)								
	12,5	9,5	4,75	2,36	1,18	0,600	0,300	0,180	0,075
	1/2 Pulgada	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 8	Nro. 16	Nro. 30	Nro. 50	Nro. 80	Nro. 200
	Pasa tamiz (%)								
LA — 13	100	85 — 100	60 — 85	40 — 60	28 — 45	19 — 34	12 — 25	7 — 18	4 — 8
LA — 10	-	100	70 — 90	45 — 70	28 — 50	19 — 34	12 — 25	7 — 18	5 — 11
LA — 5	-	100	85 — 100	65 — 90	45 — 70	30 — 50	18 — 30	10 — 20	5 — 15
LA — 3	-	-	100	95 — 100	65 — 90	40 — 60	24 — 42	15 — 30	10 — 20
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	4 %			3 %					1 %

La gradación LA — 3 solamente se puede utilizar para el sellado de grietas y como sello fino en carreteras de bajo tránsito (NT1). La gradación LA — 5 es de aplicación general para mejorar la macrotextura de la superficie. Las gradaciones LA — 10 y LA — 13 producen superficies con una macrotextura profunda y se emplean en vías con un alto nivel de tránsito (NT3).

433.2.2 Material bituminoso

Debe ser una emulsión catiónica convencional, de rotura lenta y superestable del tipo CRL-57h, que cumpla los requisitos indicados en artículo 411, o una emulsión modificada con polímeros, catiónica de rotura lenta y superestable del tipo CRL-57hm, que cumpla los requisitos indicados en el artículo 415. En caso de vías con alto nivel de tránsito (NT3), se debe emplear una emulsión modificada con polímeros.

Los documentos del proyecto deben indicar el tipo de emulsión por emplear, basándose principalmente en el tipo de agregado, las características del tránsito y las condiciones climáticas locales.

Con el fin de verificar las condiciones del material bituminoso, previo al inicio de las labores, el constructor debe presentar los certificados de los ensayos de calidad correspondientes, conforme a lo establecido en el artículo 411 o 415, según corresponda.

433.2.3 Agua

El agua para la preenvuelta debe ser limpia y libre de materia orgánica, así como de sales nocivas, químicos reactivos, aceites o contaminantes. Su calidad debe ser tal, que no afecte el proceso normal de elaboración, rotura y curado de la lechada. Puede ser agua potable; si no lo es, debe cumplir los requisitos que se indican en la Tabla 433 — 5.

Tabla 433 — 5. Requisitos del agua no potable para la construcción lechadas asfálticas

Característica	Norma de ensayo ASTM	Requisito
pH	D1293	5,5 — 8,0
Contenido de sulfatos, expresado como $SO_4^=$, máximo (kg/m^3)	D516	1,0

433.2.4 Aditivos para control de rotura

Cuando las características del proyecto exijan un control especial de los tiempos de rotura y apertura al tránsito, se deben emplear aditivos cuyas características se deben definir en las especificaciones particulares de construcción. Su dosificación y modo de dispersión, deben contar con aprobación del interventor, apoyado en el estudio técnico que los justifique (pruebas de calidad).

433.2.5 Aditivos para modificar la reología

En caso de incorporar productos modificadores de la reología de una lechada asfáltica elaborada con emulsión asfáltica convencional, fibras, por ejemplo, los documentos del proyecto deben determinar su dosificación, así como la del ligante utilizado, de manera que el comportamiento de la lechada sea semejante al que se obtendría al emplear una emulsión modificada con polímeros. A fin de verificar esta condición, es necesario que el constructor presente las curvas reológicas de los materiales (modificado y convencional).

433.3 Equipo

Se aplica lo que sea pertinente del numeral 400.3 del artículo 400.

El equipo debe incluir los elementos necesarios para la explotación, elaboración y clasificación de los agregados, una mezcladora móvil autopropulsada para la fabricación y extensión de la lechada; elementos para la limpieza de la superficie, elementos para el humedecimiento de la superficie y herramientas menores para correcciones localizadas durante la extensión de la lechada.

La mezcladora móvil debe ser de tipo continuo, dotada de las tolvas, tanques y dispositivos necesarios, de lectura fácil, sincronizados para dosificar de manera precisa los agregados, el llenante, el agua, la emulsión y los aditivos que requiera la lechada, de manera que permita obtener la composición correspondiente a la fórmula de trabajo; debe tener, además, un mezclador capaz de combinar uniformemente los componentes y descargar en flujo continuo, y una caja repartidora o rastra, que cubra como mínimo el ancho del carril, provista de dispositivos para evitar pérdidas laterales y de una maestra regulable de caucho que permita el correcto reparto, extensión y buena terminación de la lechada. La rastra debe llevar en su interior un dispositivo que reparta uniformemente la lechada asfáltica ante la maestra.

El mezclador de la máquina debe ser de doble eje y de paletas múltiples, siempre que la lechada se elabore con una emulsión asfáltica modificada con polímeros.

433.4 Ejecución de los trabajos

433.4.1 Explotación de materiales y elaboración de agregados

Rige lo establecido en el numeral 105.13.3 del artículo 105, Desarrollo de los trabajos.

433.4.2 Diseño de la lechada y obtención de la fórmula de trabajo

Rige todo lo que resulte pertinente del numeral 400.4.2 del artículo 400.

La consistencia apropiada de la lechada se debe determinar en el laboratorio por medio de la prueba del cono de consistencia (norma de ensayo INV E-777).

El contenido óptimo de ligante se debe determinar mediante los ensayos mecánicos de abrasión en pista húmeda, según la norma de ensayo INV E-778 y absorción de arena en la máquina de rueda cargada, de acuerdo con la norma de ensayo INV E-779. Para la elección del contenido óptimo, se deben tener en cuenta los criterios indicados en la Tabla 433 — 6.

Salvo que los ensayos del diseño indiquen lo contrario, la composición de la lechada se debe ajustar a lo establecido en la Tabla 433 — 7.

La lechada asfáltica no se puede fabricar a escala industrial, mientras el interventor no haya aprobado la fórmula de trabajo y realizado las verificaciones correspondientes en la fase de experimentación.

Tabla 433 — 6. Criterios para el diseño de lechadas asfálticas

Ensayo	Norma de ensayo INV	Valor máximo
Pérdida en el ensayo de abrasión en pista húmeda	E-778	0,065 g/cm^2
Absorción de arena en la máquina de rueda cargada: Tránsito medio diario (vehículos): - Menos de 300 - De 300 a 1 500 - Más de 1 500	E-779	1 por semana 0,08 g/cm^2 0,07 g/cm^2 0,06 g/cm^2

433.4.3 Preparación de la superficie existente

Antes de proceder a la aplicación de la lechada asfáltica, la superficie que la va a recibir se debe limpiar de polvo, barro seco o cualquier material suelto que pueda ser perjudicial, utilizando barredoras mecánicas o máquinas sopladoras. Solo se debe permitir el uso de escobas manuales en lugares inaccesibles a los equipos mecánicos o donde las autoridades ambientales prohíban el uso de estos.

Si la superficie sobre la cual se va a aplicar la lechada corresponde a un pavimento asfáltico, se deben eliminar previamente, mediante fresado, todos los excesos de ligante que puedan existir y se deben reparar todos los desperfectos que puedan impedir una correcta

adherencia de la lechada asfáltica, tales como grietas, ahuellamientos y/o baches.

Las tapas de alcantarillas, válvulas y otras entradas de servicio se deben proteger de la aplicación con un método adecuado.

Tabla 433 — 7. Composición de las lechadas asfálticas

Composición	Tipo de gradación			
	LA — 13	**LA — 10**	**LA — 5**	**LA — 3**
Ligante residual (porcentaje (%) en masa sobre agregados)	5,5 — 7,5	6,5 — 12	7,0 — 13	10 — 15
Agua de preenvuelta (porcentaje (%) en masa sobre agregados)	8 — 12	10 — 15	10 — 15	10 — 20
Agua total (porcentaje (%) en masa sobre agregados)	10 — 20	10 — 20	10 — 20	10 — 30
Cantidad de lechada (kg/m2)	15 v 20	10 — 15	7 — 12	4 — 8
Capa en que se aplica	2.ª o única		cualquiera	1.ª o única

433.4.4 Fase de experimentación

Se aplica lo indicado en el numeral 400.4.3 del artículo 400.

433.4.5 Elaboración y aplicación de la lechada asfáltica

Una vez preparada y antes de iniciar la extensión de la lechada, la superficie por tratar debe ser humedecida con agua de manera uniforme en una cantidad que se debe fijar en acuerdo con el interventor, a la vista del estado de la superficie y las condiciones climatológicas prevalecientes. La tasa de distribución del agua puede estar entre cero coma trece y cero coma veintisiete litros por metro cuadrado (0,13 L/m^2 — 0,27 L/m^2) y se debe ajustar durante el día de acuerdo con las variaciones de temperatura, textura superficial y humedad del pavimento.

Las proporciones de los componentes de la lechada deben corresponder a la fórmula de trabajo aprobada.

La incorporación de los ingredientes se debe hacer de manera que la envuelta de los agregados por parte del ligante sea completa y homogénea mientras la lechada permanezca en el cajón mezclador.

La lechada preparada en el cajón mezclador de la máquina debe pasar a través de una compuerta vertedero a la caja repartidora, la cual se debe encargar de distribuirla de manera uniforme sobre la superficie.

El avance del equipo se debe hacer paralelamente al eje de la carretera y su velocidad se debe ajustar para garantizar una aplicación correcta de la lechada y una textura uniforme. Los límites de velocidad pueden estar entre los veinte y los cincuenta y cinco metros por minuto (20 m/min — 55 m/min).

El espesor de puesta en obra de la lechada no debe exceder el correspondiente al tamaño máximo nominal del agregado pétreo empleado en su elaboración.

No se debe colocar ninguna mezcla cuya emulsión hubiere dado rompimiento antes de las operaciones de distribución, ni cuando existan demoras de más de treinta minutos (30 min) entre la preparación de la mezcla y su colocación.

433.4.6 Juntas de trabajo

Las juntas de trabajo longitudinales no pueden presentar traslapos ni áreas sin cubrir y las acumulaciones que se produzcan deben ser alisadas manualmente de manera inmediata, antes de la rotura de la emulsión. Al finalizar la extensión de una franja, se debe realizar una junta transversal de trabajo, la cual debe ser recta y perpendicular al eje de la vía. Los traslapos de las juntas transversales deben ser alisados antes de la rotura de la emulsión, de modo que no se presenten cambios apreciables en la uniformidad de la superficie.

433.4.7 Aplicación en varias capas

En caso de estar prevista una segunda aplicación de lechada asfáltica, esta no se puede efectuar hasta cuando haya curado por completo el material extendido en la primera aplicación y haya sido sometido al tránsito automotor al menos durante un día (1 d). El material que se desprenda debe ser barrido antes de proceder a la aplicación de la segunda capa.

Las juntas longitudinales y transversales de la segunda capa no deben coincidir con las de la primera.

433.4.8 Apertura al tránsito

Se debe impedir la circulación de todo tipo de tránsito sobre las capas que no hayan curado completamente. El tiempo requerido para dicho curado depende del tipo de emulsión, de las características de la mezcla y de las condiciones climáticas y debe ser definido en la obra conjuntamente con el interventor.

433.4.9 Limitaciones en la ejecución

No se permite la elaboración y la aplicación de la lechada, si la temperatura ambiente a la sombra y la de la superficie son inferiores a ocho grados Celsius (8 °C) o haya lluvia o fundados temores de que ella ocurra.

Los trabajos de construcción se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que resulte adecuado, y que cuente con la aprobación del interventor. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

433.4.10 Manejo ambiental

Al respecto, rige el artículo 106, Aspectos ambientales, así como todo lo que resulte aplicable del numeral 400.4.7 del artículo 400.

433.4.11 Reparaciones

Todos los defectos que se presenten durante la ejecución de la lechada asfáltica, tales como

juntas irregulares, deficiencias o excesos de dosificación, irregularidades en el alineamiento, huellas del tránsito sobre la lechada sin curar, etc., deben ser corregidos por el constructor, sin costo para INVÍAS y hasta contar con la aprobación del interventor.

433.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

433.5.1 Controles

Rige lo indicado en el numeral 400.5.1 del artículo 400.

433.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

433.5.2.1 Calidad de la emulsión

Los requisitos de calidad, controles y criterios de aceptación para la emulsión son los establecidos en los artículos 411 o 415, según corresponda.

433.5.2.2 Calidad del agua

Siempre que el interventor tenga alguna sospecha en relación con la calidad del agua empleada, debe verificar su pH y su contenido de sulfatos, cuyos valores deben ser acordes con lo exigido en el numeral 433.2.3, para permitir su empleo.

433.5.2.3 Calidad de los agregados pétreos y el llenante mineral

De cada procedencia de los agregados pétreos y para cualquier volumen previsto, se deben tomar cuatro (4) muestras y a cada fracción de ellas se le deben realizar los ensayos que sean pertinentes de aquellos que se encuentran indicados en la Tabla 433 — 1.

Así mismo, para cada procedencia del llenante mineral y para cualquier volumen previsto, se deben tomar cuatro (4) muestras y sobre ellas se debe determinar la densidad *bulk* (norma de ensayo INV E-225).

Los resultados de todas estas pruebas deben satisfacer las exigencias indicadas en el numeral 433.2.1. Todos los materiales defectuosos deben ser rechazados por el interventor.

Durante la etapa de producción, se deben examinar las descargas a los acopios y se deben retirar los agregados que, a simple vista, presenten restos de tierra vegetal, materia orgánica o tamaños superiores al máximo especificado. También, se deben acopiar por separado aquellos que presenten alguna anomalía de aspecto, tal como distinta coloración, segregación, partículas alargadas o aplanadas y plasticidad, y se debe vigilar la altura de todos los acopios y el estado de sus elementos separadores.

Además, efectuar las verificaciones de calidad de los agregados indicadas en la Tabla 433 — 7. Sobre el llenante mineral se deben efectuar pruebas de densidad *bulk* (norma de ensayo INV E-225) a razón de una (1) vez por semana, como mínimo, y siempre que se cambie la procedencia del llenante.

El interventor puede autorizar la reducción de la frecuencia de los ensayos a la mitad de lo indicado en la Tabla 433 — 8, siempre que este considere que los materiales son suficientemente homogéneos o si en el control de recibo de la obra terminada hubiese aceptado sin objeción diez (10) lotes consecutivos.

En ningún caso se deben emplear agregados o llenante que no satisfagan los requisitos

pertinentes del numeral 433.2.1. En la eventualidad de que alguna prueba dé lugar a un resultado no satisfactorio, se deben tomar dos muestras adicionales del material y se debe repetir la prueba. Los resultados de ambos ensayos de comprobación deben ser satisfactorios o, de lo contrario, el interventor no debe autorizar la utilización del material al cual representen dichos ensayos.

Tabla 433 — 8. Ensayos de verificación sobre los agregados para lechadas asfálticas

Característica	Norma de ensayo INV	Frecuencia
Composición (F)		
Granulometría	E-213	1 por jornada
Dureza, agregado grueso (O)		
Desgaste en la máquina de Los Ángeles	E-218	1 por mes
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval	E-238	1 por mes
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio	E-220	1 por mes
Limpieza, gradación combinada (F)		
Índice de plasticidad	E-125 y E-126	1 por jornada
Equivalente de arena	E-133	1 por semana
Valor de azul de metileno (Nota)	E-235	1 por semana
Geometría de las partículas, agregado fino (F)		
Angularidad de la fracción fina, método A	E-239	1 por jornada
Adhesividad (O)		
Riedel-Weber	E-774	1 por semana

Nota: en caso de que no se cumpla el valor mínimo de equivalente de arena señalado en la Tabla 433 — 1.

433.5.2.4 Composición y resistencia de la lechada

433.5.2.4.1 Contenido de asfalto

Para efectos del control, se debe considerar como lote que se acepta o rechaza en su totalidad, la lechada asfáltica correspondiente a dos (2) cargas de la máquina mezcladora. De ella, se debe extraer un mínimo de cinco (5) muestras de la mezcla en la descarga de la máquina, de una masa aproximada de dos kilogramos (2 kg) cada una, las cuales se deben emplear en la determinación del contenido de asfalto (norma de ensayo INV E-732) y la granulometría de los agregados (norma de ensayo INV E-782).

El contenido medio de asfalto residual del tramo constituido por el lote (*ART* %) no debe diferir del contenido de asfalto establecido en la fórmula de trabajo (*ARF* %) en más de cero coma cinco por ciento (0,5 %).

$$(ARF\ \%\text{-}0{,}5\ \%) \leq ART\ \% \leq (ARF\ \%\text{+}0{,}5\ \%) \quad [433.1]$$

A su vez, solo se debe admitir un valor de contenido de asfalto residual de muestra individual (*ARI* %) que se aparte en más de uno por ciento (1,0 %) del valor medio del lote.

$$(ART\ \%\text{-}1{,}0\ \%) \leq ARI\ \% \leq (ART\ \%\text{+}1{,}0\ \%) \quad [433.2]$$

Si alguno de estos requisitos se incumple, se debe rechazar el lote. En este caso, la lechada asfáltica correspondiente al lote controlado debe ser levantada mediante fresado y repuesta hasta contar con la aprobación del interventor, sin costo adicional para INVÍAS. Si durante el proceso de remoción de la lechada se causa algún deterioro a la capa subyacente, esta debe ser reparada hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS, antes de reponer la lechada. El material fresado es de propiedad del constructor.

433.5.2.4.2 Granulometría de los agregados

Sobre las muestras utilizadas para hallar el contenido de asfalto, se debe determinar la composición granulométrica de los agregados según la norma de ensayo INV E-782. La curva granulométrica, en cada ensayo individual, debe ser sensiblemente paralela a los límites de la franja adoptada y estar ajustada a la fórmula de trabajo con las tolerancias que se indican en la Tabla 433 — 3. No se debe permitir que la curva se salga de los límites de dicha franja.

Cuando los valores obtenidos incumplan los requisitos establecidos en la Tabla 433 — 3, pero no salgan de la franja, el constructor debe preparar una lechada con la gradación defectuosa y el porcentaje de emulsión que dé lugar al contenido medio de asfalto residual de la lechada elaborada con este agregado. Ella se debe someter a las pruebas de resistencia y absorción mencionadas en el numeral 433.4.2 de esta especificación. En caso de no cumplir los requisitos exigidos por dichas pruebas, se debe rechazar el lote.

En caso de rechazo, la lechada asfáltica correspondiente al lote controlado debe ser levantada mediante fresado y repuesta hasta contar con la aprobación del interventor, sin costo adicional para INVÍAS. Si durante el proceso de remoción de la lechada se causa algún deterioro a la capa subyacente, esta debe ser reparada hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS, antes de reponer la lechada. El material fresado es de propiedad del constructor.

433.5.2.4.3 Resistencia

Por cada lote se deben extraer dos (2) muestras de la mezcla en la descarga de la máquina (una de cada carga que constituye el lote), con las cuales se deben elaborar probetas para los ensayos de abrasión en pista húmeda (norma de ensayo INV E-778) y absorción de arena en la máquina de rueda cargada (norma de ensayo INV E-779).

El desgaste medio (d_m) y la absorción media de arena (A_m), no deben superar los valores definidos en la fórmula de trabajo (d_t) y (A_t) en más de veinte por ciento (20 %). En caso contrario, se debe rechazar el lote.

$$d_m \leq 1{,}2\ d_t \quad [433.3]$$

$$A_m \leq 1{,}2\ A_t \quad [433.4]$$

En caso de rechazo, la lechada asfáltica correspondiente al lote controlado debe ser levantada mediante fresado y repuesta hasta contar con la aprobación del interventor, sin costo adicional para INVÍAS. Si durante el proceso de remoción de la lechada se causa algún deterioro a la capa subyacente, esta debe ser reparada hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS, antes de reponer la lechada. El material fresado es de propiedad del constructor.

433.5.2.5 Calidad del producto terminado

El pavimento terminado se debe ajustar a las rasantes y pendientes establecidas en los documentos del proyecto y presentar una superficie uniforme. La distancia entre el eje del proyecto y el borde del pavimento tratado con lechada asfáltica no puede ser, en ningún punto, inferior a la señalada en los documentos del proyecto.

Para cada lote, se deben realizar los siguientes controles:

433.5.2.5.1 Tasa de aplicación

La dotación de la lechada se debe verificar mediante el pesaje de bandejas metálicas u hojas de papel resistente, colocadas durante la aplicación de la lechada, en no menos de cinco (5) puntos del área considerada como lote, ubicados al azar según la norma de ensayo INV E-730, pero de manera que se realice al menos una (1) prueba por hectómetro.

La tasa media de aplicación (*TMA*), en kilogramos por metro cuadrado (kg/m^2), no puede variar en más de quince por ciento (15 %) de la autorizada como resultado de la fase de experimentación (*TME*), so pena de rechazo del tramo que constituye el lote.

$$0{,}85\ TME \leq TMA \leq 1{,}15\ TME \quad [433.5]$$

En caso de rechazo, la lechada asfáltica correspondiente al lote controlado debe ser levantada mediante fresado y repuesta hasta contar con la aprobación del interventor, sin costo adicional para INVÍAS. Si durante el proceso de remoción de la lechada se causa algún deterioro a la capa subyacente, esta debe ser reparada hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS, antes de reponer la lechada. El material fresado es de propiedad del constructor.

433.5.2.5.2 Textura

Por cada lote se deben efectuar, como mínimo, tres (3) pruebas de profundidad de textura con el círculo de arena (INV E-791). Las pruebas se deben realizar dentro de los quince días (15 d) siguientes a la extensión de la lechada.

Ningún valor de la profundidad de textura puede ser inferior en más de veinte por ciento (20 %) al promedio mínimo exigido en la Tabla 433 — 9.

El incumplimiento de este requisito implica el rechazo del lote representado por los ensayos. En tal caso, la lechada debe ser levantada mediante fresado y repuesta con una adecuada, por cuenta del constructor, hasta contar con la aprobación del interventor y sin costo alguno para INVÍAS. Si durante el proceso de remoción de la lechada se causa

algún deterioro a la capa subyacente, esta debe ser reparada hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS, antes de reponer la lechada.

Tabla 433 — 9. Valores promedio de la profundidad de textura mínimos admisibles para las lechadas asfálticas

Característica	Tipo de lechada			
	LA — 13	LA — 10	LA — 5	LA — 3
Profundidad de textura, mínimo (mm)	1,1	0,9	0,7	0,5

433.5.2.5.3 Resistencia al deslizamiento

Por cada lote se deben efectuar, como mínimo, tres (3) ensayos de resistencia al deslizamiento de conformidad con la norma de ensayo INV E-792. Tales ensayos se deben realizar una vez transcurridos treinta días (30 d) desde la aplicación de la lechada.

Los valores promedio de la resistencia al deslizamiento con el péndulo británico no puede ser menores que los mínimos admisibles relacionados en la Tabla 433 — 10. Ningún valor individual del coeficiente de resistencia al deslizamiento puede ser inferior al valor indicado en dicha tabla en más de diez unidades (10) ni ser inferior a cuarenta y cinco (45).

La resistencia al deslizamiento se puede verificar también con dispositivos de rueda parcialmente bloqueada (norma de ensayo INV E-815). En tal caso, la especificación particular debe indicar el equipo autorizado, así como los valores mínimos por alcanzar, los cuales debe ser, cuando menos, equivalentes a los señalados en la Tabla 433 — 10 para el péndulo británico.

El incumplimiento de este requisito implica el rechazo del lote representado por los ensayos. En tal caso, la lechada debe ser levantada mediante fresado y repuesta con una adecuada, por cuenta del constructor, hasta contar con la aprobación del interventor y sin costo alguno para INVÍAS. Si durante el proceso de remoción de la lechada se causa algún deterioro a la capa subyacente, esta debe ser reparada hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS, antes de reponer la lechada. El material fresado es de propiedad del constructor.

Tabla 433 — 10. Resistencia al deslizamiento con el péndulo británico para las lechadas asfálticas

Característica	Tipo de lechada			
	LA — 13	LA — 10	LA — 5	LA — 3
Promedio del coeficiente de resistencia, mínimo:				
- Glorietas; curvas con radios menores de 200 m; pendientes ≥ 5 % en longitudes de 100 m o más; intersecciones; zonas de frenado frecuente:				
• NT1	55		50	50
• NT2	60		60	55
• NT3	60		60	60
- Otras secciones:				
• NT1	50		45	45
• NT2	60		55	50
• NT3	60		55	55

433.5.2.5.4 Regularidad superficial

Debido a sus características y limitado espesor, las lechadas asfálticas no pueden corregir defectos asociados con la falta de regularidad del perfil longitudinal de la calzada. Por tal razón, no se debe permitir la colocación de la lechada, mientras no se garantice que la superficie de la capa sobre la cual se va a construir cumpla los requisitos que se exigen sobre el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en la especificación general o particular referente a dicha capa.

433.5.2.6 Modificación eventual de la extensión del lote

Si el interventor considera que las deficiencias de calidad del producto terminado no son generalizadas en toda el área considerada como lote en el numeral 433.5.2.4.1, sino que se restringen a la superficie tratada por una sola carga del equipo empleado en la aplicación de la lechada, puede modificar la extensión del lote, limitándola al tramo construido con dicha carga.

433.6 Medida

Rige lo pertinente del numeral 400.6 del artículo 400 y, en particular, lo indicado en el numeral 400.6.1.

433.7 Forma de pago

Rige lo pertinente del numeral 400.7 del artículo 400 y, en particular, lo indicado en el numeral 400.7.2.

433.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
433.1	Lechada asfáltica con emulsión CRL-57h, tipo LA — 13	Metro cuadrado (m^2)
433.2	Lechada asfáltica con emulsión CRL-57h, tipo LA — 10	Metro cuadrado (m^2)
433.3	Lechada asfáltica con emulsión CRL-57h, tipo LA — 5	Metro cuadrado (m^2)
433.4	Lechada asfáltica con emulsión CRL-57h, tipo LA — 3	Metro cuadrado (m^2)

Ítem	Descripción	Unidad
433.5	Lechada asfáltica con emulsión CRL-57hm, tipo LA — 13	Metro cuadrado (m^2)
433.6	Lechada asfáltica con emulsión CRL-57hm, tipo LA — 10	Metro cuadrado (m^2)
433.7	Lechada asfáltica con emulsión CRL-57hm, tipo LA — 5	Metro cuadrado (m^2)
433.8	Lechada asfáltica con emulsión CRL-57hm, tipo LA — 3	Metro cuadrado (m^2)

Mezclas asfálticas en frío (densa y abierta)

Artículo 440 – 22

440.1 Descripción

Este trabajo consiste en la elaboración, el transporte, la colocación y la compactación de una mezcla asfáltica preparada en frío, de acuerdo con esta especificación y de conformidad con los alineamientos, las cotas, las secciones y los espesores indicados en los documentos del proyecto.

La Tabla 440 — 1 relaciona dos tipos de mezclas asfálticas en frío, en función del tipo de granulometría densa o abierta. Las mezclas asfálticas de tipo abierto pueden ser preparadas en una planta fija o ambulante.

Tabla 440 — 1. Tipos de mezclas asfálticas en frío

Tipo	Denominación
Mezclas densas	MDF
Mezclas abiertas	MAF

440.2 Materiales

440.2.1 Agregados pétreos y llenante mineral

440.2.1.1 Requisitos generales

Los requisitos que se exigen en esta sección son de tipo prescriptivo, para evaluar la calidad de los materiales que componen la mezcla asfáltica. En caso de no cumplirse alguno(s) de ellos, la aceptación o rechazo respectivos deben ser evaluados según las premisas de desempeño indicadas en el diseño, y según sean las condiciones de las fuentes locales. La aprobación debe ser sustentada mediante un informe técnico detallado, desarrollado por el especialista en pavimentos y/o geotecnia, donde se consigne cuál debe ser el desempeño y la durabilidad, proponiendo las estrategias necesarias para garantizar el cumplimiento del diseño. El interventor debe aprobar o rechazar los materiales en función de los requisitos establecidos en esta sección y en los establecidos en el informe de desempeño del especialista.

Los agregados pétreos y el llenante mineral deben cumplir los requisitos generales del numeral 400.2.1 del artículo 400. Adicionalmente, deben cumplir los requisitos específicos de la Tabla 440 — 2.

Tabla 440 — 2. Requisitos de los agregados para mezclas asfálticas en frío

Característica	Norma de ensayo	Nivel de tránsito		
		NT1	NT2	NT3
Dureza, agregado grueso (O)				
Desgaste en la máquina de Los Ángeles, máximo (%). (Nota 1): - Capa de: rodadura/intermedia/base	INV E-218	25/35/-	25/35/35	25/35/35
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%): - Capa de: rodadura/intermedia/base	INV E-238	-	25/30/30	20/25/25
Resistencia mecánica por el método del 10 % de finos, capa de: rodadura/intermedia/base: - Valor en seco, mínimo (kN) - Relación húmedo/seco, mínimo (%)	INV E-224	-	-	110/90/75 75/75/75
Coeficiente de pulimiento acelerado para rodadura, mínimo.	INV E-232	45	45	45
Durabilidad (O)				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio, agregados fino y grueso, máximo (%).	INV E-220	18	18	18
Análisis petrográfico				
Cuantifica los porcentajes relativos de los diferentes minerales y las tipologías de rocas que componen el agregado (Nota 2).	ASTM C295	-	-	Reportar
Limpieza, agregado grueso (F)				
Impurezas en agregado grueso, máximo (%).	INV E-237	0,5	0,5	0,5
Limpieza, gradación combinada (F) (Nota 2)				
Índice de Plasticidad, máximo (%).	INV E-125 e INV E-126	NP	NP	NP
Equivalente de arena, mínimo (%).	INV E-133	50	50	50
Valor de azul de metileno, máximo.	INV E-235	10	10	10
Geometría de las partículas, agregado grueso (F)				
Partículas planas y alargadas, relación 5:1, máximo (%).	INV E-240	10	10	10
Caras fracturadas, mínimo (%): - Una cara: rodadura/intermedia/base - Dos caras: rodadura/intermedia/base	INV E-227	75/60/- -/-/-	75/75/60 60/-/-	85/75/60 70/-/-
Geometría de las partículas, agregado fino (F) (Nota 2)				
Angularidad de la fracción fina, método A, mínimo (%): - Capa de: rodadura/intermedia/base	INV E-239	40/35/-	45/40/35	45/40/35

Característica	Norma de ensayo	Nivel de Tránsito		
		NT1	NT2	NT3
Gravedad específica				
Agregado grueso: cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos en presencia del agua hirviendo (%).	INV E-757	Reportar		
Agregado fino (Nota 3): adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos (método Riedel-Weber), índice mínimo.	INV E-774	4		
Gravedad específica y absorción	INV E-222 y INV E-223	Reportar		

Nota 1: se aceptan valores superiores de desgaste siempre y cuando el valor de Micro-Deval se cumpla; esta nota no resulta aplicable para tránsito NT1.

Nota 2: este ensayo es aplicable únicamente para transito NT3. El informe debe cuantificar los porcentajes relativos de los diferentes minerales y las tipologías de rocas que componen el agregado, debe incluir advertencia sobre la presencia de minerales contaminantes, deletéreos, con posibles reactividades químicas, inestables o susceptibles a cambios volumétricos. Debe indicar el grado de meteorización o de alteración del agregado, y la porosidad. También debe incluir valores de acidez y carga de partícula con un concepto sobre la adherencia con el asfalto y las emulsiones.

Nota 3: los requisitos de los agregados referidos a Limpieza, gradación combinada (F) y Geometría de las partículas, agregado fino (F), no son aplicables a los agregados pétreos empleados en la preparación de mezclas de tipo abierto, en la medida que estas mezclas tienen grandes porcentajes de vacíos y no tienen en su composición porcentajes significativos de agregado fino ni llenante mineral.

440.2.1.2 Agregado grueso

El agregado grueso debe proceder de la trituración de roca o de grava o por una combinación de ambas; sus fragmentos deben ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables. El agregado grueso debe estar exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan impedir la adhesión completa del material bituminoso.

440.2.1.3 Agregado fino

El agregado fino debe proceder en su totalidad de la trituración de roca de cantera o de grava natural o parcialmente de fuentes naturales de arena. La proporción de arena natural no puede exceder los valores indicados en la Tabla 440 — 3.

Tabla 440 — 3. Proporción de arena natural en el agregado para mezclas asfálticas densas en frío

Característica	NT1	NT2	NT3
Proporción de arena natural: porcentaje (%) de la masa total del agregado combinado.	≤ 25	≤ 25	≤ 15
Proporción de arena natural: porcentaje (%) de la masa total del agregado fino.	≤ 50		

Nota: los requisitos de la Tabla 440 — 3 no son aplicables a mezclas asfálticas en frío de tipo abierto.

440.2.1.4 Llenante mineral

El llenante mineral puede provenir de los procesos de trituración de los agregados pétreos o puede ser de aporte como producto comercial, generalmente cal hidratada (ver requisitos en la NTC 4019) o cemento hidráulico (ver requisitos en el numeral 501.2.1 del artículo 501). Debe cumplir los requisitos mencionados en la Tabla 440 — 4.

Tabla 440 — 4. Requisitos del llenante mineral

Característica	Norma de ensayo INV	NT1	NT2	NT3
Granulometría del llenante mineral de aporte: - % que pasa tamiz de 1,18 mm (nro. 16) - % que pasa tamiz de 0,600 mm (nro. 30) - % que pasa tamiz de 0,150 mm (nro. 100) - % que pasa tamiz de 0,075 mm (nro. 200)	E-215		100 97 — 100 95 — 100 70 — 100	
Densidad *bulk* (g/cm^3)	E-225		0,5 — 0,8	
Vacíos del llenante seco compactado (%)	E-229	-	≥ 38	

Nota: los requisitos de la Tabla 440 — 4 no son aplicables a mezclas asfálticas en frío de tipo abierto.

La proporción de llenante mineral de aporte se fija en las especificaciones particulares del proyecto.

440.2.1.5 Granulometría

La granulometría del agregado obtenido mediante la combinación de las distintas fracciones, incluido el llenante mineral cuando aplique, debe estar comprendida dentro de alguna de las franjas fijadas en la Tabla 440 — 5. El análisis granulométrico se debe efectuar, de acuerdo con la norma de ensayo INV E-213.

Tabla 440 — 5. Franjas granulométricas para mezclas asfálticas en frío

Tipo de mezcla	Tipo de gradación	Tamiz (mm / U.S. *Standard*)								
		37,5	25,0	19,0	12,5	9,5	4,75	2,36	0,300	0,075
		1 ½ Pulgadas	1 Pulgada	3/4 Pulgada	1/2 Pulgada	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 8	Nro. 50	Nro. 200
		Pasa tamiz (%)								
Densa	**MDF-38**	100	80 — 95	-	62 — 77	-	45 — 60	35 — 50	13 — 23	3 — 8
	MDF-25	-	100	80 — 95	-	60 — 75	47 — 62	35 — 50	13 — 23	3 — 8
	MDF-19	-	-	100	80 — 95	-	50 — 65	35 — 50	13 — 23	3 — 8
	Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	4 %						3 %		1 %
Abierta	**MAF-38**	100	70 — 95	-	25 — 55	-	0 — 15	0 — 5	-	0 — 2
	MAF-25	-	100	70 — 95	-	20 — 45	0 — 20	0 — 10	-	0 — 2
	MAF-19	-	-	100	70 — 95	-	10 — 30	0 — 10	-	0 — 2
	Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	4 %						3 %		

Para prevenir segregaciones y garantizar los niveles de compactación y resistencia exigidos por la presente especificación, el material que produzca el constructor debe dar lugar a una curva granulométrica uniforme, sensiblemente paralela a los límites de la franja por utilizar, sin saltos bruscos de la parte superior de un tamiz a la inferior del tamiz adyacente y viceversa.

El tipo de gradación por utilizar debe estar en función del tipo de capa y el espesor compacto. Esto se define en los documentos del proyecto, siguiendo los criterios de la Tabla 440 — 6.

Tabla 440 — 6. Tipo de gradación por utilizar en función del tipo y espesor compacto de la capa

Tipo de mezcla	Tipo de gradación	Tipo de capa	Espesor de capas de compactación (mm)
Densa	MDF-19 MDF-25	Rodadura	40 — 50 50 — 75
	MDF-25	Intermedia	≥ 50
	MDF-38	Base	≥ 75

Tipo de mezcla	Tipo de gradación	Tipo de capa	Espesor de capas de compactación (mm)
Abierta	MAF-19 MAF-25	Rodadura	< 40 40 — 75
	MAF-25	Intermedia	40 — 75
	MAF-38	Base	> 75

Nota: para las mezclas densas en el caso de bacheos, el tipo de gradación por emplear depende de las características de las capas existentes y se debe definir en los documentos del proyecto. En el caso de las mezclas asfálticas abiertas en frío, se puede emplear la gradación MAF-38.

440.2.2 Material bituminoso

El material bituminoso para elaborar las mezclas asfálticas en frío debe ser emulsiones asfálticas de rotura media o lenta que cumplan los requisitos de calidad establecidos en el artículo 411, Suministro de emulsión asfáltica catiónica, y que sea compatible con los agregados pétreos por emplear. El tipo de emulsión por emplear se define siguiendo los lineamientos de la Tabla 440 — 7.

Tabla 440 — 7. Tipo de emulsión asfáltica por utilizar en fabricación de mezclas asfálticas en frío

Tipo de mezcla	Tipo de emulsión	Rotura	Designación
Densa	Catiónica	Lenta	CRL-57 CRL-57h
Abierta		Media	CRM-65

440.2.3 Agua

El agua por emplear en la elaboración de mezclas asfálticas en frío debe ser limpia y libre de materia orgánica y otras sustancias perjudiciales. Puede ser agua potable. Si no lo es, debe cumplir los requisitos que se indican en la Tabla 440 — 8.

Tabla 440 — 8. Requisitos del agua no potable para la construcción mezclas asfálticas en frío

Característica	Norma de ensayo ASTM	Requisito
pH	D1293	5,5 – 8,0
Contenido de sulfatos, expresado como $SO_4^=$, máximo (kg/m^3)	D516	1,0

Nota: los requisitos de la Tabla 440 — 8 no son aplicables a mezclas asfálticas en frío de tipo abierto, ya que estas normalmente no requieren la adición de agua.

440.2.4 Aditivos mejoradores de adherencia entre los agregados y el material bituminoso

Cuando se requieran, se deben ajustar a lo descrito en el artículo 412, Suministro de aditivo mejorador de adherencia. La dosificación y la dispersión homogénea del aditivo deben tener la aprobación del interventor.

El constructor debe garantizar que su incorporación no produce efecto nocivo alguno a los agregados, al ligante asfáltico o a la mezcla. Cualquier efecto adverso en el comportamiento del pavimento, que se derive del empleo del aditivo, es de responsabilidad exclusiva del constructor, quien debe efectuar todas las reparaciones que requiera la mezcla compactada, de acuerdo con las instrucciones del interventor y hasta ser aprobada por este.

440.3 Equipo

Los principales elementos requeridos para la ejecución de los trabajos, son los siguientes:

- Equipo para la elaboración de agregados triturados.
- Planta mezcladora fija o móvil.
  Equipo para el transporte de agregados y mezclas.
- Equipo para transferencia de la mezcla (*shuttle buggy*), opcional.
- Pavimentadora autopropulsada para la extensión de la mezcla.
- Equipo de compactación.
- Equipo accesorio.

En relación con el equipo, rige lo que resulte aplicable del numeral 400.3 del artículo 400. A continuación, se mencionan algunos aspectos adicionales:

440.3.1 Equipo de compactación

Se deben utilizar compactadores autopropulsados de rodillos metálicos, de neumáticos, estáticos o vibratorios, triciclos o tándem. El equipo de compactación debe ser aprobado por el interventor, a la vista de los resultados obtenidos en la fase de experimentación.

440.3.2 Equipo accesorio

En caso de que la mezcla se elabore en plantas ambulantes, se debe disponer de vehículos adecuados para el suministro permanente de agregados, agua y emulsión a las plantas.

Para el caso de las mezclas de tipo abierto se requiere, además, un esparcidor mecánico o volqueta desde el cual se pueda repartir arena manualmente sobre la superficie con ayuda de palas. Dado que las mezclas abiertas en frío normalmente no requieren la adición de agua, los depósitos y los dispositivos para la aplicación de esta en la planta pueden no ser necesarios.

440.4 Ejecución de los trabajos

440.4.1 Explotación de materiales y elaboración de agregados

Rige lo establecido en el numeral 105.13.3 del artículo 105, Desarrollo de los trabajos.

440.4.2 Diseño de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo

440.4.2.1 Generalidades

Rige todo lo que resulte aplicable del numeral 400.4.2 del artículo 400.

440.4.2.2 Diseño de la mezcla

Las mezclas asfálticas en frío de tipo denso se deben diseñar por resistencia a la compresión, siguiendo los pasos descritos en la Tabla 440 — 9 y los numerales 440.4.2.2.1, 440.4.2.2.2, 440.4.2.2.3 y 440.4.2.2.4.

Por su parte, para las mezclas de tipo abierto, el contenido del ligante se debe fijar en función de los materiales por emplear, basándose principalmente en la experiencia obtenida en casos análogos. Se debe verificar que las mezclas (especialmente las abiertas) no produzcan escurrimiento de la emulsión. Se debe hacer, ante todo, una determinación del contenido óptimo teórico de ligante, utilizando métodos basados en la superficie específica de los agregados. Luego, con proporciones variables de ligante por encima y por debajo de este óptimo teórico, se deben elaborar mezclas para someterlas al ensayo de cubrimiento y desplazamiento, según la norma INV E-769, cuyos resultados permiten definir la proporción de emulsión, en relación con el peso de los agregados secos.

La fórmula de trabajo debe indicar cuántos días o semanas puede permanecer la mezcla en condiciones de almacenamiento antes de proceder con su instalación.

La mezcla abierta en frío no se puede fabricar a escala industrial, mientras el interventor no haya aprobado la fórmula de trabajo y realizado las verificaciones correspondientes en la fase de experimentación. Igualmente, si durante la ejecución de las obras, varía la procedencia de alguno de los componentes de la mezcla o se rebasan de manera frecuente las tolerancias granulométricas establecidas en este artículo, se debe requerir el estudio de una nueva fórmula de trabajo.

Tabla 440 — 9. Pasos para el diseño de las mezclas asfálticas densas en frío

Pasos	Descripción	Numeral
Diseño preliminar	Contenido de agua de preenvuelta	440.4.2.2.1
	Contenido de ligante	
	Humedad de compactación	
Diseño por resistencia	Prueba de inmersión-compresión	440.4.2.2.2
Verificación del diseño por resistencia (capas de rodadura con tránsito NT3)	Ahuellamiento	440.4.2.2.3

440.4.2.2.1 Diseño preliminar

Los contenidos de agua de preenvuelta y de ligante se deben fijar, en función de los materiales por emplear, basándose principalmente en la experiencia obtenida en casos análogos. Adicionalmente, se deben hacer las determinaciones indicadas en la Tabla 440 — 10.

Tabla 440 — 10. Determinaciones para el diseño preliminar de mezclas asfálticas densas en frío

Parámetro	Norma de ensayo INV	Comentarios
Humedad de compactación	E-142	Se determina la humedad óptima
Contenido óptimo teórico de ligante, utilizando métodos basados en la superficie específica de los agregados	E-741	Con la norma se determina la superficie específica del agregado y se aplica una constante de riqueza apropiada

440.4.2.2.2 Diseño por resistencia

Se deben elaborar mezclas con diferentes contenidos de ligante, por encima y por debajo del óptimo teórico (al menos cuatro (4) contenidos de ligante), para someterlas al ensayo de inmersión-compresión. El contenido óptimo de ligante se debe determinar mediante la aplicación de los criterios mencionados en la Tabla 440 — 11.

Tabla 440 — 11. Criterios de resistencia para la determinación del contenido óptimo de ligante

Parámetro	Norma de ensayo INV	Valor
Resistencia seca *Rs*, mínimo (MPa)	E-622	2,5
Resistencia húmeda *Rh*, mínimo (MPa)		2,0
Resistencia conservada *Rc* = *Rh*/*Rs*, mínimo (%)		75

440.4.2.2.3 Verificación del diseño por resistencia (capas de rodadura en carreteras con tránsito de diseño NT3)

Para capas de rodadura en vías con tránsito de diseño NT3, la mezcla definida como óptima al efectuar el diseño por el método de inmersión-compresión se debe verificar con la medida de su resistencia a la deformación plástica, mediante la pista de ensayo de laboratorio, según la norma de ensayo INV E-756, modificada, de manera que se permita el curado de la mezcla compactada, antes de proceder al ensayo. Debe cumplir los criterios que se presentan en la Tabla 440 — 12.

Tabla 440 — 12. Criterios de resistencia a la deformación plástica para capas de rodadura en carreteras con tránsito NT3

Propiedad	Norma de ensayo INV	Valor
Velocidad máxima de deformación en el intervalo de 105 a 120 minutos (µm/min):	E-756	
- Temperatura media anual > 24 °C		15
- Temperatura media anual ≤ 24 °C		20

Si este requisito no se cumple, se deben efectuar los ajustes necesarios en el diseño de la mezcla.

440.4.2.2.4 Ajuste de la fórmula de trabajo

La fórmula de trabajo establecida en el laboratorio se puede ajustar con los resultados de las pruebas realizadas durante la fase de experimentación. Igualmente, si durante la ejecución de las obras varían la procedencia o las características de alguno de los componentes de la mezcla o se rebasan las tolerancias granulométricas establecidas en este artículo, se debe requerir el estudio de una nueva fórmula de trabajo.

440.4.3 Preparación de la superficie existente

Las mezclas asfálticas en frío no se deben extender hasta que se compruebe que, la superficie sobre la cual se va a colocar tenga la densidad apropiada y las cotas indicadas en los documentos del proyecto. Todas las irregularidades que excedan las tolerancias admitidas en la especificación respectiva se deben corregir, de acuerdo con lo establecido en ella.

Si la extensión de la mezcla requiere riegos previos de imprimación o de liga, ellos se deben realizar conforme lo establecen los artículos correspondientes de estas especificaciones.

Antes de aplicar la mezcla, se debe verificar que haya ocurrido el curado del riego previo. No deben quedar restos de fluidificante en la superficie. Si hubiera transcurrido mucho tiempo desde la aplicación del riego, se debe comprobar que su capacidad de liga con la mezcla no se haya mermado en forma perjudicial. Si ello sucede, el constructor debe efectuar un riego adicional de adherencia, en la cuantía que fije el interventor. Si la pérdida de efectividad del riego anterior es imputable al constructor, el nuevo riego lo debe realizar a su costa.

Las excavaciones para bacheo, así como las operaciones de relleno con los materiales adecuados para restablecer el nivel actual, se deben ejecutar de acuerdo con las indicaciones del artículo 465, para la excavación, y de los artículos que correspondan a los materiales empleados en el relleno de dicha excavación.

Si la superficie sobre la cual se va a colocar la mezcla corresponde a un pavimento asfáltico antiguo que, de acuerdo con los estudios y documentos del proyecto, requiere un fresado previo, este se debe realizar conforme se establece en el artículo 460.

440.4.4 Fase de experimentación

Rige lo indicado en el numeral 400.4.3 del artículo 400.

440.4.5 Aprovisionamiento de los agregados

Cuando la mezcla se elabore en instalaciones fijas, los agregados se deben suministrar fraccionados. El número de fracciones debe ser tal que sea posible, con la instalación que se utilice, cumplir las tolerancias aceptadas en la granulometría de la mezcla. Cada fracción debe ser suficientemente homogénea y se debe poder acopiar y manejar sin peligro de segregación, al cumplir las precauciones que se detallan a continuación.

Cada fracción del agregado se debe acopiar separada de las demás para evitar intercontaminaciones. Si los acopios se disponen sobre el terreno natural, no se deben utilizar los quince centímetros (15 cm) inferiores de ellos. Los acopios se deben construir por capas de espesor no superior a uno coma cinco metros (1,5 m), y no por montones cónicos. Las cargas del material se deben colocar adyacentes, tomando las medidas oportunas para evitar su segregación.

Cuando se detecten anomalías en el suministro, los agregados se deben acopiar por separado, hasta confirmar su aceptabilidad. Esta misma medida se debe aplicar cuando se autorice el cambio de procedencia de un agregado.

La carga de las tolvas se debe realizar de forma que estas contengan entre cincuenta y cien por ciento (50 % – 100 %) de su capacidad, sin rebosar. En las operaciones de carga se deben tomar las precauciones necesarias para evitar segregaciones o contaminaciones. La alimentación del agregado fino se debe realizar en dos (2) tolvas, así este sea de un tipo único.

440.4.6 Fabricación de la mezcla asfáltica

Las aberturas de salida de las tolvas se deben regular, de forma que la mezcla de todos los agregados se ajuste a la fórmula de trabajo de alimentación en frío.

Los agregados preparados, como se ha indicado anteriormente, se deben pesar o medir exactamente. De igual forma, se deben transportar al mezclador, en las proporciones determinadas en la fórmula de trabajo.

Si la instalación de fabricación de la mezcla es de tipo continuo, una vez que los agregados se encuentren en el mezclador, se debe introducir el agua de preenvuelta necesaria, de acuerdo con la humedad de aquellos y, más adelante, la cantidad de emulsión requerida, a la temperatura apropiada, manteniendo la compuerta de salida a la altura que proporcione el tiempo teórico de mezcla especificado.

Nota: lo referente a la incorporación de agua de preenvuelta en el mezclador no resulta aplicable para las mezclas asfálticas en frío de tipo abierto, ya que estas normalmente no requieren la adición de agua.

La tolva de descarga se debe abrir intermitentemente para evitar segregaciones en la caída de la mezcla al camión.

Si la instalación es de tipo discontinuo, después de haber introducido los agregados en el mezclador, se debe añadir el agua necesaria de preenvuelta de acuerdo con la humedad de aquellos y, tras un lapso que permita el humedecimiento homogéneo de los agregados, se debe añadir automáticamente el material bituminoso calculado para cada bachada, el cual se debe encontrar a la temperatura adecuada y se debe continuar la operación de mezcla durante el tiempo especificado.

En los mezcladores de ejes gemelos, el volumen total de los agregados, agua y asfalto no debe ser tan grande que sobrepase los extremos de las paletas, cuando estas se encuentren en posición vertical.

Según el tipo de instalación, la mezcla puede caer directamente a la volqueta, a una banda transportadora, a un silo desde donde se vierte a la volqueta o directamente a una

pila de almacenamiento. En el caso de que se emplee una banda, se debe regular su velocidad, verificar el buen funcionamiento del raspador y lubricarla con una pequeña cantidad de agua, con el fin de evitar segregaciones de la mezcla.

Cuando la mezcla se elabore en plantas ambulantes, la dosificación de los agregados se debe efectuar en una instalación ubicada fuera de la obra, donde las volquetas se deben cargar y deben transportar la mezcla de agregados a la tolva receptora de la planta ambulante, la cual debe estar provista de dispositivos dosificadores similares a los de las plantas continuas, los cuales deben ser sincronizados para obtener las proporciones deseadas de agregados, agua y emulsión. Los ingredientes se deben conducir a una mezcladora continua que debe verter la mezcla en la carretera. La distribución de la mezcla se debe hacer por medio de dos tornillos sinfín delante de una viga maestra niveladora, que extiende y perfila la capa.

En todos los casos en que se empleen aditivos, estos se deben unir a los agregados antes de su mezcla con la emulsión asfáltica.

En caso de que se utilicen métodos de fabricación especiales, el interventor debe aprobar previamente los procedimientos de elaboración.

440.4.7 Transporte de la mezcla

La mezcla se debe transportar a la obra en volquetas, hasta una hora del día en que las operaciones de extensión y compactación se puedan realizar correctamente con la luz solar. Solamente se debe permitir el trabajo en horas de la noche, bajo las condiciones mencionadas en el numeral 440.4.15.

Durante el transporte de la mezcla, se deben tomar las precauciones necesarias para reducir al mínimo las pérdidas de humedad, cuando sea aplicable, y de los solventes volátiles de la emulsión, así como para prevenir la segregación de la mezcla.

Antes de abordar cualquier vía pavimentada, se deben limpiar perfectamente las llantas de los vehículos destinados al transporte de la mezcla. Los vehículos de transporte de mezcla deben mantener al día los permisos de tránsito y ambientales requeridos, y sus cargas por eje y totales se deben encontrar dentro de los límites fijados por la resolución vigente del Ministerio de Transporte.

440.4.8 Transferencia de la mezcla

Si el constructor dispone de una máquina para la transferencia de la mezcla asfáltica (*shuttle buggy*), la volqueta debe descargar la mezcla en la tolva de almacenamiento de la máquina, cuyas bandas transportadoras se deben encargar de alimentar la pavimentadora, sin que esta sea tocada por las llantas de la volqueta, para favorecer de esta manera la regularidad superficial.

440.4.9 Extensión de la mezcla

La mezcla asfáltica en frío se debe extender con la máquina pavimentadora, de modo que se cumpla con los alineamientos, los anchos y los espesores señalados en los documentos del proyecto.

A menos que se ordene otra cosa, la extensión debe comenzar a partir del borde de la calzada en las zonas por pavimentar con sección bombeada, o en el lado inferior de las secciones peraltadas. La mezcla se debe

colocar en franjas del ancho apropiado para realizar el menor número de juntas longitudinales y para conseguir la mayor continuidad en la operación de extendido, teniendo en cuenta el ancho y las pendientes de la sección, las necesidades del tránsito, las características de la pavimentadora y la producción de la planta.

La colocación de la mezcla se debe realizar con la mayor continuidad posible, verificando que la pavimentadora deje la superficie a las cotas previstas, con el fin de no tener que corregir la capa extendida. Por ningún motivo, se debe permitir el empleo de máquinas pavimentadoras que dejen marcas o depresiones en la superficie u otros defectos permanentes en ella.

Tampoco se debe permitir la segregación de materiales. Si ocurre, la extensión de la mezcla se debe suspender inmediatamente hasta que su causa sea determinada y corregida. Toda área segregada que no sea corregida antes de la compactación se debe remover y reemplazar con material apropiado, a expensas del constructor.

Se debe disponer de un número suficiente de obreros especializados tras la pavimentadora, quienes deben agregar mezcla y enrasarla, según se precise, con el fin de obtener una capa que, una vez compactada, se ajuste enteramente a las condiciones indicadas en esta especificación.

En el caso de que la mezcla se elabore y extienda con la planta ambulante, deben ser igualmente aplicables todas estas instrucciones.

Nota: la adición y enrase de la mezcla por parte de obreros tras la máquina pavimentadora no resulta aplicable a mezclas asfálticas en frío de tipo abierto.

En los sitios en los que no resulte posible el empleo de máquinas pavimentadoras o plantas ambulantes, en especial en trabajos de bacheo, la mezcla se puede extender a mano. La mezcla se debe descargar fuera de la zona que se vaya a pavimentar, y se debe distribuir en los lugares correspondientes por medio de palas y rastrillos, en una capa uniforme y de espesor tal, que una vez compactada, se ajuste a los documentos del proyecto, dentro de las tolerancias establecidas en la presente especificación.

440.4.10 Compactación de la mezcla

La compactación de la mezcla se debe realizar de acuerdo con el plan propuesto por el constructor y aprobado por el interventor, durante la fase de experimentación.

La compactación debe empezar por los bordes y avanzar gradualmente hacia el centro, excepto en las curvas peraltadas, donde el cilindro debe avanzar del borde inferior al superior, paralelamente al eje de la vía y traslapando a cada paso, en la forma aceptada por el interventor, hasta que la superficie total haya sido compactada. Los rodillos deben llevar su llanta motriz del lado cercano a la pavimentadora, excepto en los casos que autorice el interventor, y sus cambios de dirección se deben hacer sobre la mezcla ya compactada.

La compactación se debe realizar, de manera continua durante la jornada de trabajo y se debe complementar con el trabajo manual necesario para la corrección de todas las irregularidades que se puedan presentar. Se debe cuidar que los elementos de compactación estén siempre limpios y, si es preciso, húmedos.

En los lugares inaccesibles a los equipos normales de compactación, el proceso se debe efectuar mediante máquinas de tamaño y diseño adecuado para la labor por realizar.

Cuando la mezcla tenga por objeto servir como capa de rodadura, la textura del pavimento terminado debe ser uniforme y permitir la adecuada adherencia con las llantas de los vehículos en condición de superficie húmeda.

Normalmente, la compactación de las mezclas de tipo abierto comienza con una sola pasada del rodillo vibratorio liso, con el fin de obtener la adecuada orientación del agregado. A continuación, se debe extender manualmente una capa de arena, a razón de unos cuatro kilogramos por metro cuadrado (4 kg/m^2), con el fin de eliminar la consistencia viscosa de la mezcla y, posteriormente, se debe pasar el rodillo neumático el número de veces definido en la fase de experimentación, con el fin de que la mezcla alcance un grado de firmeza aprobado por el interventor.

Durante el proceso de compactación en las mezclas abiertas, se debe aplicar un sello de arena para evitar la adhesión de las llantas de los vehículos, debido a la presencia de fluidificantes en la emulsión asfáltica. La arena debe ser natural, proveniente de trituración o una mezcla de ambas; debe estar exenta de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras materias objetables. Sus características deben ser las mismas que se exigen a los agregados para el sello de arena-asfalto, según el artículo 432.

440.4.11 Juntas de trabajo

Las juntas deben presentar la misma textura, densidad y acabado que el resto de la capa compactada.

Las juntas entre pavimentos nuevos y viejos, o entre trabajos realizados en días sucesivos, se deben cuidar, con el fin de asegurar su perfecta adherencia. A todas las superficies de contacto de franjas construidas con anterioridad, se les debe aplicar una capa uniforme y ligera de riego de liga antes de colocar la mezcla nueva, dejándola curar suficientemente.

El borde de la capa extendida con anterioridad se debe cortar verticalmente, con el fin de dejar al descubierto una superficie plana y vertical en todo su espesor, que se debe pintar como se ha indicado en el párrafo anterior. La nueva mezcla se debe extender contra la junta y se debe compactar y alisar con elementos adecuados, antes de permitir el paso sobre ella del equipo de compactación.

Las juntas transversales en la capa de rodadura se deben compactar transversalmente.

Cuando los bordes de las juntas longitudinales sean irregulares, presenten huecos o estén deficientemente compactados, se deben cortar para dejar al descubierto una superficie lisa vertical en todo el espesor de la capa. Donde el interventor lo considere necesario, se debe añadir mezcla que, después de colocada y compactada con pisones, se debe compactar mecánicamente.

Se debe procurar que las juntas de capas superpuestas guarden una separación mínima de cinco metros (5 m) en el caso de las transversales y de ciento cincuenta milímetros (150 mm), en el caso de las longitudinales.

440.4.12 Almacenamiento de mezclas asfálticas en frío

Cuando la mezcla no se vaya a emplear inmediatamente después de su fabricación, se debe

acopiar en un lugar apropiado, donde quede protegida contra la acción de lluvias que puedan lavar la película de ligante. Los acopios se deben realizar por capas de poca altura para evitar la segregación y con una disposición adecuada para prevenir su contaminación.

Si el tiempo de almacenamiento es muy largo y se forma una costra dura en la superficie del acopio, esta costra se debe retirar completamente y descartar en el momento en que se vaya a emplear la mezcla.

440.4.13 Pavimento sobre puentes y viaductos

Las losas de los puentes y los viaductos se deben pavimentar con mezcla densa en frío de la calidad exigida para la capa de rodadura, previa la aplicación del riego de liga mencionado en el numeral 440.4.3.

Durante la ejecución del riego y de la pavimentación, el constructor debe proteger con lonas, papel o similares, todas aquellas partes de los puentes y viaductos que puedan ser afectadas por el ligante bituminoso. El constructor es responsable por todo daño que causen las operaciones de sus equipos y, en consecuencia, todos los trabajos de reparación y limpieza corren por su cuenta.

440.4.14 Bacheos

Al rellenar toda excavación para reparación del pavimento existente cuya profundidad haya sido superior a ciento cincuenta milímetros (150 mm), los últimos setenta y cinco milímetros (75 mm) hasta alcanzar el nivel de la rasante existente se deben rellenar con mezcla asfáltica, la cual se debe compactar con el equipo adecuado hasta alcanzar la densidad especificada. El resto de la excavación se debe rellenar como se establece en los numerales correspondientes a bacheo de subbase y base granulares en los artículos 320 y 330, respectivamente.

Cuando la excavación sea de profundidad menor o igual a ciento cincuenta milímetros (150 mm), se debe rellenar en su totalidad con mezcla asfáltica, en capas de espesor compactado comprendido entre cincuenta y setenta y cinco milímetros (50 mm – 75 mm), hasta alcanzar la rasante existente.

Estos espesores pueden variar, si así lo establecen los documentos del proyecto o lo autoriza el interventor, en particular cuando se trate de labores de conservación y rehabilitación de pavimentos asfálticos antiguos con estructuras complejas.

Tanto la superficie que recibe las capas asfálticas como las paredes de la excavación en contacto con ellas, se deben pintar con un riego de liga, conforme a las instrucciones del interventor.

440.4.15 Apertura al tránsito

En el caso de las mezclas de tipo denso, no se debe permitir el tránsito público, hasta que la mezcla compactada pueda soportar el paso de los vehículos sin que se produzcan desplazamientos. Durante las primeras cuarenta y ocho horas (48 h) a partir de la apertura, se debe limitar la velocidad a veinte kilómetros por hora (20 km/h), para impedir que se produzcan aceleraciones, frenadas o giros bruscos sobre la capa.

Por su parte, en las mezclas de tipo abierto, el tramo pavimentado se puede abrir al tránsito una vez que el grado de compactación alcanzado cuente con la aprobación del interventor. La velocidad de los vehículos se debe limitar a treinta kilómetros por hora (30 km/h) durante las setenta y dos horas (72 h) siguientes a la apertura al tránsito.

En los casos en que la mezcla abierta en frío se construya como capa intermedia, se puede abrir al tránsito con las mismas limitaciones, mientras se construye la capa superior, la cual no se puede colocar hasta que la mezcla abierta se encuentre totalmente curada en cuanto a la eliminación del agua y del fluidificante de la emulsión.

440.4.16 Limitaciones en la ejecución

No se debe permitir la extensión y la compactación de mezclas densas en frío, cuando la temperatura ambiente a la sombra y la de la superficie del pavimento sean inferiores a cinco grados Celsius (5 °C) o haya lluvia o fundados temores de que ella ocurra. En caso de que la mezcla sin compactar o compactada sea afectada por el agua lluvia y como resultado de ello se lave la emulsión, el constructor debe, a su costa, retirar la mezcla afectada y reconstruir el sector afectado, hasta ser aprobado por el interventor.

Los trabajos de construcción de la mezcla asfáltica en frío se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que resulte adecuado, y que cuente con la aprobación del interventor. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

440.4.17 Manejo ambiental

Al respecto, rige el artículo 106, Aspectos ambientales, así como todo lo que resulte aplicable del numeral 400.4.7 del artículo 400.

440.4.18 Reparaciones

El constructor debe corregir, a su costa, todos los defectos no advertidos durante la colocación y la compactación, tales como: protuberancias, juntas irregulares, depresiones, irregularidades de alineamiento y de nivel, de acuerdo con las instrucciones del interventor y hasta contar con su aprobación. El constructor debe proporcionar trabajadores competentes, capaces de ejecutar a satisfacción el trabajo eventual de correcciones en todas las irregularidades del pavimento construido.

440.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

440.5.1 Controles

Rige lo que resulte aplicable del numeral 400.5.1 del artículo 400.

440.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

440.5.2.1 Calidad de la emulsión

Los requisitos de calidad, controles y criterios de aceptación para la emulsión asfáltica son los establecidos en el artículo 411.

440.5.2.2 Calidad del agua

Siempre que el interventor tenga alguna sospecha sobre la calidad del agua empleada en la mezcla, debe verificar su pH y su contenido de sulfatos, cuyos valores deben satisfacer las exigencias indicadas en el numeral 440.2.3, para permitir su empleo.

Si alguna mezcla ha sido elaborada con un agua calificada de inapropiada, se debe poner en observación, hasta el recibo definitivo de los trabajos y, en caso de que presente deterioros, se debe remover y reconstruir por cuenta exclusiva del constructor y hasta ser aprobada por el interventor. La mezcla removida es de propiedad del constructor.

Nota: los requisitos del numeral 440.5.2.2 no son aplicables a mezclas asfálticas en frío de tipo abierto, ya que estas normalmente no requieren la adición de agua.

440.5.2.3 Calidad de los agregados pétreos y del llenante mineral

440.5.2.3.1 Aprobación inicial

De cada procedencia de los agregados pétreos y para cualquier volumen previsto, se deben tomar cuatro (4) muestras y a cada fracción de ellas se le debe realizar los ensayos indicados en la Tabla 440 — 2.

Así mismo, para cada procedencia del llenante mineral cuando sea aplicable y para cualquier volumen previsto, se deben tomar dos (2) muestras y sobre ellas se debe determinar la densidad *bulk*, según la norma INV E-225.

Los resultados de estas pruebas deben satisfacer las exigencias indicadas en el numeral 440.2.1, so pena de rechazo de los materiales defectuosos.

440.5.2.3.2 Control de producción

Durante la etapa de producción, el interventor debe examinar las descargas a los acopios y debe ordenar el retiro de los agregados que, a simple vista, contengan tierra vegetal, presenten restos de materia orgánica, o tamaños superiores al máximo especificado. También, debe ordenar acopiar por separado aquellos que presenten alguna anomalía de aspecto, tal como distinta coloración, segregación, partículas alargadas o aplanadas, y plasticidad, y debe vigilar la altura de todos los acopios y el estado de sus elementos separadores.

Además, debe efectuar las verificaciones de calidad indicadas en la Tabla 440 — 13 para los agregados grueso y fino, y en la Tabla 440 — 14 para el llenante mineral, si este se incorpora de manera independiente.

Tabla 440 — 13. Ensayos de verificación sobre los agregados para mezclas asfálticas en frío

Característica	Norma de Ensayo INV	Frecuencia
Composición (F)		
Granulometría combinada	E-213	1 por jornada
Dureza, agregado grueso (O)		
Desgaste en la Máquina de los Ángeles	E-218	1 por mes
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval	E-238	1 por mes
Resistencia mecánica por el método del 10 % de finos	E-224	1 por mes
Coeficiente de pulimiento acelerado para rodadura	E -232	Cuando cambie la procedencia de los agregados
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio	E-220	1 por mes
Limpieza, agregado grueso (F)		
Impurezas en agregado grueso	E-237	1 por semana
Limpieza, gradación combinada (F)		
Índice de plasticidad	E-125 y E-126	1 por jornada
Equivalente de arena	E-133	1 por semana
Valor de azul de metileno	E-235	1 por semana
Geometría de las partículas, agregado grueso (F)		
Partículas planas y alargadas, relación 5:1	E-240	1 por semana
Caras fracturadas	E-227	1 por jornada
Geometría de las partículas, agregado fino (F)		
Angularidad de la fracción fina, método A	E-239	1 por jornada
Adhesividad (0)		
Agregado grueso: cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos en presencia del agua hirviendo (%).	E-757	Cuando cambie la procedencia de los agregados
Agregado fino: adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos (método Riedel-Weber), índice mínimo.	E-774	
Gravedad específica		
Gravedad específica y absorción	E-222 y E-223	1 por mes y siempre que cambie la procedencia de agregados

Nota: los requisitos de los agregados referidos a Limpieza, gradación combinada (F) y Geometría de las partículas, agregado fino (F) no son aplicables a los agregados pétreos empleados en la preparación de mezclas asfálticas en frío de tipo abierto, en la medida que la fracción de agregado fino en este tipo de mezclas es limitada.

Tabla 440 — 14. Ensayos de verificación sobre el llenante mineral de aporte para mezclas asfálticas en frío

Característica	Norma de ensayo INV	Frecuencia
Granulometría	E-215	1 por suministro
Densidad bulk	E-225	1 vez a la semana y siempre que cambie la procedencia del llenante
Vacíos del llenante seco compactado (%)	E-229	1 vez a la semana y siempre que cambie la procedencia del llenante

Nota: los requisitos de la Tabla 440 — 14 no son aplicables a mezclas asfálticas en frío de tipo abierto.

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

El interventor puede autorizar la reducción de la frecuencia de los ensayos a la mitad de lo indicado en las Tablas 440 — 12, 440 — 13 y 440 — 14, siempre que considere que los materiales son suficientemente homogéneos o si en el control de recibo de la obra terminada hubiese aceptado sin objeción diez (10) lotes consecutivos.

En ningún caso se debe permitir el empleo de agregados minerales que no satisfagan los requisitos del numeral 440.2.1. En la eventualidad de que alguna prueba dé lugar a un resultado no satisfactorio, se deben tomar dos (2) muestras adicionales del material y se debe repetir la prueba. Los resultados de ambos ensayos de comprobación deben ser satisfactorios o, de lo contrario, el interventor no debe autorizar la utilización del material al cual representen dichos ensayos.

440.5.2.4 Composición de la mezcla

A la salida del mezclador o del silo de almacenamiento, sobre cada vehículo de transporte, se debe controlar el aspecto de la mezcla. Se deben rechazar todas las mezclas segregadas, así como aquellas cuya envuelta no sea homogénea.

Cuantitativamente, se deben realizar los siguientes controles:

440.5.2.4.1 Contenido de asfalto

Para las mezclas asfálticas en frío, se debe determinar el contenido de asfalto residual (norma de ensayo INV E-732) sobre muestras de la mezcla elaborada correspondiente a un lote, definido como se indica en el numeral 440.5.2.6.1. Para las mezclas de tipo denso la determinación se debe hacer sobre tres (3) muestras y para las mezclas de granulometría abierta, se debe hacer la misma determinación sobre cinco (5) muestras.

El porcentaje de asfalto residual promedio del lote (*ART* %) debe tener tolerancia de cero coma tres por ciento (0,3 %), respecto del óptimo definido en la fórmula de trabajo (*ARF* %).

$$ARF\ \% - 0{,}3\ \% \leq ART\ \% \leq ARF\ \% + 0{,}3\ \% \quad [440.1]$$

A su vez, el contenido de asfalto residual de cada muestra individual (*ARI* %), no puede diferir del valor promedio (*ART* %), en más de cero coma cinco por ciento (0,5 %), admitiéndose un (1) solo valor fuera de ese intervalo.

$$ART\ \% - 0{,}5\ \% \leq ARI\ \% \leq ART\ \% + 0{,}5\ \% \quad [440.2]$$

Un porcentaje de asfalto residual promedio (*ART* %) fuera de tolerancia, así como un número mayor de muestras individuales por fuera de los límites implica el rechazo del lote salvo que, en el caso de exceso del ligante, el constructor demuestre que no van a existir problemas de comportamiento de la mezcla, ni de inseguridad para los usuarios.

En caso de rechazo, la capa de mezcla asfáltica en frío correspondiente al lote controlado debe ser retirada y repuesta hasta contar con la aprobación del interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material retirado es de propiedad del constructor.

440.5.2.4.2 Granulometría de los agregados

Sobre las muestras utilizadas para hallar el contenido de asfalto, se debe determinar la

composición granulométrica de los agregados, según la norma de ensayo INV E-782. La curva granulométrica de cada ensayo individual debe ser sensiblemente paralela a los límites de la franja adoptada, ajustándose a la fórmula de trabajo con las tolerancias que se indican en la Tabla 440 — 5, pero sin permitir que la curva se salga de la franja.

En caso de que los valores obtenidos excedan las tolerancias, pero no salgan de la franja, el constructor debe preparar en el laboratorio una mezcla con la gradación defectuosa y el porcentaje medio de asfalto de la mezcla elaborada con este agregado. Esta muestra se debe someter a todas las pruebas de valoración descritas en el numeral 440.4.2 de esta especificación. Si los requisitos allí indicados no se cumplen en su totalidad, se debe rechazar el lote.

En caso de rechazo, la capa de mezcla asfáltica en frío correspondiente al lote controlado debe ser levantada mediante fresado y repuesta hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado es de propiedad del constructor.

440.5.2.5 Calidad de la mezcla

Para las mezclas asfálticas en frío de tipo denso que se diseñan por resistencia a la compresión, la mezcla debe cumplir los requisitos de calidad expuestos en el numeral 440.5.2.5.1.

440.5.2.5.1 Resistencia

Con un mínimo de dos (2) muestras por lote de la mezcla elaborada, se deben moldear probetas (tres (3) por muestra), para verificar en el laboratorio su resistencia en el ensayo de inmersión-compresión (norma de ensayo INV E-622). Tres (3) de las probetas se deben curar en seco y tres (3) bajo condición húmeda.

Tanto la resistencia media tras curado seco como tras curado húmedo de las probetas elaboradas (R_m), deben superar, o al menos igualar, al noventa por ciento (90 %) de la respectiva resistencia de la mezcla definitiva de trabajo (R_t)

$$R_m \geq 0{,}90 * R_t \quad [440.3]$$

Además, la resistencia de cada probeta (R_i) debe ser igual o superior al ochenta por ciento (80 %) del valor medio de su respectivo grupo, admitiéndose solo un valor individual por debajo de ese límite:

$$R_i \geq 0{,}80 * R_m \quad [440.4]$$

A su vez, la resistencia conservada promedio (R_{cm}) debe ser, como mínimo, el setenta y cinco por ciento (75 %), sin que al respecto se acepte ninguna tolerancia.

$$R_{cm} \geq 75\ \% \quad [440.5]$$

Si uno o más de estos requisitos se incumplen, se debe rechazar el lote representado por estas muestras. En este caso, la capa de mezcla densa en frío correspondiente al lote controlado debe ser levantada mediante fresado y repuesta hasta contar con la aprobación del interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado es de propiedad del constructor.

El incumplimiento de este requisito en dos (2) lotes consecutivos, implica la suspensión de los trabajos hasta que se estudie y apruebe

una nueva fórmula de trabajo que garantice el cumplimiento de todos los requisitos establecidos en el numeral 440.4.2.

440.5.2.6 Calidad del producto terminado

440.5.2.6.1 Tamaño del lote

Se debe considerar como lote, que se acepta o rechaza en conjunto, la menor área construida que resulte de aplicar los siguientes criterios, para una sola capa de mezcla asfáltica en frío:

- Quinientos metros (500 m) de mezcla colocada en todo el ancho de la calzada.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m^2) de mezcla colocada.
- La obra ejecutada en una jornada de trabajo.

Específicamente para determinar el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), la definición de lote es la indicada en el numeral 440.5.2.6.8.

440.5.2.6.2 Aspectos generales

La capa terminada de mezcla asfáltica debe presentar una superficie uniforme y ajustarse a las rasantes y pendientes establecidas. La distancia entre el eje del proyecto y el borde de la capa que se esté construyendo, excluyendo sus chaflanes, no puede ser menor que la señalada en los documentos del proyecto.

La cota de cualquier punto de la mezcla asfáltica compactada en capas de base no debe variar en más de quince milímetros (15 mm) de la proyectada, y la variación no puede exceder de diez milímetros (10 mm) cuando se trate de capas intermedia y de rodadura.

Todas las áreas donde los defectos de calidad y terminación excedan las tolerancias de esta especificación, así como aquellas en que se presente retención de agua en la superficie, las debe corregir el constructor, de acuerdo con las instrucciones del interventor y hasta ser aprobadas por este, sin costo adicional para INVÍAS.

440.5.2.6.3 Compactación

Para el control de la compactación de una capa mezcla densa en frío, se debe calcular su grado de compactación. Los sitios para determinar de la densidad de la capa compactada se deben elegir al azar, según la norma de ensayo INV E-730, pero de manera que se realice al menos una (1) prueba por hectómetro. Se deben efectuar, como mínimo, cinco (5) ensayos por lote.

El grado de compactación a partir de los resultados de los ensayos de densidad en el terreno y de los ensayos de densidad en el laboratorio, se debe calcular mediante la siguiente expresión:

$$\left(GC_i\right) = \frac{D_i}{D_e} * 100 \quad [440.6]$$

Donde:

GC_i, valor individual del grado de compactación, en porcentaje.

D_i, valor individual de la densidad en el terreno, determinado por alguno de los métodos descritos en las normas de ensayo INV E-733, INV E-734, INV E-746 o INV E-802.

D_e, valor promedio de los valores de densidad de las seis (6) probetas por lote, elaboradas en

el laboratorio, según la metodología de ensayo inmersión-compresión, como se indica en el numeral 440.5.2.5.1.

Solo se debe aceptar la determinación de la densidad de la capa compactada por medio del densímetro nuclear (norma de ensayo INV E-746) si se garantiza, sin lugar a ninguna duda, que la medición del aparato abarca, única y exclusivamente, el espesor total de la capa que se está verificando.

Para el control de la compactación se deben aplicar los siguientes criterios:

GC_l (90) ≥ 95,0 % se acepta el lote **[440.7]**

GC_l (90) < 95,0 % se rechaza el lote **[440.8]**

Donde:

GC_l (90), límite inferior del intervalo de confianza en el que, con una probabilidad del noventa por ciento (90 %), se encuentra el valor promedio del grado de compactación del lote, en porcentaje; se debe calcular según el numeral 107.3.1.3 del artículo 107, Control y aceptación de los trabajos, a partir de los valores individuales del grado de compactación (GC_i).

Las comprobaciones de la compactación se deben realizar en todo el espesor de la capa que se controla, cuando se haya cumplido sustancialmente el período de curado de la mezcla, conforme se haya determinado en la fase de experimentación. La toma de testigos se debe hacer de acuerdo con lo que establece la norma de ensayo INV E-758.

En caso de rechazo, la capa de mezcla densa en frío correspondiente al lote controlado se debe levantar mediante fresado y debe ser repuesta hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado es de propiedad del constructor.

En el caso de las mezclas asfálticas de tipo abierto, las comprobaciones referidas a la compactación corresponden a la verificación de la actuación de los equipos de compactación, los cuales deben cumplir las disposiciones del numeral 440.3 del presente artículo.

440.5.2.6.4 Espesor

Las determinaciones de espesor de la capa compactada se deben realizar en una proporción de cuando menos cinco (5) por lote. Los sitios para las mediciones se deben elegir al azar, de acuerdo con la norma INV E-730, pero de manera que se realice al menos una (1) prueba por hectómetro. En el caso de las mezclas de tipo denso, se debe determinar el espesor sobre la base del lote escogido para el control de la compactación y en los mismos puntos de verificación.

Se debe determinar el espesor promedio de la capa compactada (e_m), el cual no puede ser inferior al espesor de diseño (e_d).

$$e_m \geq e_d \quad \textbf{[440.9]}$$

Además, el valor obtenido en cada determinación individual (e_i) debe ser, como mínimo, igual al noventa y ocho por ciento (98 %) del espesor de diseño.

$$e_i \geq 0{,}98 * e_d \quad \textbf{[440.10]}$$

Si alguno de estos requisitos se incumple, se debe proceder como se indica a continuación.

Todas las labores de corrección las debe ejecutar el constructor sin cargo adicional para INVÍAS.

440.5.2.6.4.1 Para capas de rodadura

El constructor debe proceder a fresar y remover la capa y reponerla en el espesor adecuado o, alternativamente y si no existen problemas de gálibo o de sobrecargas estructurales, a la colocación de una capa adicional del mismo tipo de mezcla de cincuenta milímetros (50 mm) de espesor compacto, para cumplir todos los requisitos de calidad de esta especificación. El riego de liga que se deba colocar para adherir las capas debe ejecutarlo, a su costa, en acuerdo con el artículo 421.

Si la capa adicional no cumple alguno de los requisitos de este artículo, debe ser fresada y repuesta con una nueva de calidad satisfactoria.

440.5.2.6.4.2 Para capas intermedias y de base

El constructor debe proceder a fresar y remover la capa y reponerla en el espesor adecuado salvo que, tratándose de una capa de base o intermedia sobre la cual se va a colocar otra capa de mezcla asfáltica en frío, el constructor se comprometa a compensar la deficiencia incrementando el espesor de la capa intermedia o de rodadura, respectivamente, sin que el exceso de espesor por colocar de esta última genere costo alguno para INVÍAS.

440.5.2.6.5 Planicidad

La superficie acabada no puede presentar zonas de acumulación de agua, ni irregularidades mayores de diez milímetros (10 mm) en capas de rodadura o quince milímetros (15 mm) en capas de base o intermedias y bacheos, cuando se compruebe con una regla de tres metros (3 m) según la norma de ensayo INV E-793. Se debe colocar la regla tanto paralela como perpendicularmente al eje de la vía, en los sitios que escoja al azar el interventor. Estos no pueden estar afectados por cambios de pendiente. Las zonas que presenten deficiencias de este tipo se deben fresar y reponer por el constructor, sin costo adicional para INVÍAS, y hasta contar con la aprobación del interventor. El material fresado es de propiedad del constructor.

440.5.2.6.6 Textura

Las medidas de textura se deben realizar antes de la puesta en servicio de la capa de rodadura construida con mezcla asfáltica en frío, empleando el método descrito en la norma de ensayo INV E-791.

El número mínimo de puntos a controlar por lote es de tres (3), que se deben ampliar a cinco (5) si la textura obtenida en uno de los tres (3) primeros es inferior a la especificada. Dichos puntos se deben elegir al azar, de acuerdo con la norma INV E-730.

En el caso de las mezclas de tipo denso, la profundidad media de textura del lote no puede ser menor al mínimo admisible que se defina en los documentos del proyecto, el cual no puede ser inferior a cero coma treinta y cinco milímetros (0,35 mm). Ningún valor individual puede ser inferior en más de veinte por ciento (20 %) al promedio mínimo exigido y no pueden existir áreas con evidencias indudables de segregación.

Por su parte, para las mezclas de tipo abierto, la profundidad media de textura debe ser,

cuando menos, igual a un milímetro (1,0 mm), sin que ningún valor individual sea inferior a cero coma ocho milímetros (0,8 mm) y sin que existan áreas con evidencias indudables de segregación.

Si estos requisitos no se cumplen, la capa de rodadura correspondiente al lote controlado se debe levantar mediante fresado y debe ser repuesta hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado es de propiedad del constructor. Alternativamente y a opción del constructor, y si no existen problemas de gálibo o de sobrecargas estructurales, este puede colocar una capa adicional de una mezcla del mismo tipo que cumpla todos los requisitos de calidad de esta especificación y con el correspondiente riego de liga, sin costo adicional para INVÍAS. Esta capa adicional debe tener un espesor:

- Igual al espesor compacto que la capa anterior en el caso de una mezcla densa.
- Igual a cincuenta milímetros (50 mm) de espesor compacto en el caso de una mezcla abierta.

El riego de liga que se deba colocar para adherir las capas se debe ejecutar en acuerdo con el artículo 421.

440.5.2.6.7 Resistencia al deslizamiento

Una vez transcurridos, como mínimo, treinta días (30 d) de la puesta en servicio, se deben hacer las determinaciones de la resistencia al deslizamiento sobre mezclas asfálticas en frío construidas para servir como capas de rodadura.

Debido a que la resistencia al deslizamiento se encuentra relacionada directamente con la seguridad de los usuarios, los puntos para su determinación en cada lote no se deben elegir al azar, sino que el interventor los debe ubicar en los lugares que considere más sensibles al deslizamiento vehicular, en condición de superficie húmeda.

Las medidas se deben realizar con el péndulo británico, de acuerdo con la norma de ensayo INV E-792, en tres (3) puntos por lote en zonas en tangente y en uno (1) por cada curva horizontal y por cada zona singular (glorieta, intersección, zona de frenado, etc.) incluida dentro del lote. Ninguna de ellas puede presentar un valor inferior al límite indicado en la Tabla 440 — 14, de acuerdo con el tránsito de diseño y el tipo de sección.

En caso de que se presenten valores menores, el interventor debe realizar medidas adicionales para delimitar perfectamente el área deficiente, la cual debe ser corregida por el constructor, sin costo adicional para INVÍAS. Para ello, la capa de mezcla asfáltica en frío, correspondiente al lote controlado, debe ser levantada mediante fresado y repuesta hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado es de propiedad del constructor. Alternativamente y a opción del constructor, y si no existen problemas de gálibo o de sobrecargas estructurales, este puede colocar una capa adicional de una mezcla del mismo tipo, sin costo adicional para INVÍAS, de cincuenta milímetros (50 mm) de espesor compacto, al cumplir todos los requisitos de calidad de esta especificación. El riego de liga que se deba colocar para adherir las capas es también de cuenta del constructor, quien debe ejecutarlo de acuerdo con el artículo 421.

La resistencia al deslizamiento se puede verificar también con dispositivos de rueda parcialmente bloqueada (norma de ensayo INV E-815). En tal caso, la especificación particular debe indicar el equipo autorizado, así como los valores mínimos por alcanzar, los cuales deben ser, cuando menos, equivalentes a los señalados en la Tabla 440 — 15 para el péndulo británico.

Tabla 440 — 15. Valores mínimos admisibles del coeficiente de resistencia al deslizamiento con el péndulo británico

Tipo de capa	Coeficiente de resistencia al deslizamiento, mínimo		
	NT1	NT2	NT3
Glorietas; curvas con radios menores de 200 metros; pendientes ≥ 5 % en longitudes de 100 metros o más; intersecciones; zonas de frenado frecuente	50	55	60
Otras secciones	45	50	50

440.5.2.6.8 Regularidad superficial

El IRI se debe comprobar de manera continua, en toda la longitud de la obra y en cada carril, antes del recibo definitivo de la misma. Para los efectos de aceptación del pavimento terminado, este artículo establece que la determinación del IRI se debe realizar, únicamente, con procedimientos de medida de precisión o con equipos de referencia inercial.

Las medidas de precisión se pueden adelantar con mira y nivel, de acuerdo con el procedimiento indicado en la norma INV E-794 o con un perfilómetro pivotante de alta precisión, norma INV E-814.

Si se opta por el equipo de referencia inercial, este se debe validar previamente con uno de precisión, en un tramo de prueba de longitud no menor de doscientos metros (200 m). El equipo de referencia inercial se debe operar de acuerdo con la norma ASTM E950.

Para efectos de la evaluación con fines de recibo, las medidas se deben hacer en cada uno de los carriles del pavimento construido y los valores del IRI se deben presentar en metro por kilómetro (m/km), en tramos consecutivos de cien metros (100 m) por carril, con la excepción que se cita en el párrafo siguiente. Un conjunto de cinco (5) tramos constituye un lote.

No debe haber exigencia sobre el cumplimiento de regularidad superficial en tramos que incluyan singularidades, donde se entiende por tales todas aquellas alteraciones del perfil longitudinal de la carretera que incrementen el IRI y no provengan de deficiencias constructivas, como pueden ser intersecciones con otras vías, puentes, pozos de inspección, reductores de velocidad, etc., los cuales debe definir el interventor, con su ubicación respectiva (carril y abscisa), antes de proceder a la determinación del IRI.

Se debe entender que la superficie del pavimento tiene una regularidad superficial aceptable, si a lo largo de la longitud evaluada en cada carril se satisfacen los valores indicados en la Tabla 440 — 16.

Si la proporción de hectómetros donde los resultados del IRI exceden los límites especificados no es superior a veinte por ciento (20 %) del total del lote, el interventor debe delimitar los sectores relevantes en el incumplimiento y ordenar su corrección mediante fresado y la colocación de una nueva capa de mezcla asfáltica. El interventor debe establecer los espesores por fresar y reponer en cada tramo, y todos los costos que impliquen estas correcciones deben ser asumidos por el constructor. El material fresado es de propiedad del constructor.

Si la proporción de hectómetros donde los resultados de IRI exceden los límites especificados es más de veinte por ciento (20 %) del total del lote, toda la longitud de este se debe fresar y reponer en el mismo espesor. El fresado, traslado y disposición del material demolido y la reconstrucción de la capa, con la calidad exigida por el presente artículo, deben estar a cargo del constructor. El material demolido es de propiedad del constructor. Este, a su vez, no puede invocar las reparaciones o las reconstrucciones debidas a deficiencias en la regularidad superficial, como causal para incumplir el programa de trabajo.

Tabla 440 — 16. Valores máximos admisibles de IRI (m/km)

Porcentaje (%) de hectómetros	Pavimentos de construcción nueva y rehabilitados en espesor > 10 cm			Pavimentos rehabilitados en espesor ≤ 10 cm		
	NT1	NT2	NT3	NT1	NT2	NT3
40	2,4	1,9	1,4	2,9	2,4	1,9
80	3,0	2,5	2,0	3,5	3,0	2,5
100	3,5	3,0	2,5	4,0	3,5	3,0

440.5.2.6.9 Construcción de capas de renivelación

Cuando la mezcla asfáltica en frío se emplee en la construcción de capas de renivelación de un pavimento existente, dicha mezcla debe cumplir los mismos requisitos que se exigen cuando se coloca como capa de base, si su espesor compacto es mayor o igual a setenta y cinco milímetros (75 mm). En caso contrario, debe cumplir los requisitos exigidos a la capa intermedia.

En el caso de las mezclas asfálticas de tipo abierto, se deben cumplir los requisitos exigidos para capas intermedias, en la medida que estas no se pueden emplear como capa de base asfáltica.

440.5.2.6.10 Correcciones por variaciones en el diseño o por causas no imputables al constructor

Cuando sea necesario efectuar correcciones a la capa de mezcla asfáltica en frío por

modificaciones en el diseño estructural o por fuerza mayor u otras causas inequívocamente no imputables al constructor, el interventor debe delimitar el área afectada y ordenar las correcciones necesarias, por cuyo trabajo debe autorizar el pago al constructor, al respectivo precio unitario del contrato.

440.5.2.6.11 Medidas de deflexión

El interventor debe verificar la homogeneidad de la estructura construida al nivel de la capa de mezcla asfáltica en frío, realizando medidas de deflexión con alguno de los dispositivos presentados en la norma de ensayo INV E-797, de acuerdo con el procedimiento normal aplicable a este. Los resultados de las medidas, que se realizan en tresbolillo cada veinte metros (20 m), no constituyen base para aceptación o rechazo de la capa construida, sino que sirven a INVÍAS para verificar la homogeneidad de la estructura que se construye, y realizar los ajustes que pudieran resultar necesarios al diseño estructural del pavimento.

En todo caso, se recomienda en la medida de lo posible, que no se emplee la Viga Benkelman para las mediciones de las deflexiones de la capa, especialmente en niveles de tránsito altos como el NT3.

440.6 Medida

Rige lo descrito en el artículo 400 y en particular en el numeral 400.6.2. Para bacheos, se debe aplicar lo especificado en el numeral 400.6.3 del mismo artículo.

440.7 Forma de pago

Rige lo descrito en el artículo 400 y en particular en el numeral 400.7.3.

Se excluyen del precio unitario el suministro y el almacenamiento de la emulsión para la mezcla, que se deben pagar de acuerdo con el artículo 411.

440.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
440.1	Mezcla densa en frío tipo MDF-38	Metro cúbico (m^3)
440.2	Mezcla densa en frío tipo MDF-25	Metro cúbico (m^3)
440.3	Mezcla densa en frío tipo MDF-19	Metro cúbico (m^3)
440.4	Mezcla densa en frío para bacheo	Metro cúbico (m^3)
440.5	Mezcla abierta en frío tipo MAF-19	Metro cúbico (m^3)
440.6	Mezcla abierta en frío tipo MAF-25	Metro cúbico (m^3)
440.7	Mezcla abierta en frío tipo MAF-38	Metro cúbico (m^3)
440.8	Mezcla abierta en frío tipo MAF-38 para bacheo	Metro cúbico (m^3)

Mezcla densa en frío con asfalto natural

Artículo 442 - 22

442.1 Descripción

Este trabajo consiste en la explotación, la elaboración, el transporte, la colocación y la compactación de una o más capas de mezcla asfáltica natural con agregados pétreos de aporte de gradación continua, preparada y colocada en frío en vías para un nivel de tránsito NT1, de acuerdo con esta especificación y de conformidad con los alineamientos, las cotas, las secciones y los espesores indicados en los documentos del proyecto.

Aunque en la generalidad de los proyectos de vías con niveles de tránsito NT1, las mezclas densas en frío con asfalto natural se utilizan para capa de rodadura, dentro de los documentos del proyecto debe quedar establecido el tipo de capa asfáltica a utilizar en función de su posición dentro de la estructura del pavimento, de conformidad con lo indicado en la Tabla 442 – 1, señalando si se requiere una o más capas construidas con este tipo de mezcla.

Tabla 442 – 1 Denominación de las capas asfálticas construidas con mezclas densa en frío con asfalto natural

Tipo	Descripción
Rodadura	Capa superior
Intermedia	Capa subyacente a la rodadura, en estructuras con 2 o más capas asfálticas
Base	Capa o capas subyacentes a la intermedia, en estructuras con 3 o más capas asfálticas

442.2 Materiales

442.2.1 Mezcla asfáltica natural

La mezcla asfáltica natural es un material compuesto esencialmente por arenas finas y conglomerado que están impregnados de ligante asfáltico, cuyo proceso se ha realizado en el interior de los depósitos naturales y de manera igualmente natural por muchos años, siendo este parámetro común para la mayoría de los depósitos que se encuentran en el territorio colombiano. El contenido de asfalto residual puede variar según el origen y la fuente de explotación. El material pétreo presente en la mezcla asfáltica natural deberá estar exento de materia orgánica o cualquier otra sustancia perjudicial.

442.2.2 Material bituminoso

Corresponde al contenido de ligante asfáltico existente en la mezcla asfáltica natural. En

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

caso de que sea necesario se puede adicionar una emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta, de los tipos CRL-57 o CRL-57h, que cumpla los requisitos de calidad establecidos en el artículo 411, Suministro de emulsión asfáltica catiónica, (Tabla 411 – 1), y que sea compatible con los agregados pétreos de aporte por emplear.

442.2.3 Agregados pétreos

Cuando aplique, los agregados pétreos de aporte utilizados para el presente artículo deben satisfacer plenamente los requisitos establecidos en el numeral 400.2.1 del artículo 400, Disposiciones generales para la ejecución de riegos de imprimación, liga y curado, tratamientos superficiales, sellos de arena-asfalto, lechadas asfálticas, mezclas asfálticas en frío y en caliente y reciclado de pavimentos asfálticos, de las presentes especificaciones.

De otra parte, la distribución granulométrica de los agregados pétreos que componen la mezcla asfáltica en su estado natural (tal como sale de la mina) debe tener un tamaño máximo de diecinueve milímetros (19 mm) (3/4") y únicamente se acepta si la mezcla asfáltica natural cumple con todos y cada uno de los requerimientos exigidos en la Tabla 442 – 8. De igual manera, la estructura de los agregados pétreos resultante de la combinación de las distintas fracciones del material de aporte con la mezcla asfáltica natural seleccionada (granulometría combinada) para la construcción de la capa asfáltica, deben presentar una gradación que se ajuste a alguna de las franjas señaladas en la Tabla 442 –2 y no exceder sus límites. El análisis granulométrico se debe efectuar de acuerdo con la norma de ensayo INV E–213.

La gradación por emplear se debe indicar en los documentos del proyecto. El constructor debe proponer al interventor una fórmula de trabajo la cual se debe ajustar durante la construcción de la capa con las tolerancias que se indican en la Tabla 442 – 2, pero sin permitir que la curva se salga de la franja adoptada.

Tabla 442 – 2 Franjas granulométricas de los agregados combinados para la construcción capas asfálticas con una mezcla densa en frío con asfalto natural

Tipo de mezcla	Tamiz (mm/ U.S Standard)								
	37,5	25,0	19,0	12,5	9,5	4,75	2,36	0,300	0,075
	1½ Pulgadas	1 Pulgada	¾ Pulgada	1/2 Pulgada	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 8	Nro. 50	Nro. 200
	Pasa tamiz (%)								
MAN-38	100	80 – 95	–	62 – 77	–	45 – 60	35 – 50	13 – 23	3 – 8
MAN-25	–	100	80 – 95	–	60 – 75	47 – 62	35 – 50	13 – 23	3 – 8
MAN-19	–	–	100	80 – 95	–	50 – 65	35 – 50	13 – 23	3 – 8
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	4 %						3 %		1 %

Nota: Se pueden emplear franjas granulométricas con tamaños máximos menores a diecinueve milímetros (19 mm) (3/4"), empleando arenas de trituración con tamaños máximos de nueve coma cinco milímetros (9,5 mm) (3/8") provenientes de agregados que cumplan los requisitos de la Tabla 442 – 3, si se demuestra que la granulometría combinada es continua y cumple todos los requisitos de calidad de la presente especificación. Además, se indique en los documentos del proyecto que en la zona de los trabajos existe experiencia de su eficiencia y durabilidad.

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

Los agregados pétreos resultantes no deben ser susceptibles de ningún tipo de meteorización o alteración físico - química apreciable bajo las condiciones más desfavorables que presumiblemente puedan darse en la zona de empleo. Tampoco pueden dar origen a disoluciones cuando estos entren en contacto con el agua, que puedan causar daños a estructuras o a otras capas del pavimento, o contaminar corrientes de agua, y deben cumplir los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 442 – 3.

Tabla 442 – 3 Requisitos de agregados pétreos de aporte combinados para una mezcla densa en frío con asfalto natural

Característica	Norma de Ensayo INV	Requisito
Dureza, agregado grueso (O)		
Desgaste en la máquina de los Ángeles, máximo (%) - Capa de: rodadura / intermedia / base	E-218	25 / 35 / -
Coeficiente de pulimiento acelerado para rodadura, mínimo	E-232	45
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio, máximo (%)	E-220	18
Limpieza, agregado grueso (F)		
Impurezas en agregado grueso, máximo (%)	E-237	0,5
Limpieza, gradación combinada (F)		
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	7
Equivalente de arena, mínimo (%) (Nota 1)	E-133	50
Valor de azul de metileno, máximo (Nota 1)	E-235	10
Geometría de las partículas, agregado grueso (F)		
Partículas planas y alargadas, relación 5:1, máximo (%)	E-240	10
Caras fracturadas, mínimo (%) - Una cara: rodadura / intermedia / base - Dos caras: rodadura / intermedia / base	E-227	 75 / 60 / - - / - / -
Geometría de las partículas, agregado fino (F)		
Angularidad de la fracción fina, método A, mínimo (%) - Capa de: rodadura / intermedia / base	E-239	40 / 35 / -
Adhesividad (O)		
Agregado grueso: Cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos en presencia del agua hirviendo, (%)	E-757	Reportar
Agregado fino: adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos (método Riedel-Weber), índice mínimo	E-774	4

Nota 1: El equivalente de arena es el del agregado finalmente obtenido mediante la combinación de las distintas fracciones (incluido el llenante mineral), según las proporciones determinadas en la fórmula de trabajo. En caso de que no se cumpla el valor mínimo señalado en la tabla, el agregado se acepta si su equivalente de arena es superior a cuarenta por ciento (40%) y, simultáneamente, el valor de azul de metileno determinado mediante la norma de ensayo INV E- 235, es inferior a diez (10).

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

Independientemente de su procedencia, los agregados deben estar exentos de materia orgánica, terrones de arcilla o cualquier otra sustancia perjudicial que pueda resultar ambientalmente nociva o inconveniente para el buen comportamiento de la capa asfáltica.

El constructor como responsable de los materiales que suministre para la ejecución de los trabajos debe realizar todos los ensayos necesarios para establecer la calidad e inalterabilidad de los agregados por utilizar, independiente y complementariamente de los que taxativamente se exigen en las presentes especificaciones.

El tipo de gradación por emplear depende de la clase y espesor que vaya a tener la capa compactada y se define en los documentos del proyecto. Teniendo en cuenta que esta mezcla debe tener una distribución granulométrica densa, se recomienda seguir los criterios establecidos en la Tabla 442 – 4.

Tabla 442 – 4 Tipo de mezcla por utilizar en función del tipo de capa y su espesor compacto

Tipo de capa	Espesor compacto (mm)	Tipo de mezcla
Rodadura	50 - 75 40 - 50	MAN-25 MAN-19
Intermedia	≥ 50	MAN-25
Base	≥ 75	MAN-38

442.2.4 Agua

El agua que se requiera debe ser limpia y libre de materia orgánica, álcalis y otras sustancias perjudiciales.

Puede ser agua potable; si no lo es, debe cumplir los requisitos que se indican en la Tabla 442 – 6.

Tabla 442-6 Requisitos del agua no potable para la construcción de subbase y base estabilizada con una mezcla asfáltica natural

Característica	Norma de ensayo ASTM	Requisito
pH	D1293	5,5 – 8,0
Contenido de sulfatos, expresado como $SO_4^=$, máximo (kg/m^3)	D516	1,0

442.3 Equipo

Al respecto rigen las condiciones generales que se indican en el numeral 400.3 del artículo 400. Para la construcción de las capas asfálticas con mezcla densa en frío con asfalto natural se requieren, además, equipos para la explotación de los materiales, eventualmente una planta de trituración, una unidad clasificadora, equipos para mezclado y homogenización, cargue, transporte, extensión, humedecimiento y

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

compactación del material; equipos, para la elaboración, extensión, compactación y nivelación de la mezcla, así como herramientas menores.

Se deben utilizar compactadores autopropulsados de rodillos metálicos, estáticos o vibratorios, de neumáticos o mixtos. El equipo de compactación debe ser aprobado por el interventor de acuerdo con los resultados obtenidos en la fase de experimentación. Como mínimo se deben poner a disposición de los trabajos un (1) compactador vibratorio de rodillos metálicos o mixto y uno (1) de llantas neumáticas. Todos los compactadores deben ser autopropulsados y estar dotados de inversores de marcha suaves; además, deben estar dotados de dispositivos para la limpieza de los rodillos o neumáticos durante la compactación y para mantenerlos húmedos en caso necesario.

Los compactadores de rodillos metálicos no deben presentar surcos ni irregularidades. Los compactadores vibratorios deben disponer de dispositivos para eliminar la vibración al invertir la marcha, siendo aconsejable que el dispositivo sea automático. Los de neumáticos deben tener ruedas lisas, en número, tamaño y disposición, tales que permitan el traslapo de las huellas delanteras y traseras y, en caso necesario, faldones de lona protectora contra el enfriamiento de los neumáticos.

Las presiones lineales estáticas o dinámicas, y las presiones de contacto de los diversos compactadores, deben ser las necesarias para conseguir la compacidad adecuada y homogénea de la mezcla en todo su espesor sin producir roturas del agregado.

Se permite el uso de otros equipos de tamaño y diseño adecuados para la labor por realizar, para efectuar la compactación en lugares inaccesibles a los equipos normales de compactación.

Todos los equipos deben ser compatibles con los procedimientos de construcción adoptados y requerir la aprobación previa del interventor, teniendo en cuenta que su capacidad y eficiencia se ajusten al programa de ejecución de las obras y al cabal cumplimiento de las exigencias de la presente especificación y a la respectiva partida de pago.

442.4 Ejecución de los trabajos

442.4.1 Explotación de materiales y elaboración de la mezcla densa en frío con asfalto natural

Rige lo establecido en el artículo 105, Desarrollo de los trabajos, numeral 105.13.3. En la explotación de la mezcla asfáltica natural se debe hacer la respectiva clasificación del material con el fin de evitar sobretamaños, materiales fósiles u otros elementos nocivos o contaminantes para la capa a conformar o cualquier otra sustancia que pueda resultar ambientalmente nociva o inconveniente para el buen comportamiento de la mezcla densa en frío con asfalto natural.

Los procedimientos y equipos de explotación, clasificación y el sistema de almacenamiento, deben garantizar el suministro de un producto con características uniformes. El retiro de sobretamaños debe obligatoriamente realizarse en el lugar de explotación del material, con la utilización de los equipos necesarios para tal fin, al igual que los trabajos de clasificación de este.

Cuando se requiera adicionar material pétreo a la mezcla para mejorar sus características físico - mecánicas, dicho material debe proceder de la trituración de roca o de grava o por una combinación de ambas. El agregado fino debe proceder en su totalidad de la

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

trituración de piedra de cantera o de grava natural, o parcialmente de fuentes naturales de arena. Adicionalmente, los procedimientos y equipos de explotación, clasificación, trituración, lavado y el sistema de almacenamiento, deben garantizar el suministro de un producto de características uniformes, según sea exigido en los documentos del proyecto.

Los lugares que sean explotados en forma específica y exclusivamente para los trabajos en cuestión deben recuperarse en su totalidad con vegetación nativa de la zona y debe cumplirse con todo lo que resulte aplicable del numeral 400.4.7 del artículo 400.

442.4.2 Diseño de la mezcla densa en frío con asfalto natural y obtención de la fórmula de trabajo

442.4.2.1 Generalidades

Rige todo lo que resulte aplicable en el numeral 400.4.2 del artículo 400.

Con suficiente antelación al inicio de los trabajos, el constructor debe suministrar, para verificación del interventor, muestras de los materiales que propone usar, avaladas por los resultados de ensayos que demuestren la conveniencia de utilizarlos. Si a juicio del interventor los materiales resultan objetables, el constructor debe efectuar las modificaciones necesarias para corregir las deficiencias. Una vez el interventor manifieste su conformidad con los materiales, el constructor debe definir la fórmula de trabajo para determinar las proporciones de los materiales utilizados y los parámetros de compactación que permitan cumplir con los requerimientos exigidos a la capa asfáltica construida. Una vez el interventor manifieste su conformidad con los materiales y el diseño de la mezcla, este solo puede ser modificado durante la ejecución de los trabajos si se presenta una variación inevitable en alguno de los componentes que intervienen en ella.

Las mezclas por utilizar en la construcción de las capas asfálticas se deben diseñar utilizando el método inmersión – compresión siguiendo el procedimiento definido por la norma de ensayo INV E-622 o por el método Marshall Modificado para asfaltos líquidos del Instituto Norteamericano del Asfalto indicado en el apéndice H del Manual MS-14, según la alternativa definida.

442.4.2.2 Diseño de la mezcla

Las mezclas asfálticas naturales pueden utilizarse tal como salen de la mina sin necesidad de adicionar agregados pétreos de aporte y/o un ligante asfáltico tipo emulsión catiónica de rotura lenta, siempre y cuando cumpla con todos los requerimientos exigidos en la Tabla 442 – 8. En caso de que la mezcla asfáltica natural no cumpla con algunos de los requerimientos exigidos en la Tabla 442 – 8, se recomienda evaluar alguna de las siguientes dos (2) alternativas de mejoramiento (mezcla densa en frío con asfalto natural):

a) **Mezcla asfáltica natural con la adición de un agregado de aporte**. Es aplicable cuando se tengan mezclas asfálticas naturales con altos contenidos de ligante asfáltico (mayor al 10%) que por sí solas no cumplan alguno de los requerimientos especificados, siendo necesario mejorar la estructura interparticular mediante la adición de un agregado de aporte.

b) **Mezcla asfáltica natural adicionando un agregado de aporte y una emulsión asfáltica.** Aplicable a mezclas con bajos contenidos de ligante que no cumplan alguno de los requerimientos especificados, siendo necesario mejorar la estructura interparticular mediante la adición de un agregado de aporte e

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

incrementar la cohesión mediante la adición de un ligante asfáltico provisto por una emulsión asfáltica de rotura lenta.

442.4.2.2.1 Evaluación de las mezclas asfálticas en su estado natural (tal como sale de la mina)

La evaluación de las propiedades de la mezcla asfáltica resultante se debe realizar siguiendo el método Marshall modificado para asfaltos líquidos del Instituto Norteamericano del asfalto indicado en el apéndice H del Manual MS-14, siguiendo los pasos indicados en la Tabla 442 – 7 (ver Anexo A).

442.4.2.2.2 Evaluación de la mezcla asfáltica natural con la adición de un agregado de aporte (Mezcla densa en frío con asfalto natural)

Se debe aplicar todo lo referente al numeral anterior.

Tabla 442 – 7 Pasos para diseñar mezclas asfálticas en su estado natural o con la adición de un agregado de aporte.

Pasos	Descripción	Numeral
Diseño preliminar	- Selección de la mezcla asfáltica natural y/o contenido de material granular de aporte	442.4.2.2.2.1
	- Contenido de ligante asfáltico teórico de referencia en la mezcla asfáltica natural INV E-741	
Análisis volumétrico y Diseño por resistencia	- Análisis de densidad y vacíos (ver anexo A, numeral 4)	442.4.2.2.2.2
	- Estabilidad y flujo Marshall (ver anexo A, numeral 5)	
Verificación del diseño	- Susceptibilidad al agua Estabilidad Retenida (ver anexo A, numeral 6)	442.4.2.2.2.3

442.4.2.2.2.1 Diseño preliminar

La mezcla asfáltica natural y las proporciones de material granular de aporte, en caso de que sea necesario, se deben fijar basándose principalmente en la experiencia obtenida en casos análogos y/o mediante la determinación del contenido de ligante asfáltico necesario para satisfacer los requerimientos granulométricos, teniendo en cuenta que las partículas de agregado deben estar cubiertos de una película con un espesor tal, que garantice la cohesión, impermeabilidad y durabilidad de la mezcla asfáltica natural. Se recomienda utilizar el método de superficie específica del agregado, determinado mediante la norma INV E-741, para definir el contenido de asfalto teórico que debería estar presente en la mezcla asfáltica seleccionada.

442.4.2.2.2.2 Análisis volumétrico y diseño por resistencia

Seleccionados los materiales, se recomienda evaluar al menos cuatro mezclas con diferentes contenidos de ligante (dos por encima y dos por debajo del óptimo teórico de referencia) utilizando el método y criterios recomendados por el método Marshall Modificado del Instituto Norteamericano del asfalto indicado en el apéndice H del Manual MS-14.

En caso de que a la mezcla asfáltica seleccionada se le adicione un agregado de aporte, se debe realizar la mezcla de los dos materiales a la temperatura que garantice una viscosidad del ligante asfáltico entre cero coma quince y cero coma diecisiete pascales por segundo (0,15 Pa·s – 0,17 Pa·s) (1,5 – 1,7 poises), obtenida de la respectiva curva reológica del ligante asfáltico y preparar al

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

menos tres (3) muestras para cada mezcla seleccionada.

Una vez se alcance una viscosidad del ligante asfáltico natural entre cero coma veinticinco y cero coma treinta y un pascales por segundo (0,25 Pa·s – 0,31 Pa·s) (2,5 y 3,1 poises), se procede a compactar al menos tres (3) probetas, siguiendo la metodología definida por el método Marshall. Posteriormente se realiza el análisis de densidad y vacíos a cada briqueta, y se determina la estabilidad y el flujo Marshall a una temperatura de veinticinco grados Celsius (25 ºC) (ver anexo A).

442.4.2.2.2.3 Verificación del diseño

La(s) mezcla(s) asfáltica(s) seleccionada(s) que cumplan con los requerimientos volumétricos, estabilidad y flujo exigidos por el método Marshall modificado del Instituto Norteamericano del Asfalto, deben ser evaluadas mediante la medida de la susceptibilidad a la acción del agua, a través de la estabilidad conservada, según lo indicado en el método de diseño (ver anexo A, numeral A6).

La mezcla densa en frío con asfalto natural por utilizar debe ser aquella que permita cumplir con todos los requerimientos exigidos en la Tabla 442 – 8.

Tabla 442 – 8 Criterios Marshall del Instituto Norteamericano del Asfalto

Características	Mínimo	Promedio	Máximo
Grado de curado			
% solvente evaporado			
Para mantenimiento		25	
Para pavimentación		50	
Numero de golpes por capa		75	
% Vacíos en la mezcla	3	-	5
% Vacíos en los agregados (VAM)	Ver Tabla 442 – 9		
Estabilidad (25 ºC) (N)			
Para mantenimiento	2 224		
Para pavimentación	3 336		
Flujo (25 ºC) (mm)	2		4
Estabilidad residual después de inmersión durante 4 días a 25 ºC	75		

Tabla 442 – 9 Porcentaje mínimo de vacíos en los agregados (VAM), considerando su Tamaño Máximo

Tamiz	Mínimo % de vacíos
1 pulgada	13
3/4 pulgada	14
1/2 pulgada	15
3/8 pulgada	16
Nro. 4	18
Nro. 8	21
Nro. 16	23,5

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

442.4.2.2.3 Evaluación de una mezcla asfáltica natural adicionando un agregado de aporte y una emulsión asfáltica (Mezcla densa en frío con asfalto natural)

Las mezclas densas en frío con asfalto natural se deben diseñar por el método inmersión-compresión siguiendo el procedimiento definido por la norma de ensayo INV E-622 y los pasos descritos en la Tabla 442 – 10. El ligante asfáltico debe cumplir con los requerimientos definidos en el numeral 442.2.2 de esta especificación.

Tabla 442- 10 Pasos para el diseño de las mezclas asfálticas naturales con adición de agregado pétreo y ligante asfáltico

Pasos	Descripción	Numeral
Diseño preliminar	- Contenido de agua preenvuelta	442.4.2.2.3.1
	- Contenido de ligante	
	- Humedad de compactación	
Diseño por resistencia	Prueba de inmersión-compresión	442.4.2.2.3.2

442.4.2.2.3.1 Diseño preliminar

Los contenidos de agua de preenvuelta y de ligante se deben fijar en función de los materiales por emplear, basándose principalmente en la experiencia obtenida en casos análogos. Adicionalmente, se deben hacer las determinaciones indicadas en la Tabla 442 – 11.

442.4.2.2.3.2 Diseño por resistencia

Se deben elaborar mezclas con diferentes contenidos de ligante por encima y por debajo del óptimo teórico (al menos cuatro (4) contenidos de ligante), para someterlas al ensayo de inmersión-compresión. El contenido óptimo de ligante se debe determinar aplicando los criterios mencionados en la Tabla 442 – 12.

Tabla 442 – 11 Determinaciones para el diseño preliminar de mezclas asfálticas, mezclas asfálticas naturales con adición de agregado pétreo y ligante asfáltico

Parámetro	Norma de ensayo INV	Comentarios
Humedad de compactación	E-142	Se determina la humedad óptima
Contenido óptimo teórico de ligante, utilizando métodos basados en la superficie específica de los agregados	E-741	Con la norma se determina la superficie específica del agregado y se aplica una constante de riqueza apropiada.

Tabla 442 – 12 Criterios de resistencia para la determinación del contenido óptimo de ligante

Parámetro	Norma de ensayo INV	Valor
Resistencia seca Rs, mínimo (MPa)	E-622	2,5
Resistencia húmeda Rh, mínimo (MPa)		2,0
Resistencia conservada Rc = Rh/Rs, mínimo (%)		75

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

El porcentaje óptimo de ligante es aquel que permita cumplir con todos los requerimientos exigidos en la Tabla 442 – 12.

442.4.2.3 Informe de diseño de la mezcla

El informe de diseño que presente el constructor, en el cual debe proponer la fórmula de trabajo por aplicar en cada tramo homogéneo para consideración y eventual aprobación del interventor, debe contener cuando menos, la siguiente información:

- Porcentaje de ligante asfáltico en la dosificación de diseño, con relación a la masa seca del componente mineral
- Porcentaje de agua para compactación, con relación a la masa seca del componente mineral
- Resistencias a la compresión obtenidas en la prueba de inmersión - compresión
- Masa unitaria seca máxima y humedad óptima correspondientes a la dosificación de diseño
- Parámetros Marshall obtenidos
- Tipo de ligante asfáltico por adicionar
- Resultados de los ensayos complementarios que indiquen los documentos del proyecto

442.4.2.4 Ajuste de la fórmula de trabajo

La fórmula de trabajo establecida en el laboratorio se puede ajustar con los resultados de las pruebas realizadas durante la fase de experimentación. Igualmente, si durante la ejecución de las obras varía la procedencia de alguno de los componentes de la mezcla o se rebasan las tolerancias granulométricas establecidas en este artículo se debe requerir el estudio de una nueva fórmula de trabajo.

Los trabajos no se pueden iniciar a escala industrial, si la fórmula de trabajo definitiva para cada tramo no ha sido aprobada por el interventor. La aprobación de la fórmula de trabajo por parte del interventor no exime al constructor de su plena responsabilidad de alcanzar, con base en ella, la calidad exigida en este artículo.

442.4.3 Preparación de la superficie existente

La mezcla obtenida en la fórmula de trabajo no se debe extender hasta que se compruebe que la superficie sobre la cual se va a colocar esta, tenga la densidad apropiada y las cotas indicadas en los documentos del proyecto. Las irregularidades que presente el material sobre el cual se va a colocar la mezcla no pueden exceder las tolerancias establecidas en la especificación general correspondiente, de ser así, deben ser corregidas.

Si la extensión de la mezcla necesita riegos previos de imprimación o de liga, ellos se deben realizar conforme lo establecen los artículos 420, Riego de imprimación y 421, Riego de liga, respectivamente.

Antes de aplicar la mezcla se debe verificar que haya ocurrido el curado del riego previo, no debiendo quedar restos de fluidificante ni de agua en la superficie. Si hubiera transcurrido mucho tiempo desde la aplicación del riego se debe comprobar que su capacidad de liga con la mezcla no se haya disminuido en forma perjudicial; si ello ha sucedido, el constructor debe efectuar un riego adicional de adherencia en la cuantía analizada por este y aprobada por el interventor. Si la pérdida de efectividad del riego anterior es imputable al constructor, el nuevo riego debe realizarlo sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS).

Las excavaciones para bacheo, así como las operaciones de relleno con los materiales

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

adecuados para restablecer el nivel actual, se deben ejecutar de acuerdo con las indicaciones del artículo 465, Excavación para reparación de pavimento asfáltico existente, y de los artículos que correspondan a los materiales empleados en el relleno de esta.

Si la superficie sobre la cual se va a colocar la mezcla corresponde a un pavimento asfáltico antiguo que, de acuerdo con los documentos del proyecto requiera un fresado previo, este se debe realizar conforme se establece en el artículo 460, Fresado de pavimento asfáltico.

En todos los casos debe estar concluida la construcción de los dispositivos necesarios para el drenaje de la calzada de conformidad con los documentos del proyecto, previamente a la colocación de la mezcla.

442.4.4 Fase de experimentación

Rige lo indicado en el numeral 400.4.3 del artículo 400.

Al comienzo de los trabajos, el constructor debe elaborar secciones de prueba cuya longitud, ancho y espesor deben quedar definidos en acuerdo con el interventor, para probar tanto el equipo como los materiales, y así establecer el método definitivo de trabajo, de manera que se cumplan los requisitos de la presente especificación.

El interventor debe tomar muestras de la mezcla asfáltica para determinar su conformidad en relación con las condiciones específicas determinadas en la fórmula de trabajo.

En caso de que los ensayos indiquen que la mezcla asfáltica no se ajusta a dichas condiciones, el constructor debe hacer inmediatamente todas las correcciones necesarias y, si fuere preciso, debe modificar la fórmula de trabajo, repitiéndose las secciones de ensayo una vez efectuadas las correcciones hasta que ellas sean aprobadas por el interventor.

442.4.5 Transporte y almacenamiento de los agregados pétreos de aporte y de la mezcla asfáltica natural

Todos los vehículos de transporte deben cumplir con las legislaciones vigentes referentes a las dimensiones y pesos de los vehículos, a las condiciones técnico - mecánicas y a las de control de emisión de contaminantes. Para ello deben tener al día los respectivos certificados de revisión.

Tanto los agregados pétreos de aporte como la mezcla asfáltica natural se deben transportar a la planta de mezclado o a la vía en volquetas de platón liso y estanco, debidamente acondicionadas para tal fin.

La mezcla asfáltica natural se puede acopiar, ya sea a lo largo de la vía a intervenir o en una zona aledaña a la misma, para después movilizarla en volquetas cuidando que no pierda sus condiciones de calidad. Si el material está expuesto a condiciones climáticas adversas deben tomarse las precauciones que se estimen convenientes para garantizar que la calidad de esta se afecte.

Si los acopios se disponen sobre el terreno natural, no se deben utilizar los quince centímetros (15 cm) inferiores de ellos. Los acopios se deben construir por capas de espesor no superior a uno coma cinco metros (1,5 m), y no por montones cónicos. Las cargas del material se deben colocar adyacentes, tomando las medidas oportunas para evitar su segregación.

En caso de que se detecten anomalías en el suministro, los agregados pétreos de aporte se deben acopiar por separado hasta confirmar su

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

aceptabilidad. Esta misma medida se debe aplicar cuando se autorice el cambio de procedencia de un agregado pétreo de aporte o de una fuente de extracción de la mezcla asfáltica natural.

442.4.6 Fabricación de la mezcla densa en frío con asfalto natural

Al respecto se considera lo que resulte aplicable del artículo 440, Mezclas asfálticas en frío (densa y abierta) numeral 440.4.6.

Se recomienda elaborar la mezcla densa en frío con asfalto narutal en una planta mezcladora fija o móvil, de tipo continuo o discontinuo, teniendo en cuenta que su capacidad debe ser compatible con los procedimientos de construcción adoptados al programa de ejecución específico de las obras.

Las aberturas de salida de las tolvas se deben regular de forma que la mezcla de los agregados pétreos de aporte y la mezcla asfáltica natural se ajusten a la fórmula de trabajo definida con anterioridad. De igual manera, los dosificadores de ligante bituminoso deben estar sincronizados para que se pueda reproducir la cantidad aprobada en el diseño.

El interventor debe aprobar por escrito el sector sobre el cual se deben distribuir los materiales, cuando la mezcla entre el agregado pétreo de aporte y la mezcla asfáltica natural se realice en la vía o sobre una superficie previamente compactada e imprimada o habilitada para mezclar sobre ella los materiales y el ligante asfáltico, sin que exista algún riesgo de contaminación.

Cuando la mezcla entre el agregado pétreo de aporte y la mezcla asfáltica natural se realice en la vía, el interventor debe aprobar por escrito el sector sobre el cual se van a homogenizar los materiales mediante las siguientes opciones: planta de mezcla, maquina estabilizadora con cámara de tambor rotatorio y motoniveladora. Sin los documentos del proyecto no indican el equipo por utilizar, se debe dar por definido el uso de una maquina estabilizadora con cámara de tambor rotatorio de paso sencillo. Solo se debe permitir el uso de motoniveladora para la mezcla cuando los documentos del proyecto lo señalen taxativamente. Cualquiera que sea la forma utilizada, los materiales deben ser mezclados uniformemente y para ello debe distribuirse en dos cordones separados, verificando en cada uno de ellos la cantidad y la uniformidad de tal manera que garantice la obtención de la granulometría combinada definida en la fórmula de trabajo. Previa verificación de la humedad, se debe incorporar la cantidad debida de agua y ligante bituminoso, según sea necesario, y se efectúa la mezcla correspondiente, perfilando la superficie de modo que presente, aproximadamente, la sección indicada en los documentos del proyecto.

La mezcla en vía es ventajosa en aquellos casos en que no se disponga de plantas mezcladoras centrales, o en los que el tamaño del proyecto no justifique el empleo de las plantas, pero se debe usar únicamente si las condiciones de clima y de control de calidad son apropiadas.

La mezcla entre el agregado pétreo de aporte y la mezcla asfáltica natural se puede también elaborar en centros de acopio, utilizando un cargador o con un equipo capaz de homogenizar los materiales, en la proporción resultante del diseño. Para ello se deben tomar los materiales de los acopios correspondientes, los cuales deben cuidarse de que no propicien segregación ni contaminación alguna.

En caso de requerirse equipo diferente al mencionado y/o no contar con el equipo aquí indicado, este puede ser reemplazado por

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

aquel que el constructor considere apropiado y debe ser aprobado por el interventor.

Se pueden permitir instalaciones de diferente concepción a las descritas, siempre que se cuente con la aceptación del interventor y previos ensayos que demuestren la calidad de la mezcla producida. En caso de que se utilicen métodos de fabricación especiales, el interventor debe aprobar previamente los procedimientos de elaboración.

442.4.7 Transporte de la mezcla

Si la mezcla es elaborada en una zona aledaña, un patio de mezclado o en una planta, se debe transportar a la vía en volquetas acondicionadas para tal fin. Durante el transporte de la mezcla se deben tomar las precauciones necesarias para reducir al mínimo la segregación y garantizar la uniformidad de la granulometría. La mezcla elaborada en el patio se debe transportar a la vía en volquetas hasta una hora del día en que las operaciones de extensión y compactación se puedan realizar correctamente con luz solar. Solamente se debe permitir el trabajo en horas de la noche si, a juicio del interventor, existe una iluminación artificial que permita la extensión y compactación de la mezcla de manera adecuada. El trabajo en horas de la noche solo se debe permitir bajo las condiciones mencionadas en el numeral 442.4.14 de la presente especificación.

Antes de abordar cualquier vía pavimentada, se deben limpiar perfectamente las llantas de los vehículos destinados al transporte de la mezcla. Los vehículos de transporte de mezcla deben mantener al día los permisos de tránsito y ambientales requeridos, y sus cargas por eje y totales se deben encontrar dentro de los límites fijados por la normativa vigente del Ministerio de Transporte.

442.4.8 Extensión de la mezcla

Después de las operaciones de mezclado y eventual transporte, la mezcla asfáltica se debe extender preferiblemente con la máquina pavimentadora, de modo que después de compactada, se ajuste a la sección transversal y espesores señalados en los documentos del proyecto. Dependiendo de la importancia del proyecto y en caso de no disponer de este equipo, se permite su extensión con una motoniveladora, previa autorización del interventor.

Una vez que se verifique que la mezcla tiene la humedad óptima de apisonado (en caso de la adición de una emulsión asfáltica) se debe realizar la compactación mediante el procedimiento definido durante la fase de experimentación, hasta alcanzar los niveles de densidad exigidos.

A no ser que se indique algo contrario, la extensión debe comenzar a partir del borde de la calzada en las zonas por pavimentar con sección bombeada, o en el lado inferior de las secciones peraltadas. La colocación de la mezcla se debe realizar con la mayor continuidad posible, verificando que la pavimentadora deje la superficie a las cotas previstas, con el fin de no tener que corregir la capa extendida. Por ningún motivo se permite el empleo de máquinas pavimentadoras que dejen marcas o depresiones en la superficie u otros defectos permanentes en ella. Tampoco se debe permitir la segregación de materiales. Si esto ocurre, la extensión de la mezcla debe ser suspendida inmediatamente hasta que su causa sea determinada y corregida. Toda área segregada que no sea corregida antes de la compactación debe ser removida y reemplazada con material apropiado por parte del constructor, sin costo adicional para INVÍAS.

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

Tras la pavimentadora se debe disponer un número suficiente de obreros debidamente capacitados, agregando mezcla y enrasándola, según se precise, con el fin de obtener una capa que, una vez compactada, se ajuste enteramente a las condiciones impuestas en esta especificación.

La mezcla se debe colocar en franjas del ancho apropiado para realizar el menor número de juntas longitudinales y para conseguir la mayor continuidad en la operación de extendido, teniendo en cuenta el ancho y las pendientes de la sección, las necesidades del tránsito, las características de la pavimentadora y la producción de la planta.

442.4.9 Compactación

La compactación de la mezcla se debe realizar de acuerdo con el plan aprobado por el interventor como resultado de la fase de experimentación. Debe empezar por los bordes y avanzar gradualmente hacia el centro, excepto en las curvas peraltadas en donde el cilindrado debe avanzar del borde inferior al superior, paralelamente al eje de la vía y traslapando a cada paso, en la forma aprobada por el interventor, hasta que la superficie total se haya compactado. Los rodillos deben llevar su rueda motriz del lado cercano a la pavimentadora, excepto en los casos que autorice el interventor y sus cambios de dirección se deben hacer sobre la mezcla ya compactada.

La compactación se debe realizar de manera continua durante la jornada de trabajo y se debe complementar con el trabajo manual necesario para la corrección de todas las irregularidades que se puedan presentar.

Se debe tener cuidado que los elementos de compactación estén siempre limpios y, si es preciso, húmedos. En los lugares inaccesibles a los equipos normales de compactación, el proceso se debe efectuar mediante máquinas de tamaño y diseño adecuados para la labor por realizar. En las zonas que por su reducida extensión o su proximidad a estructuras rígidas no permitan el empleo del equipo aprobado durante la fase de experimentación, la mezcla se debe extender y compactar con los medios que resulten adecuados para el caso, de manera que la densidad alcanzada no sea inferior a la exigida por la presente especificación.

Cuando la mezcla tenga por objeto servir como capa de rodadura, la textura del pavimento terminado debe ser uniforme y permitir una adecuada adherencia con las llantas de los vehículos en condición de superficie húmeda.

Independientemente del tipo de compactadores empleados, la compactación final se debe realizar con equipo neumático para eliminar las huellas de los rodillos lisos y la motoniveladora.

442.4.10 Juntas de trabajo

Al respecto, rige todo lo que resulte aplicable del numeral 440.4.11 del artículo 440. Todas las juntas de trabajo se deben disponer de forma que su borde quede vertical, cortando parte de la capa terminada. A todas las superficies de contacto de franjas construidas con anterioridad se les debe aplicar una capa uniforme y delgada de emulsión asfáltica, antes de colocar la mezcla nueva, de acuerdo con lo previsto en el artículo 421. La nueva mezcla se debe extender contra la junta y se debe compactar y alisar con elementos adecuados, antes de permitir el paso sobre ella del equipo de compactación.

Las juntas transversales en la capa de rodadura se deben compactar transversalmente.

Si se trabaja por franjas, se deben disponer

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

juntas longitudinales en todos los casos en que transcurra más de una jornada entre las operaciones en franjas contiguas. En lo posible, la mezcla se debe colocar en franjas del ancho apropiado para realizar el menor número de juntas longitudinales y para conseguir la mayor continuidad de las operaciones de extendido, teniendo en cuenta el ancho de la sección, las necesidades del tránsito, las características de la terminadora y la producción del material. Cuando los bordes de las juntas longitudinales sean irregulares, presenten huecos o estén deficientemente compactados, se deben cortar para dejar al descubierto una superficie lisa vertical en todo el espesor de la capa.

Donde el interventor lo considere necesario, se debe añadir mezcla que, después de colocada y compactada con pisones, se debe compactar mecánicamente.

La junta longitudinal se debe calentar luego de la rotura de la emulsión del riego de liga, previamente a la extensión de la siguiente franja contra ella. Las juntas deben presentar la misma textura, densidad y acabado que el resto de la capa compactada.

Cuando se emplee la pavimentadora, opción recomendada, se debe regular de manera que la superficie de la capa extendida resulte lisa y uniforme, sin arrastres ni segregaciones, y con un espesor tal que, luego de compactada, se ajuste a la rasante y sección transversal indicadas en los documentos del proyecto con las tolerancias establecidas en la presente especificación. Por ningún motivo se permite el empleo de máquinas pavimentadoras que dejen marcas o depresiones en la superficie u otros defectos permanentes en ella.

Tampoco se debe permitir la segregación de la mezcla. Si ello ocurre, la extensión de la mezcla se debe suspender inmediatamente hasta que se determine y corrija su causa.

Toda área segregada que no se corrija antes de la compactación se debe remover y reemplazar con material apropiado, a expensas del constructor.

La extensión de la mezcla se debe realizar con la mayor continuidad posible, verificando dejar la superficie a las cotas previstas, con el objeto de no tener que corregir la capa colocada.

442.4.11 Pavimento sobre puentes y viaductos

Siempre y cuando se garantice una buena adherencia entre la mezcla asfáltica y la losa de concreto de un puente o pontón, se puede pavimentar con la mezcla asfáltica de la calidad exigida para la capa de rodadura, previa aplicación del riego de liga mencionado en el numeral 442.4.3.

Durante la ejecución del riego y de la pavimentación el constructor debe proteger con lonas, papel o similares, todas aquellas partes de los puentes y pontones que puedan ser afectadas por el ligante bituminoso.

El constructor es responsable por todo daño que causen las operaciones de sus equipos y, en consecuencia, todos los trabajos de reparación y limpieza corren por su cuenta.

442.4.12 Bacheos

Al rellenar toda excavación para reparación del pavimento existente cuya profundidad haya sido superior a ciento cincuenta milímetros (150 mm), los últimos setenta y cinco milímetros (75 mm), hasta alcanzar el nivel de la rasante existente, se deben rellenar con mezcla asfáltica, la cual se debe compactar con el equipo adecuado hasta alcanzar la densidad especificada. El resto de la excavación se debe rellenar como se establece en los numerales correspondientes a bacheo de subbase y base

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

granular en los artículos 320, Subbase granular y 330, Base granular, respectivamente.

Cuando la excavación sea de profundidad menor o igual a ciento cincuenta milímetros (150 mm), se debe rellenar en su totalidad con mezcla asfáltica, en capas de espesor compactado comprendido entre cincuenta y setenta y cinco milímetros (50 – 75 mm) hasta alcanzar la rasante existente. Estos espesores pueden variar especialmente, si así lo establecen los documentos del proyecto, cuando se trate de labores de conservación y rehabilitación de pavimentos asfálticos antiguos con estructuras complejas.

Tanto la superficie que recibe las capas asfálticas como las paredes de la excavación en contacto con ellas, se deben pintar con un riego de liga, conforme lo establecen los documentos del proyecto.

442.4.13 Apertura al tránsito

No se debe permitir el tránsito público hasta que la mezcla haya adquirido la densidad especificada y la capa compactada pueda soportar el paso de los vehículos sin que se produzcan desplazamientos. Durante las primeras cuarenta y ocho horas (48 h) a partir de la apertura, se debe limitar la velocidad a veinte kilómetros por hora (20 km/h) para impedir que se produzcan aceleraciones, frenadas o giros bruscos sobre la capa. Si esto no es posible, el tránsito que necesariamente deba circular sobre ella se debe distribuir de manera que no se concentren las huellas de su circulación sobre la superficie.

Los daños producidos por esta causa deben ser reparados por el constructor sin costo adicional para INVÍAS y a satisfacción plena del interventor.

442.4.14 Limitaciones en la ejecución

No se debe permitir la extensión y compactación de mezclas cuando la temperatura ambiente a la sombra sea inferior a cinco grados Celsius (5°C), esté lloviendo o exista alta probabilidad de lluvia. En caso de que la mezcla sin compactar o compactada sea afectada por el agua de lluvia, el constructor debe, a su costa, retirar la mezcla afectada y reconstruir el sector deteriorado a satisfacción del interventor.

Los trabajos de construcción de la mezcla asfáltica densa natural se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en jornada nocturna, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial adecuado. Si el constructor no ofrece esta garantía debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicional para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

442.4.15 Manejo ambiental

Al respecto, rige el artículo 106, Aspectos ambientales, así como todo lo que resulte aplicable del numeral 400.4.7 del artículo 400.

442.4.16 Reparaciones

Todos los defectos no advertidos durante la colocación y la compactación, tales como protuberancias, juntas irregulares, depresiones, irregularidades de alineamiento y de nivel, los debe corregir el constructor, sin costo adicional para INVÍAS y con la aprobación del interventor. El constructor debe proporcionar trabajadores competentes, capaces de ejecutar

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

a satisfacción el trabajo eventual de correcciones en todas las irregularidades del pavimento construido.

442.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

442.5.1 Controles

Rige lo que resulte aplicable del numeral 400.5.1 del artículo 400.

442.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

442.5.2.1 Calidad de la emulsión

Los requisitos de calidad, controles y criterios de aceptación para la emulsión asfáltica son los establecidos en el artículo 411.

442.5.2.2 Calidad del agua

Siempre que el interventor tenga alguna sospecha sobre la calidad del agua empleada en la mezcla, debe verificar su pH y su contenido de sulfatos, cuyos valores deben satisfacer las exigencias indicadas en el numeral 442.2.4, para permitir su empleo. Si alguna mezcla ha sido elaborada con un agua calificada de inapropiada, se debe poner en observación, hasta el recibo definitivo de los trabajos y, en caso de que presente deterioros, se debe remover y reconstruir por cuenta exclusiva del constructor y hasta ser aprobada por el interventor. La mezcla removida es de propiedad del constructor.

442.5.2.3 Calidad de los agregados pétreos de aporte

Se deben realizar los siguientes controles:

442.5.2.3.1 Aprobación inicial

De cada procedencia de los agregados pétreos de aporte, y para cualquier volumen previsto, se deben tomar cuatro (4) muestras y a cada fracción de ellas se le debe realizar los ensayos indicados en la Tabla 442 – 3. Los resultados de estas pruebas deben satisfacer las exigencias indicadas en el numeral 442.2.3, so pena de rechazo de los materiales defectuosos.

442.5.2.3.2 Control de producción

Durante la etapa de producción se deben examinar las descargas de los agregados pétreos de aporte a los acopios y se debe ordenar el retiro del material que, a simple vista, contenga tierra vegetal, presente restos de materia orgánica, o tamaños superiores al máximo especificado. También, se debe ordenar el acopio por separado de aquellos materiales que presenten alguna anomalía de aspecto, tal como distinta coloración, segregación, partículas alargadas o aplanadas, y plasticidad y debe vigilar la altura de todos los acopios y el estado de sus elementos separadores.

Además, se deben efectuar las verificaciones de calidad indicadas en la Tabla 442 – 13.

En ningún caso se debe permitir el empleo de materiales que no satisfagan los requisitos del numeral 442.2.1. En la eventualidad de que alguna prueba dé lugar a un resultado no satisfactorio, se deben tomar dos (2) muestras adicionales del material y se debe repetir la prueba. Los resultados de ambos ensayos deben ser satisfactorios o, de lo contrario, el interventor no debe autorizar la utilización del material al cual representen dichos ensayos.

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

Tabla 442 – 13 Ensayos de verificación sobre los agregados pétreos de aporte

Característica	Norma de Ensayo INV	Frecuencia
Composición (F)		
Granulometría combinada	E-213	1 por jornada
Dureza, agregado grueso (O)		
Desgaste en la Máquina de los Ángeles	E-218	1 por mes
Coeficiente de pulimiento acelerado para rodadura	E -232	Cuando cambie la procedencia de los agregados
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio	E-220	1 por mes
Limpieza, agregado grueso (F)		
Impurezas en agregado grueso, máximo (%)	E-237	1 por mes
Limpieza, gradación combinada (F)		
Índice de plasticidad	E-125 y E-126	1 por jornada
Valor de azul de metileno (Nota 1)	E-235	1 por semana
Equivalente de arena	E-133	1 por semana
Geometría de las partículas, agregado grueso (F)		
Partículas planas y alargadas, relación 5:1	E-240	1 por semana
Caras fracturadas	E-227	1 por jornada
Geometría de las partículas, agregado fino (F)		
Angularidad de la fracción fina	E-239 Método A	1 por jornada
Adhesividad (O)		
Agregado grueso: Cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos en presencia del agua hirviendo, (%)	E-757	1 por mes
Agregado fino: adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos (método Riedel-Weber), índice mínimo	E-774	1 por mes

Nota 1: En caso de que se requiera, según la nota 1 de la Tabla 442 – 3.

El interventor podrá reducir la frecuencia de los ensayos a la mitad de lo indicado en la Tabla 442 – 13, siempre que considere que los materiales son suficientemente homogéneos o si en el control de recibo de la obra terminada haya aceptado sin objeción diez (10) lotes consecutivos.

442.5.2.4 Composición de la mezcla

A la salida del mezclador, en el cordón de mezcla en obra, en el depósito de almacenamiento o sobre cada vehículo de

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

transporte, según sea el caso, se debe controlar el aspecto de la mezcla. Se deben rechazar todas las mezclas segregadas, así como aquellas cuya envuelta no sea homogénea.

Cuantitativamente, se deben realizar los siguientes controles:

442.5.2.4.1 Contenido de asfalto

Sobre tres (3) muestras de la mezcla elaborada correspondiente a un (1) lote, definido como se indica en el numeral 442.5.2.6.1, se debe determinar el contenido de asfalto residual (Norma de ensayo INV E-732).

El porcentaje de asfalto residual promedio del lote (ART %) debe tener una tolerancia de uno por ciento (1,0 %) para mezclas realizadas en vía y de cero coma tres por ciento (0,3 %) para mezclas elaboradas en planta respecto del óptimo definido en la fórmula de trabajo (ARF%).

(mezcla en vía) **[442.1]**

$$RF\% - 1{,}0\ \% \leq ART\ \% \leq ARF\ \% + 1{,}0\ \%$$

(mezcla en planta) **[442.2]**

$$ARF\% - 0{,}3\ \% \leq ART\ \% \leq ARF\ \% + 0{,}3\ \%$$

A su vez, el contenido de asfalto residual de cada muestra individual (ARI %) no puede diferir del valor promedio (ART %) en más de cero coma cinco por ciento (0,5 %), admitiéndose un (1) solo valor fuera de ese intervalo.

[442.3]

$$ART\ \% - 0{,}5\ \% \leq ARI\ \% \leq ART\ \% + 0{,}5\ \%$$

Un porcentaje de asfalto residual promedio (ART%) fuera de tolerancia, así como un número mayor de muestras individuales por fuera de los límites implica el rechazo del lote salvo que, en el caso de exceso del ligante, el constructor demuestre que no existen problemas de comportamiento de la mezcla ni de inseguridad para los usuarios.

En caso de rechazo, la capa de la mezcla asfáltica correspondiente al lote controlado se debe retirar preferiblemente mediante fresado y ser repuesta por otra de calidad satisfactoria hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado en caso de rechazo es de propiedad del constructor.

442.5.2.4.2 Granulometría de los agregados

Sobre las muestras utilizadas para hallar el contenido de asfalto, se debe determinar la composición granulométrica de los agregados, según la norma de ensayo INV E-782. La curva granulométrica de cada ensayo individual debe ser sensiblemente paralela a los límites de la franja adoptada, ajustándose a la fórmula de trabajo dentro de las tolerancias establecidas en la Tabla 442 – 2, pero sin permitir que la curva se salga de la franja.

En caso de que los valores obtenidos excedan las tolerancias, pero no salgan de la franja, el constructor debe preparar en el laboratorio una mezcla con la gradación defectuosa y el porcentaje medio de asfalto de la mezcla elaborada con este agregado. Esta mezcla se debe someter a todas las pruebas de valoración descritas en el numeral 442.4.3. Si los requisitos allí indicados no se cumplen en su totalidad, se debe rechazar el lote.

En caso de rechazo, la capa correspondiente al lote controlado se debe retirar preferiblemente mediante fresado y ser repuesta por otra de calidad satisfactoria hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado en caso de rechazo es de propiedad del constructor.

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

442.5.2.5 Calidad de la mezcla

442.5.2.5.1 Control de la resistencia para mezclas asfálticas con adición de emulsión asfáltica

Con un mínimo de dos (2) muestras de la mezcla elaborada correspondiente a un lote, se deben moldear probetas (tres (3) por muestra) para verificar en el laboratorio su resistencia en los ensayos de inmersión - compresión (norma de ensayo INV E–622). Una muestra se debe curar en seco y otra en condición húmeda.

Tanto la resistencia media tras curado seco como tras curado húmedo de las probetas elaboradas (R_m), deben superar o al menos igualar al noventa por ciento (90 %) de la respectiva resistencia de la mezcla definitiva de trabajo (R_t):

$$R_m \geq 0{,}90\ R_t \qquad [442.4]$$

Además, la resistencia de cada probeta (R_i) debe ser igual o superior al ochenta por ciento (80%) del valor medio de su respectivo grupo, admitiéndose sólo un (1) valor individual por debajo de ese límite:

$$R_i \geq 0{,}80\ R_m \qquad [442.5]$$

La resistencia conservada promedio (R_{cm}) debe ser, como mínimo, el setenta y cinco por ciento (75 %) sin que al respecto se admita ninguna tolerancia.

$$R_{cm} \geq 75\ \% \qquad [442.6]$$

El incumplimiento de alguna de estas exigencias implica el rechazo del lote representado por las muestras. En este caso, la capa correspondiente al lote controlado se debe retirar preferiblemente mediante fresado y ser repuesta por otra de calidad satisfactoria hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado en caso de rechazo es de propiedad del constructor.

Si el incumplimiento se presenta en dos (2) lotes consecutivos se deben suspender los trabajos hasta que se estudie una nueva fórmula de trabajo que garantice el cumplimiento de todos los requisitos establecidos en el numeral 3.

442.5.2.5.2 Control de las características Marshall para mezclas asfálticas sin adición de emulsión Asfáltica

Para la evaluación de las propiedades Marshall y con un mínimo de dos (2) muestras de la mezcla elaborada correspondiente a un lote, se deben compactar probetas con los mismos parámetros utilizados en el diseño a nivel de laboratorio (al menos tres (3) por muestra).

442.5.2.5.2.1 Estabilidad

La estabilidad media de las seis (6) probetas (E_m) debe ser, como mínimo, igual al noventa por ciento (90 %) de la estabilidad de la mezcla de la fórmula de trabajo (E_t).

$$E_m \geq 0{,}90\ E_t \qquad [442.7]$$

Ningún valor individual (E_i) puede exceder en más de veinticinco por ciento (25 %) el valor de estabilidad de la fórmula de trabajo (E_t), ni encontrarse por debajo del valor mínimo establecido en la Tabla 442 – 8.

$$25\ E_t > E_i > \text{valor mínimo Tabla 442 – 8} \qquad [442.8]$$

Además, la estabilidad de cada probeta (E_i) debe ser igual o superior al ochenta por ciento (80 %) del valor medio de estabilidad (E_m), admitiéndose sólo un valor individual por debajo de ese límite.

$$E_i \geq 0{,}80 \qquad [442.9]$$

El incumplimiento de al menos una de estas exigencias implica el rechazo del lote representado por las muestras. En este caso, la

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

capa de mezcla asfáltica natural correspondiente al lote controlado se debe retirar preferiblemente mediante fresado, y ser repuesta por otra de calidad satisfactoria hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado en caso de rechazo es de propiedad del constructor.

442.5.2.5.2.2 Flujo

El flujo medio de las probetas sometidas al ensayo de estabilidad (F_m) se debe encontrar entre el ochenta por ciento (80 %) y el ciento veinte por ciento (120 %) del valor obtenido en (F_t), pero no se debe permitir que su valor se encuentre por fuera de los límites establecidos en la Tabla 442 – 8.

$$0{,}80\ F_t \le F_m \le 1{,}20\ F_t \qquad [442.10]$$

Si el flujo medio se encuentra dentro del rango establecido en la Tabla 442 – 8, pero no satisface la exigencia recién indicada en relación con el valor obtenido al determinar la fórmula de trabajo, el interventor debe decidir y establecer, al compararlo con las estabilidades, si el lote debe ser rechazado o aceptado.

442.5.2.5.2.3 Susceptibilidad a la humedad

Cada vez que el interventor lo considere necesario, de acuerdo con el aspecto y el comportamiento de la mezcla colocada, se debe verificar en el laboratorio la susceptibilidad de la mezcla compactada a la acción del agua según la metodología de diseño del Instituto Norteamericano del Asfalto.

Al efecto se deben moldear seis (6) probetas con la mezcla que se está elaborando, tres (3) de las cuales se deben curar en seco y tres (3) bajo condición húmeda, para determinar la estabilidad Marshall promedio de cada grupo como lo establece la norma de ensayo (ver el numeral A6 del Anexo A). La estabilidad Marshall del grupo curado en húmedo debe ser, cuando menos, setenta y cinco por ciento (75%) de la estabilidad Marshall del grupo curado en seco, para que se considere que la mezcla es resistente a la humedad, sin que al respecto se admita ninguna tolerancia.

El incumplimiento de este requisito implica la realización del ensayo sobre núcleos tomados de los diferentes lotes, cuya mezcla considere el interventor que puede presentar este problema (seis (6) núcleos por lote, tres (3) curados en seco y tres (3) bajo condición húmeda). Los lotes de material que no cumplan con el requisito se deben rechazar.

Además, los trabajos se deben suspender hasta que se estudien e implementen las medidas que garanticen el cumplimiento de este requisito, las cuales pueden comprender desde la incorporación de un aditivo, hasta la definición de una nueva fórmula de trabajo y un nuevo diseño de la mezcla.

442.5.2.5.2.4 Contenido de agua

Siempre que la apariencia de la mezcla indique la posible presencia de agua en ella, se debe determinar el contenido de agua en la mezcla asfáltica, según las normas de ensayo INV E-755 o INV E–783.

El contenido de agua en cualquier mezcla asfáltica no puede ser mayor del uno por ciento (1 %). Los volúmenes de mezcla que no cumplan con este requisito deben ser rechazados.

442.5.2.6 Calidad del producto terminado

442.5.2.6.1 Tamaño del lote

Se debe considerar como lote, que se acepta o se rechaza en conjunto, la menor área construida que resulte de aplicar los siguientes criterios, para una sola capa de mezcla

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

asfáltica:

- Quinientos metros (500 m) de mezcla colocada en todo el ancho de la calzada.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m^2) de mezcla colocada.
- La obra ejecutada con el mismo material, de la misma procedencia y con el mismo equipo y procedimiento de trabajo.

Específicamente para la determinación del índice Internacional de Rugosidad (IRI), la definición de lote es como se indica en el numeral 442.5.2.6.9.

442.5.2.6.2 Aspectos generales

La capa terminada de mezcla asfáltica debe presentar una superficie uniforme y se debe ajustar a las rasantes y pendientes establecidas. La distancia entre el eje del proyecto y el borde de la capa que se esté construyendo, excluyendo sus chaflanes, no puede ser menor que la señalada en los documentos del proyecto.

La cota de cualquier punto de la mezcla asfáltica compactada en capas de base no debe variar en más de quince milímetros (15 mm) de la proyectada y la variación no puede exceder de diez milímetros (10 mm) cuando se trate de capas intermedias y de rodadura.

Todas las áreas donde los defectos de calidad y terminación excedan las tolerancias de esta especificación, así como aquellas en que se presente retención de agua en la superficie, deben ser corregidas por el constructor y aprobadas por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS.

Además, se deben realizar las siguientes verificaciones.

442.5.2.6.3 Compactación

La determinación de la densidad de la capa compactada se debe realizar, como mínimo, en cinco (5) sitios por lote. Los sitios para la toma de muestras o las mediciones in situ se deben elegir al azar, según la norma de ensayo INV E-730, pero de manera que se realice al menos una (1) prueba por hectómetro.

Para el control de la compactación de una capa de mezcla asfáltica se debe calcular su grado de compactación a partir de los resultados de los ensayos de densidad en el terreno (D_i) y de los ensayos de densidad (D_e) en el laboratorio, mediante la siguiente expresión:

$$GC_i = \frac{Di}{De} \times 100 \qquad [442.11]$$

Donde:

GC_i: Valor individual del grado de compactación en porcentaje;

D_i: Valor individual de la densidad en el terreno, determinado por alguno de los métodos descritos en las normas de ensayo INV E-733, E-734, E-746 o E-802;

D_e: Valor promedio de los valores de densidad de las seis (6) probetas por lote elaboradas en el laboratorio según la metodología de ensayo inmersión - compresión como se indica en el numeral 440.5.2.5.1 del artículo 440, o Marshall Modificado del Instituto Norteamericano del Asfalto.

Sólo se debe aceptar la determinación de la densidad de la capa compactada por medio del densímetro nuclear (norma de ensayo INV E-746) si se garantiza, sin lugar a ninguna duda, que la medición del aparato abarca única y exclusivamente el espesor total de la capa que se está verificando.

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

Para el control de la compactación se deben aplicar los siguientes criterios:

GC_l (90) ≥ 95,0 % se acepta el lote **[442.12]**

GC_l (90) < 95,0 % se rechaza el lote **[442.13]**

Siendo:

GC_l (90): Límite inferior del intervalo de confianza en el que, con una probabilidad del 90%, se encuentra el valor promedio del grado de compactación del lote en porcentaje; se calcula según el numeral 107.3.1.3 del artículo 107, Control y aceptación de los trabajos, a partir de los valores individuales del grado de compactación GC_i.

Las comprobaciones de la compactación se deben realizar en todo el espesor de la capa que se controla cuando se haya cumplido sustancialmente el período de curado de la mezcla, conforme se haya determinado durante la etapa de diseño de la mezcla y/o en la fase de experimentación. La toma de muestras testigos se debe realizar de acuerdo con la norma INV E-758.

En caso de rechazo, la capa de mezcla asfáltica correspondiente al lote controlado se debe retirar preferiblemente mediante fresado y ser repuesta por otra de calidad satisfactoria hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado en caso de rechazo es de propiedad del constructor.

442.5.2.6.4 Espesor

Sobre la base del lote escogido para el control de la compactación y en los mismos puntos de verificación, se debe determinar el espesor promedio de la capa compactada (e_m), el cual no puede ser inferior al espesor de diseño (e_d).

$$e_m \geq e_d \quad \textbf{[442.14]}$$

Además, el valor obtenido en cada determinación individual (e_i) debe ser, como mínimo, igual al noventa por ciento (90%) del espesor de diseño admitiéndose un (1) solo valor por debajo de dicho límite, siempre que este último valor sea igual o mayor al ochenta y cinco por ciento (85%) del espesor de diseño.

$$e_i \geq 0{,}90\ e_d \quad \textbf{[442.15]}$$

Si alguno de estos requisitos se incumple, se debe proceder como se indica a continuación.

Todas las labores de corrección las debe ejecutar el constructor, sin cargo adicional para INVÍAS.

442.5.2.6.4.1 Para capas de rodadura

El constructor debe fresar y remover la capa y reponerla en el espesor adecuado o, alternativamente y si no existen problemas de gálibo o de sobrecargas estructurales, colocar una capa adicional del mismo tipo de mezcla de cincuenta milímetros (50 mm) de espesor compacto, cumpliendo todos los requisitos de calidad de esta especificación. El riego de liga que se deba colocar para adherir las capas se debe ejecutar en acuerdo con el artículo 421.

Si la capa adicional no cumple alguno de los requisitos de este artículo, esta se debe fresar y reponer con una nueva de calidad satisfactoria, sin costo alguno para INVÍAS.

442.5.2.6.4.2 Para capas intermedias y de base

El constructor debe fresar y remover la capa y reponerla en el espesor adecuado salvo que, tratándose de una capa de base o intermedia sobre la cual se va a colocar otra capa de mezcla asfáltica, el constructor se comprometa

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

a compensar la deficiencia incrementando el espesor de la capa intermedia o de rodadura respectivamente, sin que el exceso de espesor por colocar de esta última genere costo alguno para INVÍAS.

442.5.2.6.5 Planicidad

La superficie acabada no puede presentar zonas de acumulación de agua, ni irregularidades mayores de diez milímetros (10 mm) en capas de rodadura o de quince milímetros (15 mm) en capas de base o intermedias y bacheos, cuando se compruebe con una regla de tres metros (3 m), según la norma de ensayo INV E-793; la regla se debe colocar tanto paralela como perpendicularmente al eje de la vía, en los sitios que el interventor escoja al azar, los cuales no pueden estar afectados por cambios de pendiente.

Las zonas que presenten deficiencias de este tipo se deben retirar preferiblemente mediante fresado, y ser repuestas por el constructor colocando otra de calidad satisfactoria hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado en caso de rechazo es de propiedad del constructor.

442.5.2.6.6 Textura

Las medidas de textura se deben realizar antes de la puesta en servicio de la capa de rodadura construida con una mezcla asfáltica natural empleando el método descrito en la norma de ensayo INV E–791.

El número mínimo de puntos por controlar por lote debe ser de tres (3), que se deben ampliar a cinco (5), si la textura obtenida en uno (1) de los tres (3) primeros es inferior a la especificada. Dichos puntos se deben elegir al azar, de acuerdo con la norma INV E–730. La profundidad media de textura del lote no puede ser menor al mínimo admisible, que se defina en los documentos del proyecto, el cual no puede ser inferior a cero coma treinta y cinco milímetros (0,35 mm). Ningún valor individual puede ser inferior en más de veinte por ciento (20 %) al promedio mínimo exigido y no pueden existir áreas con evidencias indudables de segregación.

Si este requisito no se cumple, la capa de rodadura correspondiente al lote controlado se debe retirar preferiblemente mediante fresado, ser repuesta por otra de calidad satisfactoria hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado en caso de rechazo es de propiedad del constructor.

Alternativamente, y a opción del constructor, y si no existen problemas de gálibo o de sobrecargas estructurales, este puede colocar una capa adicional de una mezcla del mismo tipo con el correspondiente riego de liga, sin costo adicional para INVÍAS, del mismo espesor compacto que la anterior, para cumplir todos los requisitos de calidad de esta especificación.

442.5.2.6.7 Resistencia al deslizamiento

Una vez transcurridos, como mínimo treinta (30) días de la puesta en servicio, se harán las determinaciones de la resistencia al deslizamiento sobre las mezclas asfálticas construidas para servir como capas de rodadura.

Debido a que la resistencia al deslizamiento se encuentra relacionada directamente con la seguridad de los usuarios, los puntos para su determinación en cada lote no se deben elegir al azar, sino que el interventor los debe ubicar en los lugares que considere más sensibles al deslizamiento vehicular en condición de

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

superficie húmeda.

Las medidas se deben realizar con el péndulo británico, de acuerdo con la norma de ensayo INV E-792, en tres (3) puntos por lote en zonas en tangente y en uno (1) por cada curva horizontal y por cada zona singular (glorieta, intersección, zona de frenado, etc.) incluida dentro del lote, y ninguna de ellas puede presentar un valor inferior a cero coma cinco (0,5).

En caso de que se presenten valores menores, el interventor debe realizar medidas adicionales para delimitar perfectamente el área deficiente, la cual debe ser corregida por el constructor, sin costo adicional para INVÍAS. Para ello, la capa de mezcla asfáltica correspondiente al lote controlado se debe retirar preferiblemente mediante fresado, y ser repuesta por otra de calidad satisfactoria hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado en caso de rechazo es de propiedad del constructor.

Alternativamente, y a opción del constructor, y si no existen problemas de gálibo o de sobrecargas estructurales, este puede colocar una capa adicional de una mezcla del mismo tipo, sin costo adicional para INVÍAS, de cincuenta milímetros (50 mm) de espesor compacto, que cumpla todos los requisitos de calidad de esta especificación. El riego de liga usado para adherir las capas debe ser aplicado de acuerdo con el artículo 421, sin costo adicional para INVÍAS.

La resistencia al deslizamiento se puede verificar también con dispositivos de rueda parcialmente bloqueada (norma de ensayo INV E-815). En tal caso, el constructor debe proponer el equipo y ser aprobado por el interventor, al igual que los valores mínimos por alcanzar, los cuales deben ser, cuando menos, equivalentes a cero coma cinco (0,5) para el péndulo británico.

442.5.2.6.8 Correcciones por variaciones en el diseño o por causas no imputables al constructor

Cuando sea necesario efectuar correcciones a las capas asfálticas por modificaciones en el diseño estructural o por fuerza mayor u otras causas inequívocamente no imputables al constructor, el interventor debe delimitar el área afectada y debe ordenar las correcciones necesarias, por cuyo trabajo debe autorizar el pago al constructor, con el consentimiento previo de INVÍAS, al respectivo precio unitario del contrato.

442.5.2.6.9 Regularidad superficial

El Indice de Rugosidad Internacional (IRI) se debe comprobar de manera continua en toda la longitud de la obra y en cada carril, antes del recibo definitivo de la misma. Para los efectos de aceptación del pavimento terminado, este artículo establece que la determinación del IRI se debe realizar únicamente, con procedimientos de medida de precisión o con equipos de referencia inercial. Las medidas de precisión se pueden adelantar con mira y nivel, de acuerdo con el procedimiento indicado en la norma INV E-794 o con un perfilómetro pivotante de alta precisión, norma INV E-814.

Si se opta por el equipo de referencia inercial, este se debe validar previamente con uno de precisión, en un tramo de prueba de longitud no menor de doscientos metros (200 m). El equipo de referencia inercial se debe operar de acuerdo con la norma ASTM E950.

Para efectos de la evaluación con fines de recibo, las medidas se deben hacer en cada uno de los carriles del pavimento construido y los valores del IRI se deben presentar en metro por kilómetro (m/km), en tramos consecutivos

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

de cien metros (100 m) por carril, con la excepción que se cita en el párrafo siguiente. Un conjunto de cinco (5) tramos constituye un lote.

No debe haber exigencia sobre el cumplimiento de regularidad superficial en tramos que incluyan singularidades, entendiendo por tales todas aquellas alteraciones del perfil longitudinal de la carretera que incrementen el IRI y no provengan de deficiencias constructivas, como pueden ser intersecciones con otras vías, puentes, pozos de inspección, reductores de velocidad, etc., los cuales debe definir el interventor, con su ubicación respectiva (carril y abscisa), antes de proceder a la determinación del IRI.

Se entiende que la superficie del pavimento tiene una regularidad superficial aceptable, si a lo largo de la longitud evaluada en cada carril se satisfacen los valores indicados en la Tabla 442 – 14. Si la proporción de hectómetros donde los resultados del IRI exceden los límites especificados no es superior a veinte por ciento (20 %) del total del lote, el interventor debe delimitar los sectores relevantes en el incumplimiento y debe ordenar su corrección mediante fresado y la colocación de una nueva capa de mezcla asfáltica. El interventor debe establecer los espesores por fresar y reponer en cada tramo, y todos los costos que impliquen estas correcciones, deben ser asumidos por el constructor. El material fresado es de propiedad del constructor.

Si la proporción de hectómetros donde los resultados del IRI exceden los límites especificados es mayor a veinte por ciento (20 %) del total del lote, toda la longitud de este debe ser fresada y repuesta en el mismo espesor.

El fresado, traslado y disposición del material demolido y la reconstrucción de la capa con la calidad exigida por el presente artículo, están a cargo del constructor. El material demolido es de propiedad del constructor. Este, a su vez, no puede invocar las reparaciones o reconstrucciones debidas a deficiencias en la regularidad superficial como causal para incumplir el programa de trabajo.

Tabla 442-14 Valores máximos admisibles del IRI (m/km) para tránsito NT

Porcentaje (%) de hectómetros	Pavimentos de construcción nueva y rehabilitados en espesor > 10 cm	Pavimentos rehabilitados en espesor ≤ 10 cm
40	2,4	2,9
80	3,0	3,5
100	3,5	4,0

442.5.2.6.10 Construcción de capas de renivelación

La mezcla asfáltica que se emplee para la construcción de capas de renivelación de un pavimento existente debe cumplir los mismos requisitos que se exigen cuando se coloca como capa de base, si su espesor compacto es mayor o igual a setenta y cinco milímetros (75 mm). En caso contrario, debe cumplir los requisitos exigidos para la capa intermedia.

442.5.2.6.11 Medidas de deflexión

El interventor debe verificar la homogeneidad de la estructura construida al nivel de la capa de mezcla asfáltica, realizando medidas de deflexión con alguno de los dispositivos presentados en la norma de ensayo INV E-797,

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

de acuerdo con el procedimiento normal aplicable a este. Los resultados de las medidas, que se deben realizar en tresbolillo cada veinte metros (20 m), no deben constituir base para aceptación o rechazo de la capa construida, sino que sirven a INVÍAS para verificar la homogeneidad de la estructura que se construye y realizar los ajustes que pudieran resultar necesarios al diseño estructural del pavimento.

442.6 Medida

Rige lo descrito en el artículo 400 y, en particular, en el numeral 400.6.2. Para bacheos, se debe aplicar lo especificado en el numeral 400.6.3 del mismo artículo.

442.7 Forma de pago

Rige lo descrito en el artículo 400 y, en particular, en el numeral 400.7.3 del mismo artículo.

Se excluyen del precio unitario, el suministro y el almacenamiento de la emulsión para la mezcla, los cuales se deben pagar de acuerdo con el artículo 411, siempre que ello sea requerido.

442.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
442.1	Mezcla asfáltica natural tipo MAN-38	Metro cúbico (m^3)
442.2	Mezcla asfáltica natural tipo MAN-25	Metro cúbico (m^3)
442.3	Mezcla asfáltica natural tipo MAN-19	Metro cúbico (m^3)
442.4	Mezcla asfáltica natural para bacheo	Metro cúbico (m^3)

Nota: Se debe elaborar un nuevo ítem de pago diferente para cada tipo de mezcla y capa que haga parte del contrato. Por ejemplo, si el contrato considera dos mezclas del tipo MAN-25, una para capa de rodadura y otra para capa intermedia, se pueden identificar así:

Ítem	Descripción	Unidad
442.2.1	Mezcla asfáltica natural tipo MAN-25 para capa de rodadura	Metro cúbico (m^3)
442.2.2	Mezcla asfáltica natural tipo MAN-25 para capa intermedia	Metro cúbico (m^3)

De igual manera se debe elaborar un nuevo ítem si a las mezclas asfálticas naturales se les adiciona una emulsión asfáltica. En este caso se podría identificar así:

Ítem	Descripción	Unidad
442.2.3	Mezcla asfáltica natural tipo MAN-25 para capa de rodadura con adición de emulsión asfáltica	Metro cúbico (m^3)

Anexo A

(Informativo)

Evaluación de mezclas asfálticas mediante la aplicación del Método Marshall modificado del Instituto Norteamericano del Asfalto

A.1 GENERALIDADES

A.1.1 Justificación y ámbito de aplicación del método de evaluación

Las mezclas asfálticas naturales son consideradas mezclas asfálticas no convencionales. Su origen es natural mediante un proceso de impregnación del agregado (arena o conglomerado) por un crudo pesado a través del tiempo. Se considera como una mezcla de un agregado y un asfalto líquido natural de curado lento (solventes pesados) conformado por un cemento asfáltico de consistencia baja y una variedad de solventes con una alta viscosidad, difícil de evaporar en su totalidad durante el proceso de colocación y compactación pero que pueden ir variando su composición química por fenómenos de

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

oxidación con el oxígeno proveniente del aire y agua, por lo cual se espera un incremento de su resistencia con el transcurso del tiempo

En Estados Unidos a comienzos de siglo pasado (1900), era muy común la utilización de los denominados Cut Back o asfaltos rebajados para elaborar mezclas asfálticas para la construcción de superficies de rodadura en vías con bajo nivel de tránsito. Es por eso por lo que instituciones reconocidas como el Instituto Norteamericano del Asfalto lideró una serie de investigaciones a nivel de laboratorio y en obra que generó en un método de diseño de las mezclas con asfalto líquido y unos criterios de diseño, basados ambos en el método de diseño de mezclas en caliente Bruce Marshall. Esta metodología y criterios de diseño se encuentran publicados en el manual de diseño del Instituto Norteamericano del Asfalto MS-14 de 1989 en el apéndice H y en los métodos de diseños de mezclas para concreto asfáltico, MS-2. Con la proliferación de la tecnología de mezclas en caliente y la coyuntural crisis energética de los años 80´s su uso se redujo considerablemente.

El método y criterios de diseño del instituto del Asfalto son aplicables en las tareas de mantenimiento y pavimentación cuando se utilizan los asfaltos líquidos, en especial los del tipo curado medio (MC) y curado lento (SC) y agregados minerales bien gradados con un tamaño máximo de partículas de veinticinco milímetros (25 mm) (1 pulgada) o menores. Por esta razón, el método seleccionado para caracterizar estas mezclas asfálticas no convencionales, dadas las características del ligante natural y los criterios de diseño para evaluar su comportamiento, es el recomendado por Instituto Norteamericano del Asfalto. Es de anotar que este método de diseño puede ser realizado por cualquier laboratorio dedicado a la evaluación de materiales viales de manera rápida y económica. Incluye mezclas elaboradas en vía, preparadas a la temperatura ambiente, así como también mezclas en planta que requieran una alta temperatura de mezclado. El método puede ser usado únicamente para diseños a nivel de laboratorio.

Teniendo en cuenta que esta metodología de diseño no se volvió a utilizar debido a disposiciones de tipo ambiental y energético, lo cual favoreció el desplazamiento de los asfaltos líquidos por las emulsiones asfálticas, se considera necesario precisar nuevamente estos aspectos a los laboratorios actuales, presentando a continuación una adaptación y aplicación del método de diseño Marshall modificado para asfaltos líquidos en la evaluación de las mezclas asfálticas naturales con o sin adición de agregado de aporte.

Nota 1: Este instructivo no reemplaza al documento recomendado por el Instituto Norteamericano del Asfalto, por lo que se debería tener como referencia directa en el laboratorio el documento original.

A1.2 Procedimiento general

Antes de elaborar las mezclas de prueba para ajustar las dimensiones de las briquetas se requiere:

a) Que los materiales cumplan con las especificaciones requeridas.

b) Que la combinación a evaluar de mezcla asfáltica natural y agregado pétreo de aporte se encuentre dentro de las especificaciones granulométricas exigidas.

c) Que se determine la gravedad específica bulk de los agregados que conforman la mezcla asfáltica natural, del agregado pétreo de aporte y la gravedad específica del ligante asfáltico, con el fin de realizar el análisis de densidad y vacíos.

d) Que se elabore la curva reológica del ligante asfáltico que conforma la mezcla asfáltica natural. Para ello se debe

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

separar el agregado del ligante asfáltico natural mediante el procedimiento definido por la norma INV E-759 y determinar la viscosidad a distintas temperaturas.

El método Marshall utiliza muestras de prueba normalizada de sesenta y tres coma cinco milímetros (63,5 mm) (2,5 pulgadas) de espesor por ciento uno coma seis milímetros (101,6 mm) (4 pulgadas) de diámetro, que se preparan de acuerdo con especificaciones bien definidas de espesor, mezclado y compactación de las mezclas.

Los dos datos más importantes del diseño de la mezcla por el método Marshall son: Un análisis de densidad y vacíos y una prueba estabilidad – flujo sobre las muestras compactadas.

La estabilidad de la muestra es la máxima resistencia a la carga en newtons (N), que una muestra ensayada a una temperatura controlada de veinticinco grados Celsius (25 ^{o}C) (77 ^{o}F) soportaría siguiendo el procedimiento que más adelante se enuncia. El flujo es el total de deformación medido en unidades cero coma veinticinco milímetros (0,25 mm) (0,01 pulgada), que sufre la muestra (briqueta), mientras se carga al máximo durante la prueba de estabilidad.

El proceso de evaluación consiste en los siguientes pasos.

- Se selecciona la mezcla asfáltica natural y en caso de ser necesario, el agregado pétreo de aporte, los cuales deben cumplir con las especificaciones requeridas.
- Se preparan y compactan muestras de prueba con los materiales seleccionados teniendo en cuenta que las temperaturas de mezclado y compactación se deben determinar mediante la curva de susceptibilidad térmica (curva reológica) del ligante asfáltico natural que conforma la mezcla asfáltica.
- Con la mezcla asfáltica seleccionada en su estado natural, tal como sale de la mina, o con la adición de agregado pétreo de aporte se prepara una serie de muestras de prueba (briquetas). Se recomienda evaluar mínimo dos porcentajes por encima y por debajo del óptimo teórico de referencia que debería estar presente en la mezcla asfáltica seleccionada definido por algún método. Se recomienda utilizar el método de superficie específica del agregado determinado mediante la norma Invias E-741.
- Para establecer la idoneidad de los datos estimados se deben elaborar tres (3) muestras (briquetas) por cada contenido de asfalto que se vaya a usar. Así, para un estudio de diseño se deben evaluar al menos cuatro (4) mezclas asfálticas con porcentajes de asfalto diferentes, por lo cual se van a requerir al menos doce (12) briquetas. Adicionalmente se deben utilizar seis (6) briquetas para determinar los efectos del agua en la estabilidad. Para la elaboración de cada muestra de ensayo (briqueta), se necesitan aproximadamente mil doscientos gramos (1 200 g) de mezcla asfáltica. Es por esto por lo que la cantidad mínima de material representativo y de composición homogénea que se requiere para la preparación de las briquetas y realizar los demás ensayos de caracterización necesarios: análisis granulométrico y determinación de las gravedades específicas, es aproximadamente 30 kg.
- Las muestras se evalúan para determinar la relación de vacíos en la mezcla y relación de vacíos en el agregado y la estabilidad y el flujo Marshall a veinticinco grados Celsius (25 °C) (77 oF).
- El efecto del agua en la estabilidad y el flujo se determinan de acuerdo con los

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

resultados de someter la muestra (briqueta), a una prueba de inmersión por un período de cuatro (4) días en un baño de agua a veinticinco grados Celsius (25 °C) (77 oF).

- Se debe seleccionar la mezcla asfáltica que cumpla con los criterios de diseño establecidos por el Instituto Norteamericano del Asfalto.

A.2 EQUIPO

Al respecto se considera lo que resulte aplicable de la norma de ensayo INV E-748, numeral A4.

El equipo necesario para la elaboración de las briquetas o muestras es el siguiente:

a) Horno y palanca calentadora eléctrica para calentar los agregados pétreos de aporte, el asfalto y materiales necesarios.

b) Cuchara para manejar los agregados y la mezcla.

c) Recipientes graduados, bandeja y pinzas para el calentamiento del asfalto.

d) Termómetro blindado de vidrio o dial con varilla para lecturas entre diez y doscientos treinta y dos grados Celsius (10 °C – 232 °C) (50 °F – 450 °F), de la temperatura de los agregados, del asfalto y de la mezcla asfáltica.

e) Balanza de dos kilogramos (2 kg) de capacidad, con aproximación a cero coma un gramos (0,1 g), para pesar las muestras compactadas.

f) Palustre.

g) Espátula.

h) Mezclador mecánico (opcional) de cuatro litros (4 L) de capacidad o más, equipo con dos compartimientos de metal para mezclado y dos agitadores.

i) Baño de agua hirviendo que consiste en el plato calentador y cubeta de agua para calentar el martillo y el molde de compactación.

j) Pedestal para compactación que consta de soporte de madera de doscientos por doscientos por cuatrocientos sesenta milímetros (200 mm x 200 mm x 460 mm) (8 pulgadas x 8 pulgadas x 18 pulgadas), sobre el cual descansa una placa de acero de trescientos cinco por trescientos cinco por veinticinco milímetros (305 mm x 305 mm x 25 mm) (12” x 12” x 1”). El soporte puede ser de roble, pino o cualquier otra madera resistente que tenga un peso seco de seiscientos setenta y tres a setecientos sesenta y nueve kilogramos por metro cúbico (673 kg/m^3 a 769 kg/m^3) (42 lb/pie^3 a 48 lb/pie^3). El soporte se debe asegurar mediante cuatro (4) esquineras a una placa sólida de concreto. Los bordes de la placa de acero se fijan firmemente al soporte. El pedestal puede instalarse de tal manera que el soporte quede nivelado y que se presente un perfecto ajuste durante el proceso de la compactación.

k) Molde de compactación que consta de: una base, un molde encofrado y un collar de extensión. El molde tiene un diámetro interior de ciento uno coma seis milímetros (101,6 mm) (4 pulgadas) y una altura aproximadamente de setenta y seis milímetros (76 mm) (3 pulgadas). La base y el collar están diseñados para intercambiarse ya sea a uno u otro lado del molde.

l) Martillo de compactación que consta de una barra achatada que cae deslizándose sobre una guía y un pisón de cara circular de noventa y ocho coma cuatro milímetros (98,4 mm) (3-7/8 de pulgada). La barra pesa cuatro coma cinco kilogramos (4,5 kg) (10 lb) y tiene una caída (guía) de cuatrocientos cincuenta y siete coma dos milímetros (457,2 mm) (18 pulgadas) de altura.

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

m) Soporte del molde que consta de un dispositivo de tensión elástica, diseñado para acoplar el molde sobre el pedestal de compactación.

n) Extractor de muestras o prensa para extraer la muestra (briqueta) ya compactada.

o) Guantes de soldadura para el manejo del equipo calentado.

p) Guantes de caucho para el manejo de las muestras en el baño de agua caliente.

q) Crayolas para marcar las muestras.

r) Bandeja de metal para vaciar los agregados, mezclarlos con el asfalto líquido y curado de la mezcla.

s) Horno aireador para el curado de las mezclas.

t) Balanza de cuatro kilogramos (4 kg) de capacidad con aproximación a cero coma dos gramos (0,2 g), para pesar los agregados y el asfalto.

u) Máquina de ensayo Marshall con dispositivo eléctrico, diseñada para aplicar las cargas a las muestras por medio de pesas de ensayo semicirculares a una rata de deformación constante de cincuenta coma ocho milímetros por minuto (50,8 mm/min) (2 pulgadas/min). Está equipada, además, con un calibrador provisto de anillo para determinar la carga de ensayo aplicada, marco de carga para el ensayo de estabilidad Marshall y un medidor de flujo Marshall para establecer la deformación bajo la carga máxima de ensayo. En lugar del marco de ensayo Marshall puede emplearse una maquina universal de ensayo equipado con indicadores adecuados de carga y deformación.

v) Aireador o baño de aire. El baño de aire debe estar equipado con un control automático o manual de mantenimiento de la temperatura en veinticinco, más o menos cero coma seis, grados Celsius (25 °C ± 0,6 °C) (77 °F ± 1 °F).

A.3 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA ENSAYO

Al respecto se considera lo que resulte aplicable de la norma de ensayo INV E-748, numeral A5.

A.3.1 Número de muestras

Se deben preparar por lo menos tres (3) muestras y preferiblemente cinco (5) muestras para cada contenido de asfalto en la mezcla seleccionada para evaluar, ya sea en su estado natural o con aporte de agregados pétreos.

A.3.2 Determinación de la temperatura de mezclado y de compactación

La temperatura a la cual debe realizarse la mezcla entre el agregado pétreo de aporte y la mezcla asfáltica natural debe ser la que permita alcanzar en el ligante asfáltico una viscosidad de ciento setenta más o menos veinte centistokes (170 ± 20 cSt). La temperatura a la cual el ligante asfáltico puede llegar a tener una viscosidad de doscientos ochenta más o menos treinta centistokes (280 ± 30 cSt) se denomina la temperatura de compactación.

Para su determinación debe construirse la curva de viscosidad versus temperatura del ligante asfáltico recuperado mediante el procedimiento definido por las normas de ensayo INV E-759 e INV E-717.

Nota 2: Teniendo en cuenta que las mezclas asfálticas naturales están conformadas por arenas o conglomerados impregnados de una película de ligante asfáltico natural (cemento asfáltico y solvente de bajo grado de volatilización), no es necesario someter a un proceso de curado a la mezcla antes

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

de proceder a su compactación. En este caso se estaría evaluando a las mezclas asfálticas naturales de una manera conservadora, dado que con el tiempo en servicio se presenta un endurecimiento del ligante haciendo que la mezcla vaya incrementando su resistencia a las deformaciones plásticas. Esta es una diferencia respecto al método original en donde se hace evaporar un veinticinco por ciento (25 %) o un cincuenta por ciento (50 %) de los solventes incluidos durante la elaboración del asfalto líquido.

A.3.3 Preparación del molde y el martillo

Cuando se encuentra completamente limpio el conjunto del molde, al igual que la cara del martillo, se someten a un baño de agua caliente o se colocan sobre el plato calentador a una temperatura entre noventa y tres coma tres y ciento cuarenta y ocho coma nueve grados Celsius (93,3 °C - 148,9 °C) (200 °F – 300 °F). Se debe colocar un pedazo de papel de filtro recortado de acuerdo con el tamaño del fondo del molde y luego se coloca la muestra en el molde.

A.3.4 Preparación de las mezclas

Al respecto, se debe considerar lo que resulte aplicable de la norma de ensayo E-748, numeral A5.5.

- Pesar por separado en bandejas para cada muestra de ensayo la cantidad adecuada de cada fracción que produzca una cochada que dé como resultado una muestra compactada de sesenta y tres coma cinco, más o menos uno coma tres, milímetros (63,5 ± 1,3 mm) (2,5 ± 0,1 pulgadas) de espesor.
- Colocar las bandejas con la mezcla asfáltica natural y material de aporte (en caso necesario) en el horno y calentar a una temperatura aproximada de diez grados Celsius (10 °C), por encima de la temperatura de mezclado.
- Colocar en la bandeja de mezclado cada uno de los materiales a mezclar, previamente pesados, en las cantidades definidas. En este punto, la temperatura de la mezcla asfáltica natural y agregados pétreos de aporte debe estar cercana a los límites de la temperatura de mezclado establecida anteriormente. Se mezclan enérgicamente los materiales de manera uniforme con el palustre hasta obtener una mezcla homogénea. Debe evitarse la pérdida de material durante el mezclado y luego durante su manejo.

A.3.5 Compactación de las muestras (briquetas).

Al respecto se debe considerar lo que resulte aplicable de la norma de ensayo E-748, numeral A5.6.

3.5.1. Colocar toda la cochada preparada dentro del molde, emparejando la mezcla con la espátula unas quince (15) veces alrededor del perímetro y diez (10) veces en la parte central. Se quita el collar y se alisa suavemente la superficie hasta obtener una forma ligeramente redondeada. Inmediatamente antes del proceso de compactación, la temperatura de la mezcla debe estar muy cercana a los límites de la temperatura de compactación establecida, o de lo contrario debe descartarse.

3.5.2. Colocar nuevamente el collar de extensión, colocar el molde en el sostenedor y ubicarlo en el pedestal de compactación. Se aplican setenta y cinco (75) golpes con el martillo. Se quita la base y el collar, se le da vuelta y se vuelve a armar el conjunto. Se aplica el mismo número de golpes (75) a la cara opuesta de la muestra. Después de la compactación se quita la base del molde y se expone la muestra a la temperatura ambiente

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

dentro del molde. Se saca la muestra del molde por medio de un extractor o de cualquier otro aparato de compresión. Se coloca en una superficie lisa y se enrasa la superficie antes de llevarla al ensayo. Las muestras que presenten una variación de más o menos dos coma cinco milímetros (± 2,5 mm) (± 0,1 pulgada), en relación con el espesor especificado de sesenta y tres milímetros (63 mm) (2,5 pulgadas), se deben rechazar.

Nota 3: El ensayo de estabilidad y flujo se debe efectuar pasadas dieciséis horas (16 h) después de la compactación. Si la muestra debe ser almacenada por más de veinticuatro horas (24 h), antes del ensayo, se debe proteger de la exposición al aire mediante sellado en un recipiente cerrado a prueba de aire.

A.4 ANÁLISIS DE DENSIDAD Y VACÍOS

Al respecto se debe considerar lo que resulte aplicable de las normas de ensayo INV E-736 e INV E-799.

Para realizar la determinación del volumen de vacíos con aire Vv y vacíos en el agregado mineral VAM, es necesario determinar los siguientes parámetros a las mezclas asfálticas en estado suelto y compactado:

- La gravedad específica bulk de la mezcla asfáltica compactada mediante el procedimiento descrito en algunas de las normas INV E-733 e INV E-734.
- Se determina la gravedad específica máxima de cada una de las mezclas asfálticas evaluadas siguiendo el procedimiento definido en la norma INV E-735.

A.5 ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL

Al respecto se debe considerar lo que resulte aplicable de la norma de ensayo INV E- 748, numeral A6.

Después de determinada la gravedad específica bulk de la mezcla asfáltica compactada se deben garantizar los siguientes requisitos para los ensayos de estabilidad y flujo:

- Permanencia de la muestra durante dos horas (2 h), antes de ensayarse, en el baño de aire a veinticinco, más o menos cero coma siete, grados Celsius (25 °C ± 0,7 °C) (77 °F ± 1 °F).
- Establecer la limpieza de las guías y de la superficie interior del anillo de prueba y lubricar las guías para garantizar que el segmento superior del anillo se deslice libremente sobre ellas. La temperatura del anillo de prueba debe mantenerse entre veintiuno coma uno y veintiséis coma siete grados Celsius (21,1 °C - 26,7 °C) (70 °F – 80 °F), utilizando el baño de agua, si ello fuere necesario. Verifíquese el ajuste en cero (0) del medidor de flujo (deformímetro) y el dispositivo de medición de la carga (anillo).
- Se saca la muestra del baño de aire, se coloca en la parte inferior del anillo de prueba, luego se ajusta la parte superior de dicho anillo y se centra el conjunto en el dispositivo de carga. Se coloca el medidor de flujo (deformímetro) sobre la barra guía marcada.
- Aplicar la carga de ensayo a la muestra a una rata de deformación constante de cincuenta coma ocho milímetros por minuto (50,8 mm/min) (2 pulgadas/min) hasta que ocurra la falla. El punto de falla está definido por la lectura obtenida en la carga máxima. El número total de Newtons (N) o libras (Lb) que sea necesario para producir la falla de la muestra a veinticinco coma seis grados Celsius (25,6 °C) (77 °F), se considera como valor de su estabilidad Marshall.
- Mientras se hace el ensayo de estabilidad

manténgase el medidor de flujo fuertemente en posición sobre la barra guía y retírese en el instante en que empiece a decrecer, o sea, bajo la carga máxima. Se debe anotar el valor de flujo indicado, cuyas unidades son cero coma veinticinco milímetros (0,25 mm) (0,01 pulgadas).

- Promediar los valores de estabilidad y flujo para todas las muestras con cada contenido de ligante. Los valores que obviamente no estén cercanos entre sí deben obedecer a errores y por lo tanto no se consideran dentro del promedio.

A.6 EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD AL AGUA

- Se deben seleccionar las mezclas asfálticas que cumplan con todos los requerimientos de diseño exigidos en la tabla A1.
- Se debe preparar un grupo de por lo menos seis (6) muestras de ensayo con las mezclas seleccionadas siguiendo el procedimiento descrito en el numeral A3.
- Se determina la gravedad específica bulk de cada mezcla asfáltica compactada y se obtiene el valor promedio. Se dividen las muestras en dos grupos de tal manera que la gravedad específica bulk de cada uno de los dos grupos sea, en lo posible, cercano al promedio general.
- Colocar un grupo de las muestras de ensayo a temperatura ambiente en un baño de aire (aireador) a veinticinco, más o menos cero coma seis, grados Celsius (25 °C ± 0,6 °C) (77 °F ± 1 °F), durante dos horas (2 h) antes de ensayarlas para estabilidad y flujo a la misma temperatura.
- Colocar el otro grupo de muestras de ensayo en otros recipientes y mantenerlas a temperatura ambiente por un periodo de dieciséis a veinticuatro horas (16 h – 24 h). Posteriormente se sumergen durante cuatro días (4 d) en un baño de agua a una temperatura de veinticinco, más o menos cero coma seis, grados Celsius (25 °C ± 0,6 °C) (77 °F ± 1 °F), antes de ensayarlas para flujo y estabilidad a la misma temperatura.
- Calcular el porcentaje de estabilidad retenida después de la inmersión, en relación con el promedio de estabilidad Marshall de cada grupo de muestras de ensayo.

A.7 CRITERIO PARA ELEGIR UNA MEZCLA SATISFACTORIA

El criterio de diseño recomendado para la determinación de la confiabilidad de los diseños de mezclas asfálticas, ver tabla A1.

Tabla A1. Criterios de diseño Marshall

Características	Mínimo	Promedio	Máximo
Grado de curado			
% solvente evaporado			
Para mantenimiento		25 (no aplica)	
Para pavimentación		50 (no aplica)	
Numero de golpes por capa		75	
% Vacíos en la mezcla	3	-	5
% Vacíos en los agregados (VAM)	Ver Tabla A2		
Estabilidad (25 ºC) (N)			
Para mantenimiento	2 224		
Para pavimentación	3 336		
Flujo (25 ºC) (mm)	2		4
Estabilidad residual después de inmersión durante 4 días a 25 ºC	75		

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

A.8 SELECCIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA NATURAL SATISFACTORIA

Comúnmente la mezcla asfáltica satisfactoria se determina por la comparación de las propiedades dadas por los ensayos y el criterio de diseño de mezclas de la tabla A1, si alguno de los criterios no se cumple o es muy estrecho, se deben seleccionar otras mezclas naturales, corregir la proporción del agregado pétreo de aporte, sustituir una de las fuentes de agregado, entre otras soluciones posibles.

Tabla A2. Porcentaje mínimo de vacíos en los agregados (VAM), considerando su Tamaño Máximo

Tamiz	Mínimo % de vacíos
1 pulgada	13
3/4 pulgada	14
1/2 pulgada	15
3/8 pulgada	16
Nro. 4	18
Nro. 8	21
Nro. 16	23,5

A.9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Normas de ensayos de Materiales 2013, Instituto Nacional de Vías.
- Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras 2022, InstitutoNacional de Vías.
- Manual MS-14: Manual de Mezclas Asfálticas en Frío, del Instituto Norteamericano del Asfalto, apéndice H, 1989.
- Manual MS-2: Los métodos de diseños de mezclas para concreto asfáltico.
- Instituto Norteamericano del Asfalto, Tecnología del asfalto y prácticas de construcción, 1985

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (Concreto asfáltico)

Artículo 450 – 22

450.1 Descripción

Este trabajo consiste en la elaboración, el transporte, la colocación y la compactación de una o más capas de mezcla asfáltica de gradación continua, preparada y colocada en caliente (concreto asfáltico), de acuerdo con esta especificación y de conformidad con los alineamientos, las cotas, las secciones y los espesores indicados en los documentos del proyecto.

La Tabla 450 — 1 relaciona tres tipos de mezclas asfálticas de gradación continua, en función del tipo de granulometría.

Tabla 450 — 1. Tipos de mezclas asfálticas en caliente de gradación continua

Tipo	Denominación
Por tipo de granulometría	
Mezclas densas	MDC
Mezclas semidensas	MSC
Mezclas gruesas	MGC
Mezclas especiales	
Mezclas de alto módulo	MAM

Nota: las mezclas de alto módulo, deben cumplir los mínimos de calidad establecidos en la Tabla 450 – 10 sobre las propiedades de módulo de rigidez y resistencia a la fatiga.

En todo caso el valor del módulo de rigidez por adoptar en el diseño debe ser acorde a las condiciones de temperatura y frecuencia del proyecto.

Las mezclas de reciclado en planta y en caliente deben seguir lo especificado en el artículo 462.

450.2 Materiales

450.2.1 Agregados pétreos y llenante mineral

450.2.1.1 Requisitos generales

Los requisitos que se exigen en esta sección son de tipo prescriptivo, para evaluar la calidad de los materiales que componen la mezcla asfáltica. En caso de no cumplirse alguno(s) de ellos, la aceptación o rechazo respectivos deben ser evaluados según las premisas

de desempeño indicadas en el diseño, y según sean las condiciones de las fuentes locales. La aprobación debe ser sustentada mediante un informe técnico detallado, desarrollado por el especialista en pavimentos y/o geotecnia, donde se consigne cuál debe ser el desempeño y la durabilidad, proponiendo las estrategias necesarias para garantizar el cumplimiento del diseño. El interventor debe aprobar o rechazar los materiales en función de los requisitos establecidos en esta sección y en los establecidos en el informe de desempeño del especialista.

Los agregados pétreos y el llenante mineral deben satisfacer los requisitos del numeral 400.2.1 del artículo 400. Así mismo, deben cumplir los requisitos de calidad mencionados en la Tabla 450 — 2.

Tabla 450 — 2. Requisitos de los agregados para mezclas asfálticas en caliente de gradación continúa

Característica	Norma de ensayo	Nivel de tránsito		
		NT1	NT2	NT3
Dureza, agregado grueso (O)				
Desgaste en la máquina de Los Ángeles, máximo (%). (Nota 1): - Capa de: rodadura/intermedia/base, 500 revoluciones - Capa de: rodadura/intermedia/base, 100 revoluciones	INV E-218	 25/35/- 5/7/-	 25/35/35 5/7/7	 25/35/35 5/7/7
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%): - Capa de: rodadura/intermedia/base	INV E-238	 -	 25/30/30	 20/25/25
Resistencia mecánica por el método del 10% de finos, capa de: rodadura/intermedia/base - Valor en seco, mínimo (kN) - Relación húmedo/seco, mínima (%)	INV E-224	 - -	 - -	 110/90/75 75/75/75
Coeficiente de pulimiento acelerado para rodadura, mínimo.	INV E-232	45	45	45
Durabilidad (O)				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio, agregados fino y grueso, máximo (%).	INV E-220	18	18	18
Análisis petrográfico				
Cuantifica los porcentajes relativos de los diferentes minerales y las tipologías de rocas que componen el agregado (Nota 2).	ASTM C295	-	-	Reportar
Limpieza, agregado grueso (F)				
Impurezas en agregado grueso, máximo (%).	INV E-237	0,5	0,5	0,5
Limpieza, gradación combinada (F)				
Índice de Plasticidad, máximo (%).	INV E-125 e INV E-126	NP	NP	NP
Equivalente de arena, mínimo (%).	INV E-133	50	50	50
Valor de azul de metileno, máximo.	INV E-235	10	10	10

Característica	Norma de ensayo	Nivel de tránsito		
		NT1	NT2	NT3
Geometría de las partículas, agregado grueso (F)				
Partículas planas y alargadas, relación 5:1, máximo (%).	INV E-240	10	10	10
Caras fracturadas, mínimo (%): - Una cara: rodadura/intermedia/base - Dos caras: rodadura/intermedia/base	INV E-227	75/60/- -/-/-	75/75/60 60/-/-	85/75/60 70/-/-
Geometría de las partículas, agregado fino (F)				
Angularidad de la fracción fina, método A, mínimo (%): - Capa de: rodadura/intermedia/base	INV E-239	40/35/-	45/40/35	45/40/35
Adhesividad (O)				
Agregado grueso: cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos en presencia del agua hirviendo (%).	INV E-757	Reportar		
Agregado fino: adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos (método Riedel-Weber), índice mínimo.	INV E-774	4		

Nota 1: se aceptan valores superiores de desgaste siempre y cuando el valor de Micro-Deval se cumpla; esta nota no resulta aplicable para tránsito NT1.

Nota 2: este ensayo es aplicable únicamente para transito NT3. El informe debe cuantificar los porcentajes relativos de los diferentes minerales y las tipologías de rocas que componen el agregado, debe incluir advertencia sobre la presencia de minerales contaminantes, deletéreos, con posibles reactividades químicas, inestables o susceptibles a cambios volumétricos. Debe indicar el grado de meteorización o de alteración del agregado, y la porosidad. También debe incluir valores de acidez y carga de partícula con un concepto sobre la adherencia con el asfalto y las emulsiones.

450.2.1.2 Agregado fino

La proporción de arena natural no puede exceder los valores indicados en la Tabla 450 — 3.

Tabla 450 — 3. Proporción máxima de arena natural en el agregado para mezclas asfálticas en caliente de gradación continua

Característica	Nivel de tránsito		
	NT1	NT2	NT3
Proporción de arena natural: porcentaje (%) de la masa total del agregado combinado.	≤ 25	≤ 25	≤ 15
Proporción de arena natural: porcentaje (%) de la masa total del agregado fino.	≤ 50		

450.2.1.3 Llenante mineral

El llenante mineral puede provenir de los procesos de trituración y clasificación de los agregados pétreos, separándose de ellos por medio de los ciclones de la planta mezcladora, o puede ser de aporte como producto comercial, generalmente cal hidratada (ver requisitos en la NTC 4019) o cemento hidráulico (ver requisitos en el numeral 501.2.1 del artículo 501). La proporción de llenante mineral y los requisitos para el mismo deben cumplir lo establecido en la Tabla 450 — 4.

Tabla 450 — 4. Proporción y requisitos del llenante mineral

Característica	Norma de ensayo INV	Nivel de tránsito		
		NT1	NT2	NT3
Proporción de llenante mineral de aporte: (porcentaje (%) en masa del llenante total) - Capa de rodadura - Capa intermedia - Capa de base	-	 - - -	 ≥ 25 ≥ 25 -	 ≥ 50 ≥ 50 ≥ 25
Granulometría del llenante mineral de aporte: - % que pasa tamiz de 1,18 mm (nro. 16) - % que pasa tamiz de 0,600 mm (nro. 30) - % que pasa tamiz de 0,150 mm (nro. 100) - % que pasa tamiz de 0,075 mm (nro. 200)	E-215	 100 97 — 100 95 — 100 70 — 100		
Densidad *bulk* (g/cm^3).	E-225	0,5 — 0,8		
Vacíos del llenante seco compactado (%).	E-229	-	≥ 38	

450.2.1.4 Granulometría

La granulometría del agregado obtenido mediante la combinación de las distintas fracciones, incluido el llenante mineral, debe estar comprendida dentro de alguna de las franjas fijadas en la Tabla 450 — 5. El análisis granulométrico se debe efectuar de acuerdo con la norma INV E-213.

Para prevenir segregaciones y garantizar los niveles de compactación y resistencia exigidos por la presente especificación, el material que produzca el constructor debe dar lugar a una curva granulométrica uniforme, sensiblemente paralela a los límites de la franja por utilizar, sin saltos bruscos de la parte superior de un tamiz a la inferior del tamiz adyacente y viceversa.

Tabla 450 — 5. Franjas granulométricas para mezclas asfálticas en caliente de gradación continua

Tipo de mezcla		Tamiz (mm / U.S. *Standard*)									
		37,5	25,0	19,0	12,5	9,5	4,75	2,00	0,425	0,180	0,075
		1 ½ Pulgadas	1 Pulgada	3/4 Pulgada	1/2 Pulgada	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 10	Nro. 40	Nro. 80	Nro. 200
		Pasa tamiz (%)									
Densa	MDC-25	-	100	80 — 95	67 — 85	60 — 77	43 — 59	29 — 45	14 — 25	8 — 17	4 — 8
	MDC-19	-	-	100	80 — 95	70 — 88	49 — 65	29 — 45	14 — 25	8 — 17	4 — 8
	MDC-10	-	-	-	-	100	65 — 87	43 — 61	16 — 29	9 — 19	5 — 10
Semidensa	MSC-25	-	100	80 — 95	65 — 80	55 — 70	40 — 55	24 — 38	9 — 20	6 — 12	3 — 7
	MSC-19	-		100	80 — 95	65 — 80	40 — 55	24 — 38	9 — 20	6 — 12	3 — 7
Gruesa	MGC-38	100	75 — 95	65 — 85	47 — 67	40 — 60	28 — 46	17 — 32	7 — 17	4 — 11	2 — 6
	MGC-25	-	100	75 — 95	55 — 75	40 — 60	28 — 46	17 — 32	7 — 17	4 — 11	2 — 6
Alto módulo	MAM -25	-	100	80 — 95	65 — 80	55 — 70	40 — 55	24 — 38	10 — 20	8 — 14	6 — 9
	MAM-19	-	-	100	80 — 95	65 — 80	40 — 55	24 — 38	9 — 20	6 — 12	3 — 7
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)		-	4 %					3 %			2 %

El tipo de mezcla asfáltica en caliente por emplear depende del tipo y del espesor compacto de la capa asfáltica y se define en los documentos del proyecto, siguiendo los criterios de la Tabla 450 — 6.

Tabla 450 — 6. Tipo de mezcla por utilizar en función del tipo y espesor compacto de la capa

Tipo de capa	Espesor de capas de compactación (mm)	Tipo de mezcla
Rodadura	30 — 40	MDC-10
	40 — 60	MDC-19, MSC-19
	> 60	MDC-25, MDC-19, MSC-19, MAM-19
Intermedia	> 50	MDC-25, MSC-25
Base	> 75	MSC-25, MGC-38, MGC-25
	60 — 130	MAM-25
Bacheos	50 — 75	MSC-25, MGC-25
	> 75	MSC-25, MGC-38, MGC-25

450.2.2 Material bituminoso

El material bituminoso para elaborar la mezcla en caliente se debe seleccionar en función de:

- Características climáticas de la zona.
- Tipo de capa.
- Condiciones de operación de la carretera.

Los documentos del proyecto deben indicar el tipo de asfalto por utilizar en cada capa del pavimento. El tipo de asfalto puede ser:

- Asfalto convencional, con denominaciones 40 — 50, 60 — 70 u 80 — 100 según se definen en el artículo 410.
- Cemento asfáltico modificado con polímeros de tipo CAM-2, CAM-3, CAM-5 y CAM-1 según se definen en el artículo 414.

En términos generales, se pueden tomar como guía para la selección del tipo de asfalto las indicaciones de la Tabla 450 — 7. Los asfaltos deben cumplir los requisitos de calidad establecidos en los artículos 410 o 414, según corresponda.

Tabla 450 — 7. Tipo de asfalto por emplear en mezclas asfálticas en caliente de gradación continua

Tipo de capa	NT1			NT2			NT3		
	Temperatura media anual de la región (°C)								
	> 24	15 – 24	< 15	> 24	15 – 24	< 15	> 24	15 – 24	< 15
Rodadura e Intermedia	60 — 70	60 — 70 u 80 – 100	80 — 100	60 — 70	60 — 70 u 80 – 100	80 — 100	40 — 50 60 — 70 o 40/70 — 58 o 55/70 — 58 o 55/70 — 65	40 — 50 60 — 70 o 40/70 — 58 o 55/70 — 58	60 — 70 80 — 100 o 55/70 — 58
Base	NA			60 — 70 u 80 — 100	60 — 70 u 80 — 100	80 — 100	60 — 70	60 — 70 u 80 — 100	80 — 100
Alto Módulo	NA			NA			15/40 — 65		

Nota: para una temperatura menor de quince grados Celsius (15 °C) y tránsito NT3, los documentos del proyecto pueden recomendar un cemento asfáltico de grado de penetración 60 — 70, si se considera que el tránsito es extremadamente agresivo. Bajo una consideración similar, se puede emplear el cemento asfáltico modificado con polímeros de tipo CAM-5 para el mismo nivel de tránsito y temperaturas de veinticuatro grados Celsius (24 °C) o menores.

450.2.3 Aditivos mejoradores de la adherencia entre los agregados y el asfalto

Cuando se requieran, deben cumplir con los requisitos del artículo 412. Los aditivos por emplear deben ser recomendados y suministrados por el constructor, y su dosificación y dispersión homogénea deben tener la aprobación del interventor.

El constructor debe garantizar que su incorporación no produce ningún efecto nocivo a los agregados, al ligante asfáltico o a la mezcla. Cualquier efecto adverso en el comportamiento del pavimento que se derive del empleo del aditivo, es de responsabilidad exclusiva del constructor, quien debe efectuar todas las reparaciones que requiera la mezcla compactada, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), de acuerdo con las indicaciones del interventor y hasta ser aprobado por este.

450.2.4 Aditivos para modificar la reología

Se permite la incorporación de productos o tecnologías que modifiquen la reología de una mezcla asfáltica elaborada con asfalto convencional o métodos tradicionales. Se permite el uso de fibras, aditivos para mezclas tibias, asfalto espumado o cualquier otra tecnología o modificador de las propiedades del concreto asfáltico, siempre y cuando se presenten informes técnicos que determinen su dosificación y se muestre evidencia de un comportamiento favorable en campo. Dichos informes deben ilustrar las mejoras obtenidas en el desempeño, en los procesos productivos, en los procesos constructivos, en la durabilidad o en las prestaciones mecánicas, al ser comparada la mezcla modificada respecto a la mezcla patrón sin incorporación de dichos productos. Además, el uso de estos productos o tecnologías debe ser respaldado con las respectivas fichas técnicas y hojas de seguridad proporcionadas por el fabricante para contar con la aprobación del interventor.

450.3 Equipo

Al respecto, se debe considerar lo que resulte aplicable de lo indicado en el artículo 400. Para la compactación, se deben poner a disposición de los trabajos, como mínimo, un (1) compactador vibratorio de rodillos metálicos o mixtos y uno (1) de llantas neumáticas.

450.4 Ejecución de los trabajos

450.4.1 Explotación de materiales y elaboración de agregados

Rige lo establecido en el numeral 105.13.3 del artículo 105, Desarrollo de los trabajos.

450.4.2 Diseño de la mezcla y la obtención de la fórmula de trabajo

450.4.2.1 Generalidades

Rige todo lo que resulte aplicable en el numeral 400.4.2 del artículo 400.

450.4.2.2 Diseño de la mezcla

Las mezclas en caliente objeto del presente artículo, se deben diseñar por el método Marshall, de acuerdo con los pasos descritos en la Tabla 450 — 8.

Tabla 450 — 8. Pasos por seguir para el diseño de mezclas asfálticas en caliente de gradación continua.

Pasos	Descripción	Numeral
Diseño preliminar	- Estabilidad y flujo Marshall - Propiedades volumétricas	450.4.2.2.1
Verificación del diseño preliminar	- Susceptibilidad al agua - Resistencia al ahuellamiento - Módulo de rigidez - Resistencia a la fatiga	450.4.2.2.2

450.4.2.2.1 Diseño preliminar

Los criterios para la definición preliminar del porcentaje óptimo de asfalto de la mezcla son los indicados en la Tabla 450 — 9.

450.4.2.2.2 Verificación del diseño preliminar

El diseño preliminar que cumpla los requisitos de la Tabla 450 — 9 se debe someter a las pruebas de verificación relacionadas en la Tabla 450 — 10 y cumplir los requisitos allí establecidos. La verificación se debe adelantar en la secuencia indicada en esta tabla; las probetas se deben elaborar con la mezcla definida como óptima en el diseño preliminar mencionado en el numeral anterior.

Tabla 450 — 9. Criterios para el diseño preliminar de la mezcla asfáltica en caliente de gradación continua por el método Marshall

Consultar fe de errata: https://www.invias.gov.co/index.php/normativa/politicas-y-lineamientos/documentos-tecnicos/19166-fe-de-erratas/file

Característica		Norma de Ensayo INV	Mezclas densas, semidensas y gruesas			Mezcla de alto módulo
			Categoría de tránsito			
			NT1	NT2	NT3	
Compactación (golpes/cara)		E-748 (E-800) (Nota 1)	50	75 (112)	75 (112)	75
Estabilidad mínima (N)			5 000	7 500 (16 875)	9 000 (20 250)	15 000
Flujo (mm). (Nota 2)			2,0 — 4,0	2,0 — 4,0 (3,0 — 6,0)	2,0 — 3,5 (3,0 — 5,3)	2,0 — 3,0
Relación Estabilidad/Flujo (kN/mm)			2,0 — 4,0	3,0 — 5,0 (4,5 — 7,5)	3,0 — 6,0 (4,5 — 9,0)	-
Vacíos con aire (Va) (%). (Nota 3)	Rodadura	E-736 E-799	3,0 — 5,0	3,0 — 5,0	3,0 — 5,0	4,0 — 6,0
	Intermedia		4,0 — 8,0	4,0 — 7,0	4,0 — 7,0	4,0 — 6,0
	Base		NA	5,0 — 8,0	5,0 — 8,0	4,0 — 6,0

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

Característica		Norma Ensayo INV	Mezclas densas, semidensas y gruesas			Mezcla de alto módulo
			Categoría de tránsito			
			NT1	NT2	NT3	
Vacíos en los agregados minerales (VAM), mínimo (%)	T. Máx. 38 mm	E-799	13,0			-
	T. Máx. 25 mm		14,0			14,0
	T. Máx. 19 mm		15,0			-
	T. Máx. 10 mm		16,0			-
Vacíos llenos de asfalto (VFA) (%)		E-799	65 — 80	65 — 78	65 — 75	63 — 75
Relación Llenante/Ligante efectivo, en peso		E-799	0,8 — 1,2			1,2 — 1,4
Concentración de llenante, valor máximo		E-745	Valor crítico			
Evaluación de propiedades de empaquetamiento por el método Bailey		-	Reportar			
Espesor promedio de película de asfalto, mínimo (µm)		E-741	7,5			

Nota 1: se debe usar la norma de ensayo INV E-800, en lugar de la INV E-748 cuando los agregados tengan un tamaño máximo superior a veinticinco milímetros (25 mm) (1 pulgada). Los valores entre paréntesis corresponden a ensayos efectuados, de acuerdo con la norma INV E-800.

Nota 2: para mezclas elaboradas con asfaltos modificados con polímeros, se puede aceptar un valor de flujo hasta de cinco milímetros (5,0 mm). En cualquier caso, se debe cumplir el requisito establecido en la respectiva columna de la tabla para la relación Estabilidad/Flujo.

Nota 3: para bacheos en capas de cincuenta a setenta y cinco milímetros (50 mm – 75 mm) de espesor, se deben exigir los requisitos de vacíos con aire de «intermedia» y para los de capas de más de setenta y cinco milímetros (75 mm) se deben exigir los requisitos para «base». Si se llegase a efectuar un bacheo con mezcla asfáltica en caliente en espesor mayor de setenta y cinco milímetros (75 mm) en una vía cuyo tránsito de proyecto es NT1, se debe aplicar el criterio de vacíos con aire para las capas de «base» con tránsito NT2 (5 % – 8 %).

La verificación de los parámetros del comportamiento de las mezclas asfálticas en caliente de gradación continua se designa teniendo en cuenta cuatro niveles de comportamiento:

- Nivel 1: Compactación: Marshall + sensibilidad al agua.
- Nivel 2: Nivel 1 + Ahuellamiento: Resistencia a la deformación plástica o Resistencia al ahuellamiento.
- Nivel 3: Nivel 2 + Módulos de rigidez: Módulo complejo y/o Módulo resiliente.
- Nivel 4: Nivel 3 + Fatiga: Leyes de fatiga.

El constructor debe reportar el nivel de comportamiento de cada mezcla asfáltica del proyecto.

Las probetas se deben elaborar con la mezcla definida como óptima, con las mismas

condiciones de compactación. Se recomienda que, para los niveles de exigencia 2, 3 y 4, las probetas a utilizar en los ensayos de verificación de mezclas asfálticas, sean extraídas de placas compactadas. Se permite la elaboración de probetas con compactador de placa según lo estipulado en la norma UNE-EN 12697-33. Se da la posibilidad de fabricar placas compactadas usando otros métodos alternos de compactación, siempre que representen las condiciones reales de la mezcla según las condiciones del lugar de ejecución del trabajo.

Tabla 450 — 10. Verificación de los parámetros de comportamiento de mezclas asfálticas

Propiedad	Norma de ensayo	Criterio	Condiciones recomendadas del ensayo	Unidades	Valor	Aplicabilidad obligatoria
Sensibilidad al agua						
Susceptibilidad al agua	INV E-725	Resistencia retenida	25 °C, condición seca y húmeda	%	≥ 80	Todos los tipos de mezclas
Ahuellamiento (Nota 1)						
Resistencia a la deformación plástica	INV E-756	Resistencia a la deformación plástica	Velocidad de deformación en el intervalo de 105 a 120 minutos, a la temperatura media anual del aire > 24 °C	µm/min	≤ 15	Tránsito NT3: para capas de rodadura e intermedia
						MAM-25
						MAM 19
						Todas las mezclas (Opcional)
			Velocidad de deformación en el intervalo de 105 a 120 minutos, a la temperatura media anual del aire ≤ 24 °C	µm/min	≤ 20	Tránsito NT3: para capas de rodadura e intermedia
						MAM-25
						MAM 19
						Todas las mezclas (Opcional)
Módulos de rigidez						
Módulo resiliente	INV E-749	Módulo resiliente	Mezclas compactadas con 75 golpes por cara, a 20 °C a 10 Hz	MPa	≥ 10 000	MAM-25
					≥ 8 000	MAM-19
					Reportar (Nota 2)	Todas las mezclas (Opcional)

Propiedad	Norma de ensayo	Criterio	Condiciones recomendadas del ensayo	Unidades	Valor	Aplicabilidad obligatoria
Módulo complejo	UNE-EN 12697-26 (Anexo D: de tracción/ compresión directa)	Valor absoluto del módulo complejo |*E**|	20 °C, 10 Hz	MPa	Reportar (Nota 2)	Tránsito NT3: Todos los tipos de mezclas
						MAM-25
						MAM-19
						Todas las mezclas (Opcional)
			Temperatura y frecuencia según la Nota 3 y la Nota 4	MPa	Reportar (Nota 2)	Tránsito NT3: Todos los tipos de mezclas
						MAM-25
						MAM-19
						Todas las mezclas (Opcional)
Fatiga						
Leyes de fatiga	INV E-808 INV E-784 UNE-EN 12697-24	Deformación a un millón de ciclos ε_6	20 °C, frecuencia entre 10 Hz y 20 Hz	µm	≥ 130	MAM-25
					≥ 100	MAM-19
					Reportar (Nota 2)	Tránsito NT3: Todos los tipos de mezclas
						Todas las mezclas (Opcional)
			Temperatura y frecuencia según la Nota 3 y la Nota 4	µm	Reportar (Nota 2)	MAM-25
						MAM-19
						Tránsito NT3: Todos los tipos de mezclas
						Todas las mezclas (Opcional)

Propiedad	Norma de ensayo	Criterio	Condiciones recomendadas del ensayo	Unidades	Valor	Aplicabilidad obligatoria
Leyes de fatiga	INV E-808 INV E-784 UNE-EN 12697-24	Pendiente -1/b de la recta de fatiga	20 °C, frecuencia entre 10 Hz y 20 Hz	-	Reportar (Nota 2)	MAM-25
						MAM-19
						Tránsito NT3: Todos los tipos de mezclas
						Todas las mezclas (Opcional)
			Temperatura y frecuencia según la Nota 3 y la Nota 4	-	Reportar (Nota 2)	MAM-25
						MAM-19
						Tránsito NT3: Todos los tipos de mezclas
						Todas las mezclas (Opcional)

Nota 1: para el control de ahuellamiento se puede emplear el «ensayo de rodadura» según la norma UNE-EN 12697-22 (ver numeral 450.4.2.2.2.2).

Nota 2: los documentos del proyecto deben establecer los valores mínimos que se deben cumplir.

Nota 3: la temperatura de ejecución del ensayo debe estar en función de la temperatura promedio del lugar de ejecución del trabajo.

Nota 4: la frecuencia de ejecución del ensayo debe estar en función de la velocidad de operación promedio del lugar de ejecución del trabajo.

450.4.2.2.2.1 Resistencia retenida

Si la mezcla no cumple el requisito de resistencia retenida, se debe incrementar su adhesividad hasta que cumpla con el mismo, empleando un llenante mineral apropiado y/o aditivo mejorador de adherencia.

450.4.2.2.2.2 Resistencia a la deformación plástica

Para el control de la resistencia de la mezcla a la deformación plástica, se puede emplear el método de ensayo INV E-756 o el ensayo de rodadura según la norma UNE-EN 12697-22, caso en el cual los criterios de aceptación se deben definir con base en especificaciones internacionales de comprobada aceptación.

450.4.2.2.2.3 Módulo de rigidez

450.4.2.2.2.3.1 Módulo resiliente

El módulo resiliente puede ser determinado mediante el procedimiento de ensayo definido en la norma INV E-749 o de forma alternativa,

empleando alguno de los procedimientos de ensayo definidos en normas internacionalmente comprobadas, cuyo resultado debe ser equivalente al definido para la norma INV E-749.

Los ensayos se deben realizar bajo condiciones de densidad, temperatura y frecuencia representativas de las condiciones reales de operación del pavimento, las cuales deben estar estipuladas en los documentos del proyecto.

La determinación del módulo resiliente es obligatoria para las mezclas de alto módulo. El valor del módulo a veinte grados Celsius (20 °C) y a una frecuencia de diez Hertz (10 Hz) de estas mezclas, debe ser mínimo de diez mil megapascales (10 000 MPa) para capas de base (MAM-25) y de ocho mil megapascales (8 000 MPa) para capas de rodadura (MAM-19). Las probetas que se sometan a este ensayo deben ser elaboradas con una mezcla sometida a envejecimiento previo, según la norma de ensayo AASHTO R-30. Si este valor de módulo no se cumple, es necesario rediseñar la mezcla hasta lograr su cumplimiento.

450.4.2.2.2.3.2 Módulo complejo

El valor absoluto del módulo complejo puede ser determinado mediante el procedimiento de ensayo definido en la norma UNE-EN 12697-26 (Anexo D).

Se deben realizar ensayos de tracción/compresión directa sobre probetas cilíndricas, las cuales deben tener características de densidad representativas de las condiciones reales de operación del pavimento. Se deben reportar:

- Valor absoluto del módulo complejo $|E^*|$ a veinte grados Celsius (20 °C), diez Hertz (10 Hz).
- Valor absoluto del módulo complejo $|E^*|$ a una temperatura y una frecuencia representativa de las condiciones reales de operación del pavimento. Estas condiciones deben estar estipuladas en los documentos del proyecto.

Para tránsito del tipo NT3, se deben reportar los valores absolutos del módulo complejo obtenidos para todos los tipos de mezclas. Los documentos del proyecto pueden fijar valores mínimos o máximos del valor absoluto del módulo complejo correspondiente a estos tipos de mezclas.

450.4.2.2.2.4 Leyes de fatiga

Las leyes de fatiga se pueden determinar aplicando alguno de los procedimientos de ensayo de las normas INV E-784 o INV E-808 o de forma alternativa, empleando alguno de los procedimientos de ensayo definidos en normas internacionalmente comprobadas. Los ensayos se deben realizar bajo condiciones de densidad, temperatura y frecuencia representativas de las condiciones reales de operación del pavimento, las cuales deben estar estipuladas en los documentos del proyecto.

La determinación de la ley de fatiga es obligatoria para las mezclas de alto módulo según lo estipulado en la Tabla 450 – 10. Las probetas que se sometan a este ensayo deben ser elaboradas con una mezcla sometida a envejecimiento previo según la norma de ensayo AASHTO R-30.

Para tránsito del tipo NT3, se deben determinar y reportar las leyes de fatiga obtenidas para mezclas densas, semidensas y gruesas. Las probetas que se empleen en este ensayo no tienen que ser sometidas a envejecimiento

previo. Igualmente, los documentos del proyecto pueden fijar valores mínimos o máximos para las leyes de fatiga correspondiente a estos tipos de mezclas.

Los resultados de los ensayos de fatiga para mezclas de alto módulo (MAM-25 y MAM-19) deben cumplir con lo establecido en la Tabla 450 — 10. El constructor debe asegurar que las leyes de fatiga de los otros tipos de mezclas que elabore sean adecuadas para las necesidades de tránsito del proyecto donde se debe utilizar, por cuanto debe ser de su entera y única responsabilidad cualquier deterioro prematuro atribuible exclusivamente a la fatiga de las capas asfálticas, durante el período de garantía de estabilidad de la obra.

450.4.2.2.3 Ajuste de la fórmula de trabajo

La fórmula de trabajo establecida en el laboratorio se debe ajustar con los resultados de las pruebas realizadas durante la fase de experimentación. Igualmente, si durante la ejecución de las obras varían la procedencia o las características de alguno de los componentes de la mezcla o se rebasan las tolerancias granulométricas establecidas en este artículo, se requiere el estudio de una nueva fórmula de trabajo.

450.4.3 Preparación de la superficie existente

La mezcla no se debe extender hasta que se compruebe que la superficie sobre la cual se va a colocar tenga la densidad apropiada y las cotas indicadas en los documentos del proyecto. Todas las irregularidades que excedan de las tolerancias establecidas en la especificación respectiva deben ser corregidas, de acuerdo con lo establecido en ella.

Si la extensión de la mezcla necesita riegos previos de imprimación o de liga, ellos se deben realizar conforme lo establecen los artículos 420 y 421, respectivamente.

Antes de aplicar la mezcla, se debe verificar que haya ocurrido el curado del riego previo y no deben quedar restos de fluidificante ni de agua en la superficie. Si hubiera transcurrido mucho tiempo desde la aplicación del riego, se debe comprobar que su capacidad de liga con la mezcla no se haya mermado en forma perjudicial. Si ello sucede, el constructor debe efectuar un riego adicional de adherencia. Si la pérdida de efectividad del riego anterior es imputable al constructor, el nuevo riego debe realizarlo sin costo adicional para INVÍAS.

Las excavaciones para bacheo, así como las operaciones de relleno con los materiales adecuados para restablecer el nivel actual, se deben ejecutar de acuerdo con las indicaciones del artículo 465, para la excavación, y de los artículos que correspondan a los materiales empleados en el relleno de tal excavación. Si la superficie sobre la cual se va a colocar la mezcla corresponde a un pavimento asfáltico antiguo que, de acuerdo con los estudios y documentos del proyecto, requiere un fresado previo, este se debe realizar conforme se establece en el artículo 460.

450.4.4 Fase de experimentación

Rige lo indicado en el numeral 400.4.3 del artículo 400.

450.4.5 Aprovisionamiento de los agregados

Los agregados se deben suministrar fraccionados y se deben manejar separados

hasta su introducción en las tolvas en frío. El número de fracciones debe ser tal, que sea posible, con la instalación que se utilice, cumplir las tolerancias exigidas en la granulometría de la mezcla. Cada fracción debe ser suficientemente homogénea y se debe poder acopiar y manejar, sin peligro de segregación, al observar las precauciones que se detallan a continuación. Cuando la mezcla asfáltica se vaya a elaborar en una planta del tipo tambor secador-mezclador, no se debe permitir, por ningún motivo, realizar una predosificación de las fracciones de los agregados pétreos, antes de su vertimiento en las tolvas de agregados en frío de la planta.

Cada fracción del agregado se debe acopiar separada de las demás, para evitar intercontaminaciones. Si los acopios se disponen sobre el terreno natural, no se deben utilizar los quince centímetros (15 cm) inferiores de los mismos. Los acopios se deben construir por capas de espesor no superior a uno coma cinco metros (1,5 m), y no por montones cónicos. Las cargas del material se deben colocar adyacentes, tomando las medidas oportunas para evitar su segregación.

Cuando se detecten anomalías en el suministro, los agregados se deben acopiar por separado, hasta confirmar su aceptabilidad. Esta misma medida se debe aplicar cuando se autorice el cambio de procedencia de un agregado.

450.4.6 Fabricación de la mezcla asfáltica

La carga de las tolvas en frío se debe realizar de forma que estas contengan más del cincuenta por ciento (50 %) de su capacidad, pero sin rebosar. En las operaciones de carga se deben tomar las precauciones necesarias, para evitar segregaciones o contaminaciones. La alimentación del agregado fino se debe realizar en dos (2) tolvas, así este sea de un tipo único.

Las aberturas de salida de las tolvas en frío se deben regular en forma tal, que la mezcla de todos los agregados se ajuste a la fórmula de trabajo de la alimentación en frío. El caudal total de esta mezcla en frío se debe regular, de acuerdo con la producción prevista y se debe mantener constante la alimentación del secador.

Los agregados se deben calentar antes de su mezcla con el asfalto. El secador se debe regular de forma que la combustión sea completa, indicada por la ausencia de humo negro en el escape de la chimenea. Siempre que se presenten signos de avería en el sistema de combustión, si ocurre combustión incompleta o se advierte alguna contaminación por combustible, en los agregados o en la mezcla, se debe detener la producción hasta que se identifiquen y se corrijan las causas del problema.

Si el polvo mineral recogido en los colectores cumple las condiciones exigidas al llenante y su utilización está prevista, se puede introducir en la mezcla. En caso contrario, se debe eliminar. El tiro de aire en el secador se debe regular de forma adecuada, para que la cantidad y la granulometría del llenante recuperado sean uniformes. La dosificación del llenante de recuperación y/o el de aporte se debe hacer de manera independiente de los agregados y entre sí.

En las plantas de tipo discontinuo, se debe comprobar que la unidad clasificadora en caliente proporcione agregados homogéneos

a las tolvas en caliente. En caso contrario, se deben tomar las medidas necesarias para corregir la heterogeneidad.

Los agregados preparados como se ha indicado anteriormente, y eventualmente el llenante mineral seco, se deben pesar exactamente y se deben transportar al mezclador en las proporciones determinadas en la fórmula de trabajo. Después de haber introducido en el mezclador los agregados y el llenante, se debe agregar automáticamente el material bituminoso calculado para cada bachada, el cual se debe encontrar a la temperatura adecuada, y se debe continuar la operación de mezcla durante el tiempo especificado.

La temperatura del material bituminoso en el instante de la mezcla depende de la relación viscosidad – temperatura. La temperatura conveniente es aquella a la cual el ligante presenta una viscosidad entre ciento cincuenta y trescientos centistokes (150 cSt – 300 cSt). Es preferible que se encuentre entre ciento cincuenta y ciento noventa centistokes (150 cSt – 190 cSt).

El volumen de materiales en el mezclador no debe ser tan grande, que sobrepase los extremos de las paletas, cuando estas se encuentren en posición vertical. Es recomendable que no supere los dos tercios (2/3) de su altura, de forma que logre ser envuelta completa y uniformemente, para los tiempos de mezclado establecidos en la fórmula de trabajo.

Todos los tamaños del agregado deben estar uniformemente distribuidos en la mezcla recién elaborada y sus partículas total y homogéneamente cubiertas de ligante. La temperatura de la mezcla recién elaborada no debe exceder la fijada durante la definición de la fórmula de trabajo.

En caso de utilizar adiciones al ligante o a la mezcla, se debe cuidar su correcta dosificación y su distribución homogénea, así como la conservación de sus características iniciales durante el proceso de fabricación.

Se deben rechazar todas las mezclas heterogéneas, carbonizadas o sobrecalentadas, las mezclas con espuma o las que presenten indicios de contaminación o humedad. En este último caso, se deben retirar los agregados de las correspondientes tolvas en caliente. También, se deben rechazar aquellas mezclas en las que la envuelta no sea perfecta.

Siempre que se emplee un silo para el almacenamiento de la mezcla elaborada, esta se debe verter dentro del silo, tomando las precauciones necesarias para que no se ocasione segregación. En el instante de la descarga del silo a las volquetas, se debe procurar realizarla con la mayor rapidez, con el fin de disminuir la posibilidad de segregación en los platones de las volquetas, ya que de esta manera se reduce la acción de rodamiento de la mezcla cuando fluye hacia ellos. En ese momento se debe verificar la temperatura, con el fin de impedir el despacho a la obra de mezclas, con temperaturas inferiores a las definidas como apropiadas para la extensión y para la compactación durante la fase de experimentación.

450.4.7 Transporte de la mezcla

La mezcla se debe transportar a la obra, hasta una hora del día en que las operaciones de extensión y compactación se puedan realizar

correctamente con luz solar. Solo se debe permitir el trabajo en horas de la noche si, por instrucción y verificación del interventor, existe una iluminación artificial que permita la extensión y la compactación de manera adecuada.

Durante el transporte de la mezcla, se deben tomar las precauciones necesarias para que al descargarla en el equipo de transferencia o en la máquina pavimentadora, su temperatura no sea inferior a la mínima que se determine como aceptable durante la fase de experimentación.

Antes de abordar cualquier vía pavimentada, se deben limpiar perfectamente las llantas de los vehículos destinados al transporte de la mezcla. Los vehículos de transporte de mezcla deben mantener al día los permisos de tránsito y ambientales requeridos, y sus cargas por eje y totales se deben encontrar dentro de los límites fijados por la normativa vigente del Ministerio de Transporte.

450.4.8 Transferencia de la mezcla

Si el constructor dispone de una máquina para la transferencia de la mezcla asfáltica (shuttle buggy), la volqueta debe descargar la mezcla en la tolva de almacenamiento de la máquina, cuyas bandas transportadoras se deben encargar de alimentar la pavimentadora, sin que esta sea tocada por las llantas de la volqueta, favoreciendo de esta manera la regularidad superficial.

450.4.9 Extensión de la mezcla

La máquina pavimentadora debe extender la mezcla recibida de la volqueta o de la máquina de transferencia, de modo que se cumplan los alineamientos, los anchos y los espesores señalados en los documentos del proyecto.

A menos que el interventor expida una instrucción contraria, la extensión se debe realizar en franjas longitudinales y debe comenzar a partir del borde de la calzada en las zonas por pavimentar con sección bombeada, o en el lado inferior en las secciones peraltadas. La mezcla se debe colocar en franjas del ancho apropiado para realizar el menor número de juntas longitudinales y para conseguir la mayor continuidad en las operaciones de extendido, teniendo en cuenta el ancho de la sección, las necesidades del tránsito, las características de la pavimentadora y la producción de la planta.

Siempre que resulte posible, después de haber extendido y compactado una franja, la adyacente se debe extender, mientras el borde de la anterior aún se encuentre caliente y en condiciones de ser compactado, con el fin de evitar la ejecución de una junta longitudinal.

La pavimentadora se debe regular de manera que la superficie de la capa extendida resulte lisa y uniforme, sin arrastres ni segregaciones y con un espesor tal, que luego de compactada, se ajuste a la rasante y a la sección transversal indicadas en los documentos del proyecto, con las tolerancias establecidas en la presente especificación. Por ningún motivo se permite el empleo de máquinas pavimentadoras que dejen marcas o depresiones en la superficie u otros defectos permanentes en ella. Tampoco se debe permitir la segregación de la mezcla. Si ella ocurre, la extensión de la mezcla se debe suspender inmediatamente, hasta que se determine y corrija su causa. Toda área segregada que no se corrija antes de la compactación, se debe remover y reemplazar con material apropiado, a expensas del constructor.

La extensión de la mezcla se debe realizar con la mayor continuidad posible, ajustando la velocidad de la pavimentadora a la producción de la planta de fabricación, de manera que aquella sufra el menor número posible de detenciones. Toda imperfección superficial debe ser corregida antes de compactar. Se debe vigilar de manera especial esta condición en los inicios de la jornada, en los relevos de vehículos de suministro y al finalizar la jornada. De ser necesario se debe reservar parte de la mezcla para corregir y nivelar con herramienta menor todas aquellas áreas de difícil ejecución para la pavimentadora.

En caso de trabajo intermitente, se debe comprobar que la temperatura de la mezcla que quede sin extender en la tolva o bajo la pavimentadora, no disminuya de la especificada para el inicio de la compactación. De lo contrario, dicha mezcla se debe descartar y ejecutar una junta transversal. Tras la pavimentadora se debe disponer de un número suficiente de obreros especializados, agregando mezcla caliente y enrasándola, según se precise, con el fin de obtener una capa que, una vez compactada, se ajuste enteramente a las condiciones impuestas en esta especificación.

En los sitios en los que no resulte posible el empleo de máquinas pavimentadoras, la mezcla se puede extender a mano. La mezcla se debe descargar fuera de la zona que se vaya a pavimentar, y se debe distribuir en los lugares correspondientes, por medio de palas y rastrillos calientes, en una capa uniforme y de espesor tal, que una vez compactada, se ajuste a los documentos del proyecto, con las tolerancias establecidas en la presente especificación.

Se debe verificar la temperatura de la mezcla al inicio y al final del proceso de extensión.

450.4.10 Compactación de la mezcla

La compactación se debe realizar según el plan aprobado por el interventor como resultado de la fase de experimentación. Debe comenzar, una vez extendida la mezcla, a la temperatura más alta posible con que ella pueda soportar la carga a que se somete, sin que se produzcan agrietamientos o desplazamientos indebidos.

La compactación se debe realizar longitudinalmente, de manera continua y sistemática, y no se debe efectuar hasta que los defectos en la fase de extensión hayan sido corregidos. Debe empezar por los bordes y avanzar gradualmente hacia el centro, excepto en las curvas peraltadas en donde el cilindrado debe avanzar del borde inferior al superior, paralelamente al eje de la vía y traslapando a cada paso, en la forma aprobada por el interventor, hasta que la superficie total se haya compactado. Si la extensión de la mezcla se realiza por franjas, al compactar una de ellas, se debe ampliar la zona de compactación para que incluya al menos quince centímetros (15 cm) de la anterior.

Los rodillos deben llevar su rueda motriz del lado cercano a la pavimentadora, excepto en los casos que autorice el interventor y sus cambios de dirección se deben hacer sobre la mezcla ya compactada. Los elementos de compactación deben estar siempre limpios y, si fuera preciso, húmedos. Sin embargo, no se deben permitir excesos de agua.

Se debe tener cuidado al compactar, para no desplazar los bordes de la mezcla extendida.

Se debe chaflanar ligeramente los bordes exteriores del pavimento terminado.

La compactación se debe realizar de manera continua, durante la jornada de trabajo y se debe complementar con el trabajo manual mínimo necesario para corregir todas las irregularidades que se puedan presentar.

La compactación se debe continuar mientras la mezcla se encuentre en condiciones de ser compactada, hasta alcanzar los niveles de densidad prescritos en este artículo y se debe concluir con un apisonado final usando un equipo liso que borre las huellas dejadas por los compactadores precedentes.

Se debe verificar la temperatura de la mezcla al inicio y al final del proceso de compactación.

450.4.11 Juntas de trabajo

Las juntas deben presentar la misma textura, densidad y acabado que el resto de la capa compactada.

Las juntas entre pavimentos nuevos y viejos, o entre trabajos realizados en días sucesivos, se deben cuidar, con el fin de asegurar su perfecta adherencia. A todas las superficies de contacto de franjas construidas con anterioridad, se les debe aplicar una capa uniforme y ligera de riego de liga, antes de colocar la mezcla nueva, para dejarla curar suficientemente.
El borde de la capa extendida previamente se debe cortar de manera vertical con cortadora de disco o con herramienta manual que permita una superficie relativamente plana y vertical, sobre la cual se debe efectuar riego de liga en todo su espesor según los especificado en el artículo 421. La junta se debe nivelar y pulir con elementos adecuados antes de permitir el paso de equipos de compactación sobre ella.

Las juntas transversales en la capa de rodadura se deben compactar transversalmente.

Cuando los bordes de las juntas longitudinales sean irregulares, presenten huecos o estén deficientemente compactados, se deben cortar con disco o herramientas adecuadas, para dejar al descubierto una superficie lisa vertical en todo el espesor de la capa. Donde el interventor lo considere necesario, se debe añadir mezcla que, después de colocada y compactada con pisones, se debe compactar mecánicamente.

Se debe procurar que las juntas de capas superpuestas guarden una separación mínima de cinco metros (5 m) en el caso de las transversales y de ciento cincuenta milímetros (150 mm) en el caso de las longitudinales.

La junta longitudinal de construcción entre franjas continúas conformadas por un pavimento viejo y uno nuevo, deben ser tratadas con riego de liga según lo especificado en el artículo 421, y precalentadas entre noventa y ciento cincuenta grados Celsius (90 °C — 150 °C). Si ambas franjas son de pavimentos nuevos y registran temperaturas por debajo de noventa grados Celsius (90 °C), también deben ser precalentadas pero no requieren riego de liga.

Para lograr alta densificación en las juntas se debe iniciar la compactación desde el borde de la franja recién extendida hasta quince centímetros (15 cm) antes del llegar a la junta. Posteriormente desde la franja compacta y con el uso de herramienta manual se debe llevar hacia la junta el material fresco que esté sobre la superficie de tal forma que no queden

rebabas. Seguidamente, el centro del rodillo se debe hacer coincidir con el cordón de mezcla fresca situado entre el pavimento recién extendido y el de la franja adyacente, para proceder con la respectiva compactación. Al finalizar la operación se deben verificar condiciones de planicidad. El interventor no debe permitir juntas con acabados de mezcla remontada, acordonada o con segregación. El incumplimiento de este requisito puede dar lugar al rechazo del lote de la jornada.

450.4.12 Pavimento sobre puentes, viaductos, obras de urbanismo y estructuras de redes de servicios

Las losas de los puentes y los viaductos se deben pavimentar con una mezcla en caliente de la calidad exigida para la capa de rodadura, previa la aplicación del riego de liga mencionado en el numeral 450.4.3.

Las pavimentadoras y los equipos de compactación deben conservar distancias de diez a quince centímetros (10 cm — 15 cm) respecto a elementos de redes de servicio para evitar ser golpeados, manchados o desportillados durante la ejecución de los trabajos. En el perímetro de estos elementos, los ajustes deben ser con apisonadores y herramienta manual, conservando los niveles y acabados respectivos, de tal forma que se eviten zonas de encharcamiento o protuberancias que excedan las tolerancias del presente artículo. Durante la ejecución del riego de liga y la extensión de la mezcla asfáltica, el constructor debe proteger con lonas, papel o similares, todas aquellas partes de las obras de urbanismo que puedan ser alcanzadas por el material bituminoso. El constructor es responsable por cualquier daño que causen las operaciones de sus equipos y, en consecuencia, todos los trabajos de reparación y limpieza deben correr por su cuenta.

450.4.13 Bacheos

Cuando se haya efectuado una excavación para la reparación de un pavimento asfáltico convencional (constituido por capas asfálticas densas, base granular y subbase granular), con una profundidad mayor de ciento cincuenta milímetros (150 mm), y se tenga contemplado en el proyecto emplear las mezclas asfálticas en caliente del presente artículo para efectuar parte del relleno de la excavación, los setenta y cinco milímetros (75 mm) superiores, hasta alcanzar el nivel de rasante del pavimento que se repara, se deben rellenar con una mezcla asfáltica en caliente de uno de los tipos señalados en la Tabla 450 — 6.

Cuando la excavación sea de profundidad menor o igual a ciento cincuenta milímetros (150 mm), se debe rellenar en su totalidad con mezcla asfáltica en caliente, en capas de espesor compacto de no menos de cincuenta milímetros (50 mm), empleando las mezclas señaladas en la Tabla 450 — 7, según el espesor elegido para la capa compactada. De todas maneras, la capa superior del bacheo no puede tener un espesor superior a setenta y cinco milímetros (75 mm).

En todos los casos, las capas se deben compactar con equipos adecuados, hasta lograr los niveles de densidad prescritos en este artículo.

Tanto la superficie que recibe las capas asfálticas como las paredes de la excavación en contacto con ellas, se deben pintar con un riego de liga con emulsión asfáltica, conforme a las instrucciones del interventor.

El tipo y espesor de las mezclas asfálticas en caliente para operación de bacheo sobre pavimentos muy gruesos y complejos (múltiples intervenciones de rehabilitación), se deben definir en los documentos del respectivo proyecto o, en su defecto, deben ser aprobados por el interventor, de acuerdo con las circunstancias específicas de cada obra.

450.4.14 Apertura al tránsito

Alcanzada la densidad exigida, el tramo pavimentado se puede abrir al tránsito tan pronto la capa extendida alcance en todo su espesor una temperatura menor de cuarenta y cinco grados Celsius (45 °C). Por ningún motivo se debe permitir la acción de cualquier tipo de tránsito sobre las capas en ejecución.

450.4.15 Limitaciones en la ejecución

No se debe permitir la extensión de ninguna capa de mezcla asfáltica en caliente, mientras no se haya realizado la nivelación y se haya comprobado y aprobado el grado de compactación de la capa precedente.

Tampoco se debe permitir la extensión ni la compactación de la mezcla en momentos de lluvia, ni cuando haya fundado temor de que ella ocurra o cuando la temperatura ambiente a la sombra y la del pavimento sean inferiores a cinco grados Celsius (5 °C). Si el espesor de la capa por extender, ya compactada, es menor de cincuenta milímetros (50 mm), dichas temperaturas no pueden ser inferiores a ocho grados Celsius (8 °C).

Los trabajos de construcción de la mezcla asfáltica en caliente se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que resulte adecuado, y que cuente con la aprobación del interventor. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

450.4.16 Manejo ambiental

Al respecto, rige el artículo 106, Aspectos ambientales, así como todo lo que resulte aplicable del numeral 400.4.7 del artículo 400.

450.4.17 Reparaciones

Todos los defectos no advertidos durante la colocación y la compactación, tales como protuberancias, juntas irregulares, depresiones, irregularidades de alineamiento y de nivel, los debe corregir el constructor, sin costo adicional para INVÍAS, de acuerdo con las instrucciones del interventor y hasta contar con la aprobación de este. El constructor debe proporcionar trabajadores competentes, capaces de ejecutar a satisfacción el trabajo eventual de correcciones en todas las irregularidades del pavimento construido.

450.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

450.5.1 Controles

Rige lo que resulte aplicable del numeral 400.5.1 del artículo 400.

450.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

450.5.2.1 Calidad del cemento asfáltico

Los requisitos de calidad, controles y criterios de aceptación para el cemento asfáltico deben ser los establecidos en los artículos 410 o 414, según corresponda.

450.5.2.2 Calidad de los agregados pétreos y del llenante mineral

450.5.2.2.1 Aprobación inicial

De cada procedencia de los agregados pétreos y para cualquier volumen previsto, se deben tomar cuatro (4) muestras y a cada fracción de ellas se le deben realizar los ensayos que se encuentran indicados en la Tabla 450 — 2.

Así mismo, para cada procedencia del llenante mineral y para cualquier volumen previsto, se deben tomar dos (2) muestras y sobre ellas se debe determinar la densidad *bulk*, según la norma INV E-225.

Los resultados de estas pruebas deben satisfacer las exigencias indicadas en numeral 450.2.1, so pena de rechazo de los materiales defectuosos.

450.5.2.2.2 Control de producción

Durante la etapa de producción, se deben examinar las descargas a los acopios y se debe ordenar el retiro de los agregados que, a simple vista, contengan tierra vegetal, presenten restos de materia orgánica, o tamaños superiores al máximo especificado. También, se debe ordenar acopiar por separado aquellos que presenten alguna anomalía de aspecto, tal como distinta coloración, segregación, partículas alargadas o aplanadas, y plasticidad, y se debe vigilar la altura de todos los acopios y el estado de sus elementos separadores.

Además, se deben efectuar las verificaciones de calidad indicadas en la Tabla 450 — 11 para los agregados grueso y fino, y en la Tabla 450 — 12 para el llenante mineral de aporte.

Tabla 450 — 11. Ensayos de verificación sobre los agregados para mezclas en caliente de gradación continua

Consultar fe de errata: https://www.invias.gov.co/index.php/normativa/politicas-y-lineamientos/documentos-tecnicos/19166-fe-de-erratas/file

Característica	Norma de ensayo	Frecuencia
Composición (F)		
Granulometría	INV E-213	1 por jornada
Dureza, agregado grueso (O)		
Desgaste en la máquina de Los Ángeles	INV E-218	1 por mes
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval	INV E-238	1 por mes
Resistencia mecánica por el método del 10% de finos	INV E-224	1 por mes
Coeficiente de pulimiento acelerado para rodadura	INV E-232	Cuando cambie la procedencia de los agregados

Característica	Norma deEnsayo	Frecuencia
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio	INV E-220	1 por mes
Análisis petrográfico (Nota 1)		
Porcentajes relativos de los diferentes minerales y las tipologías de rocas que componen el agregado	ASTM C295/UNE 932	1 por año
Limpieza, agregado grueso (F)		
Impurezas en agregado grueso	INV E-237	1 por semana
Limpieza, gradación combinada (F)		
Índice de plasticidad	INV E-125 y INV E-126	1 por jornada
Equivalente de arena	INV E-133	1 por semana
Valor de azul de metileno	INV E-235	1 por semana
Geometría de las partículas, agregado grueso (F)		
Índices de alargamiento y aplanamiento	INV E-230	1 por semana
Partículas planas y alargadas, relación 5:1	INV E-240	1 por semana
Caras fracturadas	INV E-227	1 por jornada
Geometría de las partículas, agregado fino (F)		
Angularidad de la fracción fina, método A	INV E-239	1 por jornada
Adhesividad, gradación (O)		
Agregado grueso: cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos en presencia del agua hirviendo.	INV E-757	Cuando cambie la procedencia de los agregados
Agregado fino: adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos (método Riedel-Weber).	INV E-739	
Gravedad específica		
Gravedad específica y absorción	INV E-222 y INV E-223	1 por mes y siempre que cambie la procedencia de agregados

Nota 1: este ensayo es aplicable únicamente para transito NT3.

Nota 2: en caso de que se requiera, según se indica en el numeral 450.2.1.

Tabla 450 — 12. Ensayos de verificación sobre el llenante mineral de aporte para mezclas en caliente de gradación continua

Característica	Norma de ensayo INV	Frecuencia
Granulometría	E-215	1 por suministro
Densidad bulk	E-225	1 vez a la semana y siempre que cambie la procedencia del llenante
Vacíos del llenante seco compactado (%)	E-229	1 vez a la semana y siempre que cambie la procedencia del llenante

El interventor puede autorizar la reducción de la frecuencia de los ensayos a la mitad de lo indicado en las Tablas 450 — 11 y 450 — 12, siempre que considere que los materiales son suficientemente homogéneos o si en el control de recibo de la obra terminada hubiese aceptado sin objeción diez (10) lotes consecutivos.

En ningún caso se debe permitir el empleo de agregados minerales que no satisfagan los requisitos pertinentes del numeral 450.2.1. En la eventualidad de que alguna prueba dé lugar a un resultado no satisfactorio, se deben tomar dos (2) muestras adicionales del material y se debe repetir la prueba. Los resultados de ambos ensayos de comprobación deben ser satisfactorios o, de lo contrario, el interventor no debe autorizar la utilización del material al cual representen dichos ensayos.

450.5.2.3 Composición de la mezcla

A la salida del mezclador o del silo de almacenamiento, sobre cada vehículo de transporte, se debe controlar el aspecto de la mezcla y se debe medir su temperatura. Se deben rechazar todas las mezclas segregadas, carbonizadas o sobrecalentadas, así como las mezclas con espuma, aquellas cuya envuelta no sea homogénea y las que presenten indicios de humedad o de contaminación por combustibles. En este último caso y cuando la planta sea del tipo discontinuo, se deben retirar los agregados de las correspondientes tolvas en caliente.

Se deben realizar los siguientes controles cuantitativamente:

450.5.2.3.1 Contenido de asfalto

Sobre tres (3) muestras de la mezcla elaborada correspondiente a un (1) lote, definido como se indica en el numeral 450.5.2.5.1, se debe determinar el contenido de asfalto residual (norma de ensayo INV E-732).

El porcentaje de asfalto residual promedio del lote (*ART* %) debe tener una tolerancia de cero coma tres por ciento (0,3 %), respecto del óptimo definido en la fórmula de trabajo (*ARF* %).

$$ARF\ \% - 0{,}3\ \% \leq ART\ \% \leq ARF\ \% + 0{,}3\ \% \quad [450.1]$$

A su vez, el contenido de asfalto residual de cada muestra individual (*ARI* %), no puede diferir del valor promedio (*ART* %) en más de cero coma cinco por ciento (0,5 %), admitiéndose un (1) solo valor fuera de ese intervalo.

$$ART\ \% - 0{,}5\ \% \leq ARI\ \% \leq ART\ \% + 0{,}5\ \% \quad [450.2]$$

Un porcentaje de asfalto residual promedio (*ART* %) fuera de tolerancia, así como un número mayor de muestras individuales por fuera de los límites implica el rechazo del lote salvo que, en el caso de exceso del ligante, el constructor demuestre que no existen problemas de comportamiento de la mezcla ni, en el caso de la capa de rodadura, problemas de inseguridad para los usuarios.

En caso de rechazo, la capa de mezcla en caliente correspondiente al lote controlado se debe retirar preferiblemente mediante fresado, y ser repuesta por otra de calidad satisfactoria hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado en caso de rechazo es de propiedad del constructor.

450.5.2.3.2 Granulometría de los agregados

Sobre las muestras utilizadas para hallar el contenido de asfalto, se debe determinar la composición granulométrica de los agregados, según la norma de ensayo INV E-782.

La curva granulométrica de cada ensayo individual debe ser sensiblemente paralela a los límites de la franja adoptada, ajustándose a la fórmula de trabajo con las tolerancias que se indican en la Tabla 450 — 5, pero sin permitir que la curva se salga de la franja.

En caso de que los valores obtenidos excedan las tolerancias, pero no salgan de la franja, el constructor debe preparar en el laboratorio una mezcla con la gradación defectuosa y el porcentaje medio de asfalto de la mezcla elaborada con este agregado. Esta mezcla se debe someter a todas las pruebas de valoración descritas en el numeral 450.4.2. Si los requisitos allí indicados no se cumplen en su totalidad, se debe rechazar el lote.

En caso de rechazo, la capa de mezcla en caliente correspondiente al lote controlado se debe retirar preferiblemente mediante fresado, y ser repuesta por otra de calidad satisfactoria hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado en caso de rechazo es de propiedad del constructor.

450.5.2.4 Calidad de la mezcla

450.5.2.4.1 Vacíos con aire de probetas compactadas

Con un mínimo de dos (2) muestras de la mezcla elaborada correspondiente a un lote, se deben compactar probetas (dos (2) por muestra) para verificar en el laboratorio su gravedad específica *bulk* (normas INV E-733 o INV E-802), y su estabilidad y flujo en el ensayo Marshall (normas INV E-748 o INV E-800, según corresponda). La compactación se debe hacer aplicando el número de golpes indicado en la Tabla 450 — 9, de acuerdo con el nivel de tránsito de diseño.

Así mismo, sobre una muestra representativa de la mezcla del lote, se debe determinar la gravedad específica máxima (G_{mm}), mediante las normas de ensayo INV E-735 o INV E-803.

Para cada una de las probetas se debe calcular los vacíos con aire mediante la norma de ensayo INV E-736, a partir de su gravedad específica *bulk* y de la gravedad específica máxima de la muestra representativa del lote.
El valor promedio de los vacíos con aire de las cuatro (4) probetas se debe encontrar en el rango establecido en la Tabla 450 – 9, sin que ningún valor individual se pueda alejar en más de cero coma cinco por ciento (0,5 %) de los límites del rango.
El incumplimiento de alguna de estas exigencias implica el rechazo del lote representado por las muestras, sin que sea necesario hacer verificaciones de estabilidad y flujo. En este caso, la capa de mezcla en caliente correspondiente al lote controlado se debe retirar preferiblemente mediante fresado, y ser repuesta por otra de calidad satisfactoria hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado en caso de rechazo es de propiedad del constructor.

Si el requisito de vacíos con aire se cumple, se debe proceder a determinar la estabilidad y el flujo de las cuatro (4) probetas.

450.5.2.4.2 Estabilidad

La estabilidad media de las cuatro (4) probetas (E_m) debe ser, como mínimo, igual al noventa por ciento (90 %) de la estabilidad de la mezcla de la fórmula de trabajo (E_t).

$$E_m \geq 0{,}90 * E_t \quad [450.3]$$

Ningún valor individual (E_i) puede exceder en más de veinticinco por ciento (25 %) el valor de estabilidad de la fórmula de trabajo (E_t), ni encontrarse por debajo del valor mínimo establecido en la Tabla 450 — 9.

$$1{,}25 * E_t \geq E_i \geq \text{valor mínimo de la Tabla 450 — 9} \quad [450.4]$$

Además, la estabilidad de cada probeta (E_i) debe ser igual o superior al ochenta por ciento (80 %) del valor medio de estabilidad (E_m), admitiéndose solo un (1) valor individual por debajo de ese límite.

$$E_i \geq 0{,}80 * E_m \quad [450.5]$$

El incumplimiento de al menos una de estas exigencias implica el rechazo del lote representado por las muestras. En este caso, la capa de mezcla en caliente correspondiente al lote controlado se debe retirar preferiblemente mediante fresado, y ser repuesta por otra de calidad satisfactoria hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado en caso de rechazo es de propiedad del constructor.

450.5.2.4.3 Flujo

El flujo medio de las probetas sometidas al ensayo de estabilidad (F_m), se debe encontrar entre el ochenta por ciento (80 %) y el ciento veinte por ciento (120 %) del valor obtenido en la mezcla aprobada como fórmula de trabajo (F_t), pero no se debe permitir que su valor se encuentre por fuera de los límites establecidos en la Tabla 450 — 9.

$$0{,}80 * F_t \leq F_m \leq 1{,}20 * F_t \quad [450.6]$$

Si el flujo medio se encuentra dentro del rango establecido en la Tabla 450 — 9, pero no satisface la exigencia recién indicada en relación con el valor obtenido al determinar la fórmula de trabajo, el interventor debe decidir y establecer, al compararlo con las estabilidades, si el lote debe ser rechazado o aceptado.

450.5.2.4.4 Relación estabilidad/flujo

Se debe calcular esta relación para las cuatro (4) probetas elaboradas para el control de estabilidad y flujo en cada lote.

Los valores obtenidos se deben encontrar dentro de los límites establecidos en la Tabla 450 — 9, según el tránsito de diseño de la vía para la cual se está elaborando la mezcla. Si al menos uno de los valores calculados queda por fuera de dichos límites, se debe rechazar el lote, así los valores individuales de estabilidad y de flujo sean satisfactorios.

En caso de rechazo, la capa de mezcla en caliente correspondiente al lote controlado se debe retirar preferiblemente mediante fresado, y ser repuesta por otra de calidad satisfactoria hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado en caso de rechazo es de propiedad del constructor.

450.5.2.4.5 Susceptibilidad a la humedad

Cada vez que el interventor lo considere necesario, de acuerdo con el aspecto y el comportamiento de la mezcla colocada, se debe verificar en el laboratorio la susceptibilidad de la mezcla compactada a la acción

del agua, empleando el ensayo de tracción indirecta descrito en la norma de ensayo INV E-725.

Al efecto, se deben moldear seis (6) probetas con la mezcla que se está elaborando, tres (3) de las cuales se deben curar en seco y tres (3) bajo condición húmeda, para determinar la resistencia promedio de cada grupo, como lo establece la norma. La resistencia del grupo curado en húmedo debe ser, cuando menos, ochenta por ciento (80 %) de la resistencia del grupo curado en seco, para que se considere que la mezcla es resistente a la humedad.

El incumplimiento de este requisito implica la realización del ensayo sobre núcleos tomados de los diferentes lotes, cuya mezcla considere el interventor que puede presentar este problema (seis (6) núcleos por lote, tres (3) curados en seco y tres (3) bajo condición húmeda). Los lotes de material que no cumplan con el requisito se deben rechazar. Además, los trabajos se deben suspender, hasta que se estudien e implementen las medidas que garanticen el cumplimiento de este requisito, las cuales pueden comprender desde la incorporación de un aditivo, hasta la definición de una nueva fórmula de trabajo y un nuevo diseño de la mezcla.

450.5.2.4.6 Contenido de agua

Siempre que la apariencia de la mezcla indique la posible presencia de agua en ella, se debe determinar el contenido de agua en la mezcla asfáltica, según las normas de ensayo INV E-755 o INV E-783.

El contenido de agua en cualquier mezcla asfáltica en caliente no puede ser mayor de cero coma cinco por ciento (0,5 %). Los volúmenes de mezcla que no cumplan con este requisito deben ser rechazados.

450.5.2.4.7 Módulo de rigidez

450.5.2.4.7.1 Módulo resiliente

Sobre las mezclas asfálticas de alto módulo (MAM) se debe determinar el módulo resiliente, en condición laboratorio, según la norma de ensayo INV E-749, o de forma alternativa, empleando alguno de los procedimientos de ensayo definidos en normas internacionalmente comprobadas. La prueba se debe realizar por duplicado a la temperatura y la frecuencia indicadas en el numeral 450.4.2.2.2.3.1., es decir, un mínimo de dos (2) muestras a veinte grados Celsius (20 °C) y diez Hertz (10 Hz). El valor obtenido para la condición de veinte grados Celsius (20 °C) y diez Hertz (10 Hz) debe ser como mínimo de diez mil megapascales (10 000 MPa) para capas de base (MAM-25) y de ocho mil megapascales (8 000 MPa) para capas de rodadura (MAM-19).

En caso de aplicar algún procedimiento de ensayo alternativo a la norma de ensayo INV E-749, se deben conservar las condiciones de elaboración de probetas, la frecuencia y la temperatura de ensayo. El valor de módulo obtenido para la condición de veinte grados Celsius (20 °C) y diez Hertz (10 Hz) debe ser equivalente al de diez mil megapascales (10 000 MPa) para capa de base (MAM-25) y de ocho mil megapascales (8 000 MPa) para capas de rodadura (MAM-19). En este caso, se deben utilizar ecuaciones de equivalencia debidamente comprobadas entre los resultados de los ensayos. Las pruebas deben ser conformes, antes de cualquier puesta en obra.

Con respecto al control en obra del módulo resiliente de mezclas del tipo MAM, se debe realizar un muestreo con extracción de nú-

cleos de la capa compactada cada cinco mil metros cúbicos (5000 m3) o por el volumen total compactado, si la obra contempla la construcción de un volumen total inferior a dicha cantidad. En este caso, el interventor debe conservar suficientes probetas adicionales para posteriores ensayos de contraste.

Los ensayos de contraste deben presentar un valor promedio del módulo resiliente mayor de diez mil megapascales (10 000 MPa) para capa de base (MAM-25) y de ocho mil megapascales (8 000 MPa) para capas de rodadura (MAM-19). Si este valor mínimo no se cumple, el volumen de mezcla objeto del control se debe rechazar y el constructor lo debe fresar y retirar, sin costo adicional para INVÍAS, y reemplazarlo por otro de calidad satisfactoria. El material fresado en caso de rechazo es de propiedad del constructor.

Si las especificaciones particulares establecen requisitos sobre módulos resilientes para otras mezclas del proyecto, se debe seguir un proceso de verificación similar al mencionado para las mezclas de alto módulo según lo estipulado en la Tabla 450 — 10.

450.5.2.4.7.2 Módulo complejo

Sobre las mezclas asfálticas de alto módulo (MAM) se debe determinar el módulo complejo, en condición laboratorio, según la norma de ensayo UNE-EN 12697-26 (Anexo D). La prueba se debe realizar por duplicado a la temperatura y la frecuencia indicadas en el numeral 450.4.2.2.2.3.2., es decir, un mínimo de cuatro (4) muestras, dos (2) a condición de temperatura y frecuencia del proyecto, y dos (2) a veinte grados Celsius (20 °C) y diez Hertz (10 Hz). La prueba debe ser conforme, antes de cualquier puesta en obra de la mezcla, según los parámetros establecidos en los documentos del proyecto y se deben reportar los valores del valor absoluto del módulo complejo.

Con respecto al control en obra del módulo complejo, se asume válido, si:

• Las formulaciones en condición de laboratorio anteriormente indicadas son conformes.
• El control de contenido de asfalto en obra (450.5.2.3.1) es conforme.
• El control de la granulometría de los agregados en obra (450.5.2.3.2) es conforme.
• El control de la compactación en obra (450.5.2.5.3) es conforme.

Si las especificaciones particulares establecen requisitos sobre módulos complejos para otras mezclas del proyecto, se debe seguir un proceso de verificación similar al mencionado para las mezclas de alto módulo según lo estipulado en la Tabla 450 – 10.

450.5.2.4.8 Leyes de Fatiga

Sobre las mezclas asfálticas de alto módulo (MAM) se deben determinar las leyes de fatiga, en condición laboratorio, aplicando alguno de los procedimientos de ensayo de las normas INV E-784 o INV E-808 o de forma alternativa, empleando alguno de los procedimientos de ensayo definidos en normas internacionalmente comprobadas. Las pruebas deben ser realizadas por duplicado, sobre probetas preparadas de acuerdo con lo definido en la norma correspondiente, a la temperatura y frecuencia indicadas en el numeral 450.4.2.2.2.4., es decir, un mínimo de dos (2) muestras, una (1) en condición de temperatura y frecuencia del proyecto, y una (1) a veinte grados Celsius (20 ° C) y una frecuencia entre diez Hertz (10 Hz) y veinte Hertz (20 Hz). Los valores obtenidos de deformación a un (1) mion de ciclos (ε_6) y pendiente (-1/b) de la recta de fatiga debe cumplir con los valores mínimos establecidos en la Tabla 450 – 10. Las pruebas deben ser conformes, antes de cualquier puesta en obra.

Con respecto al control en obras de leyes de fatiga, se asume válido, si:

• Las formulaciones en condición de laboratorio anteriormente indicadas son conformes.
• El control de contenido de asfalto en obra (450.5.2.3.1) es conforme.
• El control de la granulometría de los agregados en obra (450.5.2.3.2) es conforme.
• El control de la compactación en obra (450.5.2.5.3) es conforme.

En el caso eventual de evidencia de degradación a corto plazo de la capa asfáltica o de la estructura de pavimento, el interventor debe exigir la extracción

de muestras para la evaluación respectiva de leyes de fátiga. En dicho caso, se debe realizar un muestreo con extracción de n½cleos de la capa compactada cada cinco mil metros cúbicos (5000 m3) o por el volumen total compactado, si la obra contempla la construcción de un volumen total inferior a dicha cantidad. En este caso, el interventor debe conservar suficientes probetas adicionales para posteriores ensayos de contraste.

En caso de no conformidad de estos ensayos de contraste, con respecto a los par§metros exigidos en la Tabla 450 — 10. Si este valor mínimo no se cumple, el volumen de mezcla objeto del control debe ser rechazado y el constructor debe fresarlo y retirarlo, sin costo adicional para INVÍAS, y reemplazarlo por otro de calidad satisfactoria. El material fresado en caso de rechazo es de propiedad del constructor.

Si las especificaciones particulares estable-cen requisitos sobre leyes de fatiga para otras mezclas del proyecto, se debe seguir un proceso de verificación La cota similar de al cualquier mencionado punto de la para mezcla las asfáltica mezclas de alto módulo.

450.5.2.5 Calidad del producto terminado

450.5.2.5.1 Tamaño del lote

Se debe considerar como lote, que se acepta o se rechaza en conjunto, la menor área construida que resulte de aplicar los siguientes criterios, para una sola capa de mezcla asfáltica en caliente:

- Quinientos metros (500 m) de mezcla en caliente colocada en todo el ancho de la calzada.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m^2) de mezcla en caliente colocada.
- La obra ejecutada en una jornada de trabajo.

Específicamente para la determinación del Índice de Rugosidad Internacional (IRI), la definición de lote es como se indica en el numeral 450.5.2.5.9.

450.5.2.5.2 Aspectos generales

La capa terminada de mezcla asfáltica en caliente debe presentar una superficie uniforme y se debe ajustar a las rasantes y pendientes establecidas. La distancia entre el eje del proyecto y el borde de la capa que se esté construyendo, excluyendo sus chaflanes, no puede ser menor que la señalada en los documentos del proyecto.

La cota de cualquier punto de la mezcla asfáltica compactada en capas de base no debe variar en más de quince milímetros (15 mm) de la proyectada, y la variación no puede exceder de diez milímetros (10 mm) cuando se trate de capas intermedia y de rodadura.

Todas las áreas donde los defectos de calidad y terminación excedan las tolerancias de esta especificación, así como aquellas en que se presente retención de agua en la superficie, deben ser corregidas por el constructor de acuerdo con las instrucciones del interventor y hasta ser aprobado por este, sin costo adicional para INVÍAS.

Además, se deben realizar las siguientes verificaciones.

450.5.2.5.3 Compactación

La determinación de la densidad de la capa compactada se debe realizar, como mínimo, en cinco (5) sitios por lote. Los sitios para la toma de muestras o las mediciones *in situ* se deben elegir al azar, según la norma de ensayo INV E-730, pero de manera que se realice al menos una (1) prueba por hectómetro.

Para el control de la compactación de una capa de mezcla en caliente de gradación continua, se debe calcular su grado de com-pactación, a partir de los resultados de los ensayos de densidad en el terreno (ρ_i) y de los ensayos de gravedad específica máxima (G_{mm}) de laboratorio, mediante la siguiente expresión:

$$GC_i = \frac{\rho_i}{G_{mm} * \rho_w} * 100 \quad [450.7]$$

Donde:

GC_i, valor individual del grado de compactación, en porcentaje.

ρ_i, valor individual de la densidad en el terreno, determinado por alguno de los métodos descritos en las normas INV E-733, INV E-734, INV E- 746, INV E-787 o INV E-802.

G_{mm}, valor de la gravedad específica máxima de la mezcla, determinada mediante las normas de ensayo INV E-735 o INV E-803 sobre una muestra representativa del lote, según el numeral 450.5.2.4.1.

ρ_w, densidad del agua a veinticinco grados Celsius (25 °C) (77 °F), expresada en las mismas unidades que ρ_i (997,0 kg/m^3 o 0,997 g/cm^3).

Para el control de la compactación se deben aplicar los siguientes criterios:

$GC_l\ (90) \geq GC_{mín}$ se acepta el lote **[450.8]**

$GC_l\ (90) < GC_{mín}$ se rechaza el lote **[450.9]**

Donde:

GC_l (90), límite inferior del intervalo de confianza en el que, con una probabilidad del noventa por ciento (90 %), se encuentra el valor promedio del grado de compactación del lote, en porcentaje; se debe calcular según el numeral 107.3.1.3 del artículo 107, Control y aceptación de los trabajos, a partir de los valores individuales del grado de compactación (GC_l).

$GC_{mín}$, grado de compactación mínimo, en porcentaje, según la Tabla 450 — 13.

Para los fines de determinar la conformidad con los valores indicados en la Tabla 450 — 13, el valor calculado del grado de compactación, expresado en porcentaje, se debe redondear al primer decimal, de acuerdo con el método del redondeo de la norma INV E-823.

La toma de muestras testigo se debe realizar de acuerdo con la norma INV E-758.

Solo se debe aceptar la determinación de la densidad de la capa compactada por medio de densímetros nucleares (norma de ensayo INV E-746) si se garantiza, sin lugar a ninguna duda, que la medición del aparato abarca, única y exclusivamente, el espesor total de la capa que se está verificando.

Tabla 450 — 13. Grado de compactación mínimo ($GC_{mín}$)

Tipo de capa	Grado de compactación mínimo ($GC_{mín}$) (%)		
	Nivel de tránsito		
	NT1	NT2	NT3
Rodadura	94,0	94,0	93,0
Intermedia	92,0	92,0	92,0
Base	-	91,0	91,0
Alto módulo	-	-	93,0

En caso de rechazo, la capa de mezcla densa en caliente correspondiente al lote controlado se debe retirar preferiblemente mediante fresado, y ser repuesta por otra de calidad satisfactoria hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado en caso de rechazo es de propiedad del constructor.

450.5.2.5.4 Espesor

Sobre la base del lote escogido para el control de la compactación y en los mismos puntos de verificación, se debe determinar el espesor promedio de la capa compactada (e_m), el cual no puede ser inferior al espesor de diseño (e_d).

$$e_m \geq e_d \quad [450.10]$$

Además, el valor obtenido en cada determinación individual (e_i) debe ser, como mínimo, igual al noventa y ocho por ciento (98 %) del espesor de diseño.

$$e_i \geq 0{,}98 * e_d \quad [450.11]$$

Si alguno de estos requisitos se incumple, se debe proceder como se indica a continuación. Todas las labores de corrección las debe ejecutar el constructor, sin cargo adicional para INVÍAS.

450.5.2.5.4.1 Para capas de rodadura

El constructor debe proceder a fresar y remover la capa y reponerla en el espesor adecuado o, alternativamente y si no existen problemas de gálibo o de sobrecargas estructurales, a colocar una capa adicional del mismo tipo de mezcla de cincuenta milímetros (50 mm) de espesor compacto, cumpliendo todos los requisitos de calidad de esta especificación. El riego de liga que se deba colocar para adherir las capas se debe ejecutar en acuerdo con el artículo 421.

Si la capa adicional no cumple alguno de los requisitos de este artículo, esta se debe fresar y reponer con una nueva de calidad satisfactoria, sin costo alguno para INVÍAS.

450.5.2.5.4.2 Para capas intermedias

Si el espesor promedio del lote es inferior al noventa y ocho por ciento del espesor de diseño ($e_m < 0{,}98 * e_d$), la capa que constituye el lote se debe rechazar y se debe levantar mediante fresado, y debe ser repuesta en el espesor adecuado, hasta ser aprobada por el interventor, sin costo alguno para INVÍAS.

Si el espesor promedio del lote es igual o mayor al noventa y ocho por ciento del espesor de diseño ($e_m \geq 0{,}98 * e_d$) y no existen deficiencias de lisura en la capa terminada, se debe autorizar compensar la deficiencia de espesor con el espesor adicional correspondiente en la capa de rodadura, sin costo adicional para INVÍAS.

Si la deficiencia ocurre en una capa elaborada con una mezcla de alto módulo, la compensación a que se hace referencia en el párrafo anterior no se debe realizar en un espesor igual al de la misma, sino el que resulte al verificar el dimensionamiento de la estructura, con el mismo método empleado en el diseño original. Si el constructor no acoge por escrito estas determinaciones, la capa que constituye el lote se debe rechazar y se debe levantar mediante fresado, y debe ser repuesta en el espesor adecuado, hasta ser aprobada por el interventor, sin costo alguno para INVÍAS.

450.5.2.5.4.3 Para capas de base

Si el espesor promedio del lote es inferior al noventa y ocho por ciento del espesor de diseño ($e_m < 0{,}98 * e_d$), la capa que constituye el lote se debe rechazar y se debe levantar mediante fresado, y se debe reponer con el espesor adecuado, hasta ser aprobada por el interventor, sin costo alguno para INVÍAS.
Si el espesor promedio del lote es igual o mayor al noventa y ocho por ciento del espesor de diseño ($e_m < 0{,}98 * e_d$) y no existen deficiencias de lisura en la capa terminada, se debe autorizar compensar la deficiencia de espesor con el espesor adicional correspondiente en la capa superior, sin costo adicional para INVÍAS.

Si la deficiencia ocurre en una capa de base elaborada con una mezcla de alto módulo y la capa intermedia no debe ser elaborada con una mezcla de alto módulo, la compensación a que se hace referencia en el párrafo anterior no se debe realizar con un espesor igual al de la misma, sino el que resulte al verificar el dimensionamiento de la estructura, con el mismo método empleado en el diseño original. Si el constructor no acoge por escrito estas determinaciones, la capa que constituye el lote se rechaza y debe ser levantada mediante fresado y repuesta con el espesor adecuado, hasta ser aprobada por el interventor, sin costo alguno para INVÍAS.

En todos los casos en que la mezcla se debe fresar y reponer por presentar deficiencias en relación con el espesor, el material fresado en caso de rechazo es de propiedad del constructor.

450.5.2.5.5 Segregación térmica

En el caso de vías que presenten niveles de tránsito NT3, el constructor debe entregar al interventor un registro termográfico, de las temperaturas de extensión y compactación de toda la mezcla colocada, debidamente referenciado (norma INV E-788). Estos registros deben ser entregados al interventor a más tardar una semana después de la pavimentación del sector fotografiado y antes de la toma de núcleos para verificar la densidad. Estas fotografías tienen dos usos:

- Durante la construcción, el interventor puede ordenar la toma de núcleos en los sitios donde las imágenes muestren la presencia de sitios de menor temperatura, para verificar el porcentaje de vacíos de la mezcla colocada.
- Al final de la obra, las imágenes deben ser incluidas en el informe final de interventoría y deben servir a INVÍAS como antecedente técnico si se presentan deterioros del pavimento durante el periodo de garantía, como consecuencia de la segregación térmica durante la construcción de las capas asfálticas.

450.5.2.5.6 Planicidad

La superficie acabada no puede presentar zonas de acumulación de agua, ni irregularidades mayores de diez milímetros (10 mm) en capas de rodadura o quince milímetros (15 mm) en capas de base o intermedias y bacheos, cuando se compruebe con una regla de tres metros (3 m), según la norma de ensayo INV E-793; la regla se debe colocar tanto paralela como perpendicularmente al eje de la vía, en los sitios que el interventor escoja al azar, los cuales no pueden estar afectados por cambios de pendiente. Las zonas que presenten deficiencias de este tipo se deben retirar preferiblemente mediante fresado, y

ser repuestas por otra de calidad satisfactoria hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado en caso de rechazo es de propiedad del constructor.

450.5.2.5.7 Textura

Las medidas de textura se deben realizar en los treinta días (30 d) de compactación de la capa, mediante el método descrito en la norma de ensayo INV E-791.

El número mínimo de puntos por controlar por lote debe ser de tres (3), que se deben ampliar a cinco (5), si la textura obtenida en uno (1) de los tres (3) primeros es inferior a la especificada. Dichos puntos se deben elegir al azar, de acuerdo con la norma INV E-730.

La profundidad media de textura del lote no puede ser menor al mínimo admisible, que se defina en los documentos del proyecto, el cual no puede ser inferior a cero coma nueve milímetros (0,9 mm). Ningún valor individual puede ser inferior en más de veinte por ciento (20 %) al promedio mínimo exigido y no pueden existir áreas con evidencias indudables de segregación.

Si este requisito no se cumple, la capa de rodadura correspondiente al lote controlado se debe retirar preferiblemente mediante fresado, y ser repuesta por otra de calidad satisfactoria hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado en caso de rechazo es de propiedad del constructor. Alternativamente y a opción del constructor, y si no existen problemas de gálibo o de sobrecargas estructurales, este puede colocar una capa adicional de una mezcla del mismo tipo con el correspondiente riego de liga, sin costo adicional para INVÍAS, del mismo espesor compacto que la anterior, para cumplir todos los requisitos de calidad de esta especificación.

450.5.2.5.8 Resistencia al deslizamiento

Una vez transcurridos, como mínimo, treinta días (30 d) de la puesta en servicio, se deben hacer las determinaciones de la resistencia al deslizamiento sobre mezclas densas en caliente construidas para servir como capas de rodadura.

Debido a que la resistencia al deslizamiento se encuentra relacionada directamente con la seguridad de los usuarios, los puntos para su determinación en cada lote no se deben elegir al azar, sino que el interventor los debe ubicar en los lugares que considere más sensibles al deslizamiento vehicular en condición de superficie húmeda.

Las medidas se deben realizar con el péndulo británico, de acuerdo con la norma de ensayo INV E-792, en tres (3) puntos por lote en zonas en tangente y en uno (1) por cada curva horizontal y por cada zona singular (glorieta, intersección, zona de frenado, etc.) incluida dentro del lote, y ninguna de ellas puede presentar un valor inferior al límite indicado en la Tabla 450 — 14, de acuerdo con el tránsito de diseño y el tipo de sección.

En caso de que se presenten valores menores, el interventor debe realizar medidas adicionales, para delimitar perfectamente el área deficiente, la cual debe ser corregida por el constructor, sin costo adicional para INVÍAS. Para ello, la capa de mezcla densa en caliente correspondiente al lote controlado se debe retirar preferiblemente mediante fresado, y

ser repuesta por otra de calidad satisfactoria hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado en caso de rechazo es de propiedad del constructor. Alternativamente y a opción del constructor, y si no existen problemas de gálibo o de sobrecargas estructurales, este puede colocar una capa adicional de una mezcla del mismo tipo, sin costo adicional para INVÍAS, de cincuenta milímetros (50 mm) de espesor compacto, que cumpla todos los requisitos de calidad de esta especificación. El riego de liga que se deba colocar para adherir las capas debe ejecutarlo de acuerdo con el artículo 421, sin costo adicional para INVÍAS.

La resistencia al deslizamiento se puede verificar también con dispositivos de rueda parcialmente bloqueada (norma de ensayo INV E-815). En tal caso, la especificación particular debe indicar el equipo autorizado, así como los valores mínimos por alcanzar, los cuales deben ser, cuando menos, equivalentes a los señalados en la Tabla 450 — 14 para el péndulo británico.

Tabla 450 — 14. Valores mínimos admisibles del coeficiente de resistencia al deslizamiento con el péndulo británico

Tipo de capa	Coeficiente de resistencia al deslizamiento, mínimo		
	NT1	NT2	NT3
Glorietas; curvas con radios menores 200 m; pendientes ≥ 5 % en longitudes de 100 m o más; intersecciones; zonas de frenado frecuente	50	55	60
Otras secciones	45	50	50

450.5.2.5.9 Regularidad superficial

El IRI se debe comprobar de manera continua en toda la longitud de la obra y en cada carril, antes del recibo definitivo de la misma. Para los efectos de aceptación del pavimento terminado, este artículo establece que la determinación del IRI se debe realizar, únicamente, con procedimientos de medida de precisión o con equipos de referencia inercial. Las medidas de precisión se pueden adelantar con mira y nivel, de acuerdo con el procedimiento indicado en la norma de ensayo INV E-794 o con un perfilómetro pivotante de alta precisión, norma de ensayo INV E-814.

Si se opta por el equipo de referencia inercial, este se debe validar previamente con uno de precisión, en un tramo de prueba de longitud no menor de doscientos metros (200 m). El equipo de referencia inercial se debe operar, de acuerdo con la norma ASTM E950.

Para efectos de la evaluación con fines de recibo, las medidas se deben hacer en cada uno de los carriles del pavimento construido y los valores del IRI se deben presentar en metro por kilómetro (m/km), en tramos consecutivos de cien metros (100 m) por carril, con la excepción que se cita en el párrafo siguiente. Un conjunto de cinco (5) tramos constituye un lote.

No debe haber exigencia sobre el cumplimiento de regularidad superficial en tramos

que incluyan singularidades, entendiendo por tales todas aquellas alteraciones del perfil longitudinal de la carretera que incrementen el IRI y no provengan de deficiencias constructivas, como pueden ser intersecciones con otras vías, puentes, pozos de inspección, reductores de velocidad, etc., los cuales debe definir el interventor, con su ubicación respectiva (carril y abscisa), antes de proceder a la determinación del IRI.

Se entiende que la superficie del pavimento tiene una regularidad superficial aceptable, si a lo largo de la longitud evaluada en cada carril se satisfacen los valores indicados en la Tabla 450 — 15.

Si la proporción de hectómetros donde los resultados de la regularidad superficial (IRI) exceden los límites especificados no es superior a veinte por ciento (20 %) del total del lote, el interventor debe delimitar los sectores relevantes en el incumplimiento y debe ordenar su corrección, mediante el fresado y la colocación de una nueva capa de mezcla asfáltica. El interventor debe establecer los espesores por fresar y reponer en cada tramo, y todos los costos que impliquen estas correcciones, deben ser asumidos por el constructor. El material fresado es de propiedad del constructor.

Si la proporción de hectómetros donde los resultados de IRI exceden los límites especificados es mayor del veinte por ciento (20 %) del total del lote, toda la longitud de este debe ser fresada y repuesta en el mismo espesor. El fresado, traslado y disposición del material demolido y la reconstrucción de la capa, con la calidad exigida por el presente artículo, están a cargo del constructor. El material demolido es de propiedad del constructor. Este, a su vez, no puede invocar las reparaciones o reconstrucciones debidas a deficiencias en la regularidad superficial, como causal para incumplir el programa de trabajo.

Tabla 450 — 15. Valores máximos admisibles de IRI (m/km)

Porcentaje (%) de hectómetros	Pavimentos de construcción nueva y rehabilitados en espesor > 10 cm			Pavimentos rehabilitados en espesor ≤ 10 cm		
	NT1	NT2	NT3	NT1	NT2	NT3
40	2,4	1,9	1,4	2,9	2,4	1,9
80	3,0	2,5	2,0	3,5	3,0	2,5
100	3,5	3,0	2,5	4,0	3,5	3,0

450.5.2.5.10 Construcción de capas de renivelación

Las mezclas para la construcción de capas de renivelación de un pavimento existente deben cumplir los mismos requisitos que se exigen cuando se coloca como capa de base, si su espesor compacto es mayor o igual a setenta y cinco milímetros (75 mm). En caso contrario, deben cumplir los requisitos exigidos a la capa intermedia.

450.5.2.5.11 Correcciones por variaciones en el diseño o por causas no imputables al constructor

Cuando sea necesario efectuar correcciones a las capas asfálticas por modificaciones en el diseño estructural o por fuerza mayor u otras causas inequívocamente no imputables al constructor, el interventor debe delimitar el área afectada y debe ordenar las correcciones necesarias, por cuyo trabajo debe autorizar el pago al constructor, con el consentimiento previo de INVÍAS, al respectivo precio unitario del contrato.

450.5.2.5.12 Medidas de deflexión

El interventor debe verificar la homogeneidad de la estructura construida al nivel de la capa de mezcla asfáltica en caliente, realizando medidas de deflexión con alguno de los dispositivos presentados en la norma de ensayo INV E-797, de acuerdo con el procedimiento normal aplicable a este. Los resultados de las medidas, que se deben realizar en tresbolillo cada veinte metros (20 m), no deben constituir base para aceptación o rechazo de la capa construida, sino que sirven a INVÍAS para verificar la homogeneidad de la estructura que se construye y realizar los ajustes que pudieran resultar necesarios para el diseño estructural del pavimento.

En todo caso, se recomienda en la medida de lo posible que no se emplee la Viga Benkelman para las mediciones de las deflexiones de la capa, especialmente en niveles de tránsito altos como el NT3.

450.6 Medida

Rige lo descrito en el artículo 400 y, en particular, en el numeral 400.6.2. Para bacheos, se aplica lo especificado en el numeral 400.6.3 del mismo artículo.

450.7 Forma de pago

Rige lo descrito en el artículo 400 y en particular en el numeral 400.7.3 del mismo artículo.

450.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
450.1	Mezcla densa en caliente tipo MDC-25	Metro cúbico (m^3)
450.2	Mezcla densa en caliente tipo MDC-19	Metro cúbico (m^3)
450.3	Mezcla densa en caliente tipo MDC-10	Metro cúbico (m^3)
450.4	Mezcla semidensa en caliente tipo MSC-25	Metro cúbico (m^3)
450.5	Mezcla semidensa en caliente tipo MSC-19	Metro cúbico (m^3)
450.6	Mezcla gruesa en caliente tipo MGC-38	Metro cúbico (m^3)
450.7	Mezcla gruesa en caliente tipo MGC-25	Metro cúbico (m^3)
450.8	Mezcla de alto módulo MAM-25	Metro cúbico (m^3)
450.10	Mezcla en caliente para bacheo MSC-25	Metro cúbico (m^3)
450.11	Mezcla en caliente para bacheo MGC-25	Metro cúbico (m^3)
450.12	Mezcla en caliente para bacheo MGC-38	Metro cúbico (m^3)
450.13	Mezcla de alto módulo MAM-19	Metro cúbico (m^3)

Nota: se debe elaborar un ítem de pago diferente, para cada tipo de mezcla y capa que forme parte del contrato. Ellos se deben identificar agregando cifras al esquema numerado del ítem. Por ejemplo, si el contrato considera dos mezclas del tipo MDC-25, una para capa de rodadura y otra para capa intermedia, se puede identificar así:

450.1.1 Mezcla densa en caliente tipo MDC-25 para capa de rodadura.
450.1.2 Mezcla densa en caliente tipo MDC-25 para capa intermedia.

Mezcla abierta en caliente

Artículo 451 – 22

451.1 Descripción

Este trabajo consiste en la elaboración, el transporte, la colocación y la compactación de una capa de mezcla asfáltica de tipo abierto, preparada y colocada en caliente, de acuerdo con esta especificación y de conformidad con los alineamientos, las cotas, las secciones y los espesores indicados en los documentos del proyecto.

451.2 Materiales

451.2.1 Agregados pétreos

Los requisitos que se exigen en esta sección son de tipo prescriptivo, para evaluar la calidad de los materiales que componen la mezcla asfáltica. En caso de no cumplirse alguno(s) de ellos, la aceptación o rechazo respectivos deben ser evaluados según las premisas de desempeño indicadas en el diseño, y según sean las condiciones de las fuentes locales. La aprobación debe ser sustentada mediante un informe técnico detallado, desarrollado por el especialista en pavimentos y/o geotecnia, donde se consigne cuál debe ser el desempeño y la durabilidad, proponiendo las estrategias necesarias para garantizar el cumplimiento del diseño. El interventor debe aprobar o rechazar los materiales en función de los requisitos establecidos en esta sección y en los establecidos en el informe de desempeño del especialista.

Los agregados pétreos deben satisfacer los requisitos del numeral 400.2.1 del artículo 400. Además, deben cumplir los requisitos de calidad mencionados en la Tabla 451 — 1.

Tabla 451 — 1. Requisitos de los agregados para mezcla abierta en caliente

Característica	Norma de ensayo	Nivel de tránsito		
		NT1	NT2	NT3
Dureza, agregado grueso (O)				
Desgaste en la máquina de Los Ángeles, máximo (%). (Nota 1): - 500 revoluciones - 100 revoluciones	INV E-218	 35 7	 35 7	 35 7
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%).	INV E-238	-	30	25
Resistencia mecánica por el método del 10% de finos: - Valor en seco, mínimo (kN) - Relación húmedo/seco, mínimo (%)	INV E-224	 - -	 - -	 90 75

Característica	Norma de ensayo	Nivel de tránsito		
		NT1	NT2	NT3
Durabilidad (O)				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio del agregado grueso, máximo (%).	INV E-220	18	18	18
Análisis petrográfico				
Cuantifica los porcentajes relativos de los diferentes minerales y las tipologías de rocas que componen el agregado (Nota 2).	ASTM C295	-	-	Reportar
Limpieza, agregado grueso (F)				
Impurezas en agregado grueso, máximo (%).	INV E-237	0,5	0,5	0,5
Geometría de las partículas, agregado grueso (F)				
Partículas planas y alargadas, relación 5:1, máximo (%).	INV E-240	10	10	10
Caras fracturadas, mínimo (%): una cara/dos caras.	INV E-227	60/-	75/-	75/-
Adhesividad (O)				
Agregado grueso: cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos en presencia del agua hirviendo, mínimo (%).	INV E-757	Reportar		

Nota 1: se aceptan valores superiores de desgaste siempre y cuando el valor de Micro-Deval se cumpla; esta nota no resulta aplicable para tránsito NT1.

Nota 2: este ensayo es aplicable únicamente para tránsito NT3. El informe debe cuantificar los porcentajes relativos de los diferentes minerales y las tipologías de rocas que componen el agregado, debe incluir advertencia sobre la presencia de minerales contaminantes, deletéreos, con posibles reactividades químicas, inestables o susceptibles a cambios volumétricos. Debe indicar el grado de meteorización o de alteración del agregado, y la porosidad. También debe incluir valores de acidez y carga de partícula con un concepto sobre la adherencia con el asfalto y las emulsiones.

El conjunto de agregado grueso y agregado fino se debe ajustar a alguna de las gradaciones indicadas en la Tabla 451 — 2.

Tabla 451 — 2. Franjas granulométricas para la mezcla abierta en caliente

Tipo de mezcla	Tamiz (mm / U.S. *Standard*)								
	75	63	50	37,5	19,0	9,5	4,75	2,36	0,150
	3 Pulgadas	2 ½ Pulgadas	2 Pulgadas	1 ½ Pulgadas	3/4 Pulgada	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 8	Nro. 100
	Pasa tamiz (%)								
MAC-75	100	95 — 100	-	30 — 70	3 — 20	0 — 5	-	-	-
MAC-63	-	100	-	35 — 70	5 — 20	-	-	0 — 5	-
MAC-50	-	-	100	75 — 90	50 — 70	-	8 — 20	-	0 — 5
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	5 %							3 %	

Salvo que los documentos del proyecto indiquen lo contrario, se debe emplear la gradación tipo MAC-50.

451.2.2 Material bituminoso

Debe ser cemento asfáltico del tipo especificado en los documentos del proyecto. Si estos no lo especifican, debe ser cemento asfáltico de penetración 60 — 70, que cumpla los requisitos indicados en el artículo 410.

451.2.3 Aditivos mejoradores de adherencia entre los agregados y el asfalto

Cuando se requieran, deben cumplir los requisitos del artículo 412. La dosificación y la dispersión homogénea del aditivo deben tener la aprobación del interventor.

El constructor debe garantizar que su incorporación no produce ningún efecto nocivo a los agregados, al ligante asfáltico o a la mezcla. Cualquier efecto adverso en el comportamiento del pavimento, que se derive del empleo del aditivo, es de responsabilidad exclusiva del constructor, quien debe efectuar todas las reparaciones que requiera la mezcla compactada, de acuerdo con las instrucciones del interventor y hasta ser aprobada por este.

451.3 Equipo

Al respecto, se debe considerar lo que resulte aplicable de lo indicado en el numeral 400.3 del artículo 400. En relación con el detalle del equipo necesario para la ejecución de los trabajos, se debe tener en cuenta lo que se indica a continuación:

- La extensión de la mezcla se puede efectuar también con motoniveladora, si así lo aprueba el interventor.
- El equipo de compactación debe consistir tan solo de rodillos metálicos lisos, preferiblemente entre ocho y diez toneladas (8 t – 10 t) de peso.

451.4 Ejecución de los trabajos

451.4.1 Explotación de materiales y elaboración de agregados

Rige lo establecido en el numeral 105.13.3 del artículo 105, Desarrollo de los trabajos.

451.4.2 Diseño de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo

Rige todo lo que resulte aplicable del numeral 400.4.2 del artículo 400.

Considerando que no existen métodos idóneos para el diseño de estas mezclas, se debe elegir un porcentaje preliminar de asfalto, con respecto a la masa de la mezcla, el cual se debe ajustar como resultado de las pruebas que se realicen durante la fase de experimentación. Dicho porcentaje suele oscilar entre uno coma cinco y tres por ciento (1,5 % – 3,0 %).

451.4.3 Preparación de la superficie existente

Antes de extender la mezcla, se debe limpiar y acondicionar la superficie que la va a recibir, con el fin de que no presente polvo u otros elementos extraños, ni queden fragmentos sueltos del pavimento sobre el cual se va a colocar la mezcla.

También, se deben efectuar los bacheos y las nivelaciones que, por instrucción del interventor, se requieran para mejorar la estructura y el perfil del pavimento existente.

Si la extensión de la mezcla requiere un riego de liga previo, este se debe realizar conforme lo establece el artículo 421, con una emulsión asfáltica catiónica de los tipos CRR-60 o CRR-65 que cumpla los requisitos indicados en el artículo 411.

Antes de extender la mezcla, se debe verificar que haya ocurrido el curado del riego de liga. Si hubiera transcurrido mucho tiempo desde la aplicación de este, se debe comprobar que su capacidad de liga con la mezcla no se haya mermado en forma perjudicial; si ello ha sucedido, el constructor debe efectuar un riego de liga adicional, en la cuantía que fije el interventor. Si la pérdida de efectividad del riego previo es imputable al constructor, el nuevo riego lo debe realizar sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS).

En el momento de la extensión de la mezcla, la superficie debe estar seca.

451.4.4 Fase de experimentación

Rige lo indicado en el numeral 400.4.3 del artículo 400.

451.4.5 Aprovisionamiento de los agregados

Rige lo descrito en el numeral 450.4.5 del artículo 450.

451.4.6 Fabricación de la mezcla asfáltica

La carga de las tolvas en frío se debe realizar de forma que estas contengan entre el cincuenta y el cien por ciento (50 % – 100 %) de su capacidad, sin rebosar. En las operaciones de carga se deben tomar las precauciones necesarias para evitar segregaciones o contaminaciones.

Las aberturas de salida de las tolvas en frío se deben regular en forma tal, que la mezcla de todos los agregados se ajuste a la fórmula de trabajo de la alimentación en frío. El caudal total de esta mezcla en frío se debe regular de acuerdo con la producción prevista, y se debe mantener constante la alimentación del secador.

Los agregados se deben calentar antes de su mezcla con el asfalto. El secador se debe regular de forma que la combustión sea completa, indicada por la ausencia de humo negro en el escape de la chimenea. Siempre que se presenten síntomas de avería en el sistema de combustión, si la combustión es incompleta o si se advierte alguna contaminación por combustible en los agregados pétreos o en la mezcla, se debe detener la producción hasta que se identifiquen y se corrijan las causas del problema.

En las plantas de tipo discontinuo, se debe comprobar que la unidad clasificadora en caliente proporcione a las tolvas en caliente agregados homogéneos. En caso contrario, se deben tomar las medidas necesarias para corregir la heterogeneidad.

Los agregados preparados, como se ha indicado anteriormente, se deben pesar o medir exactamente y se deben transportar al mezclador, en las proporciones determinadas en la fórmula de trabajo.

Después de haber introducido en el mezclador los agregados, se debe agregar automáticamente

el material bituminoso calculado para cada bachada. Este se debe encontrar a la temperatura adecuada y se debe continuar la operación de mezcla durante el tiempo especificado.

La temperatura de elaboración de la mezcla se debe definir durante la fase de experimentación y suele variar entre ciento diez y ciento veinte grados Celsius (110 °C – 120 °C). El tiempo de mezcla no debe exceder de treinta segundos (30 s).

En ningún caso se debe introducir en el mezclador el agregado caliente a una temperatura superior, en más de quince grados Celsius (15 °C), a la temperatura del asfalto.

En el momento de la mezcla, la temperatura del asfalto debe ser tal, que se consiga la envuelta satisfactoria de los agregados, sin que se produzcan escurrimientos del ligante. El volumen de materiales en el mezclador no debe ser tan grande que sobrepase los extremos de las paletas, cuando estas se encuentren en posición vertical. Es recomendable que no superen los dos tercios (2/3) de su altura. Todos los tamaños del agregado deben estar uniformemente distribuidos en la mezcla y sus partículas deben quedar cubiertas de ligante, de manera satisfactoria, para aprobación del interventor. La temperatura de la mezcla recién elaborada no debe exceder de la fijada durante la definición de la fórmula de trabajo.

En caso de utilizar adiciones al ligante o a la mezcla, se debe cuidar su correcta dosificación y su distribución homogénea, así como la conservación de sus características iniciales durante el proceso de fabricación.

Se deben rechazar todas las mezclas heterogéneas, carbonizadas o sobrecalentadas, las mezclas con espuma, o las que presenten indicios de contaminación o de humedad. En este último caso, se deben retirar los agregados de las correspondientes tolvas en caliente de las plantas de tipo discontinuo. También, se deben rechazar aquellas mezclas en las que la envuelta no sea satisfactoria.

451.4.7 Transporte de la mezcla

La mezcla se debe transportar a la obra en volquetas carpadas, hasta una hora del día en que las operaciones de extensión y compactación se puedan realizar correctamente con luz solar. Solo se debe permitir el trabajo en horas de la noche si, a criterio del interventor, existe una iluminación artificial que permita la extensión y la compactación de manera adecuada.

Durante el transporte de la mezcla se deben tomar las precauciones necesarias para que al descargarla en el equipo de transferencia o en la máquina pavimentadora, su temperatura no sea inferior a la mínima que se determine como aceptable durante la fase de experimentación.

Antes de abordar cualquier vía pavimentada, se deben limpiar perfectamente las llantas de los vehículos destinados al transporte de la mezcla. Los vehículos de transporte de mezcla deben mantener al día los permisos de tránsito y ambientales requeridos, y sus cargas por eje y totales se deben encontrar dentro de los límites fijados por la resolución vigente del Ministerio de Transporte.

451.4.8 Transferencia de la mezcla

Rige lo descrito en el numeral 450.4.8 del artículo 450.

451.4.9 Extensión de la mezcla

Rige, en general, lo descrito en el numeral 450.4.9 del artículo 450. En este caso no se requieren obreros que agreguen y enrasen la mezcla tras la pavimentadora.

Se debe permitir la extensión de la mezcla con motoniveladora, en las circunstancias en que el interventor considere aconsejable el empleo de este procedimiento.

451.4.10 Compactación de la mezcla

La compactación debe comenzar, una vez extendida la mezcla, empleando rodillos metálicos lisos estáticos que no produzcan fracturación de las partículas del agregado pétreo. El número de pasadas debe ser el establecido durante la fase de experimentación, y debe ser lo suficientemente bajo para prevenir sobrecompactaciones que reduzcan el volumen de aire en la mezcla.

La compactación debe comenzar por los bordes y avanzar gradualmente hacia el centro, excepto en las curvas peraltadas, donde el cilindrado debe avanzar del borde inferior al superior, paralelamente al eje de la vía y traslapando a cada paso en la forma fijada por el interventor, hasta que la superficie total haya sido compactada. Los rodillos deben llevar su llanta motriz del lado cercano a la pavimentadora, excepto en los casos que autorice el interventor, y sus cambios de dirección se deben hacer sobre la mezcla ya compactada.

A causa de la aspereza de la mezcla, se deben evitar al máximo las correcciones mediante procedimientos manuales.

451.4.11 Juntas de trabajo

Rige lo descrito en el numeral 450.4.11 del artículo 450.

451.4.12 Bacheos

La mezcla abierta en caliente puede ser utilizada en el relleno de excavaciones, únicamente para la reparación de pavimentos existentes, que contengan capas inferiores asfálticas agrietadas y estas vayan a constituir el fondo de la excavación.

El espesor que se puede rellenar con mezcla abierta en caliente es el indicado en los documentos del proyecto o el establecido por el interventor, de acuerdo con las circunstancias de la obra.

451.4.13 Apertura al tránsito

Debido a su bajo contenido de asfalto y a la posibilidad de desintegración bajo la acción de las cargas del tránsito, no se debe permitir que la mezcla compactada sea sometida a la circulación de vehículos.

El constructor debe tomar las disposiciones necesarias para que se cumpla esta instrucción y debe organizar su plan de trabajo, de manera que la capa superior, de gradación densa, semidensa o gruesa, según lo establezcan los documentos del proyecto, se construya a la mayor brevedad.

451.4.14 Limitaciones en la ejecución

No se debe permitir la extensión y la compactación de mezclas abiertas en caliente, cuando la temperatura ambiente a la sombra y la de la superficie del pavimento sean inferiores a cinco grados Celsius (5 °C) o haya lluvia o fundados temores de que ella ocurra.

Los trabajos de construcción de la mezcla abierta en caliente se deben efectuar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que resulte adecuado, y que cuente con la aprobación del interventor. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

451.4.15 Manejo ambiental

Al respecto, rige el artículo 106, Aspectos ambientales, así como todo lo que resulte aplicable del numeral 400.4.7 del artículo 400.

451.4.16 Reparaciones

Todos los defectos no advertidos durante la colocación y la compactación, tales como protuberancias, juntas irregulares, depresiones, irregularidades de alineamiento y de nivel deben ser corregidos por el constructor, sin costo adicional para INVÍAS, de acuerdo con las instrucciones del interventor. El constructor debe proporcionar trabajadores competentes, capaces de ejecutar a satisfacción el trabajo eventual de correcciones en todas las irregularidades del pavimento construido.

451.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

451.5.1 Controles

Rige lo que resulte aplicable del numeral 400.5.1 del artículo 400.

451.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

451.5.2.1 Calidad del ligante asfáltico

Los requisitos de calidad, los controles y los criterios de aceptación para el cemento asfáltico deben ser los establecidos en el artículo 410.

451.5.2.2 Calidad de los agregados pétreos

451.5.2.2.1 Aprobación inicial

De cada procedencia de los agregados pétreos y para cualquier volumen previsto, se deben tomar cuatro (4) muestras y a cada fracción de ellas se le deben realizar los ensayos indicados en la Tabla 451 — 1.

Los resultados de estas pruebas deben satisfacer las exigencias indicadas en dicha tabla, so pena de rechazo de los materiales defectuosos.

451.5.2.2.2 Control de producción

Durante la etapa de producción, se deben examinar las descargas a los acopios y se debe ordenar el retiro de los agregados que, a simple vista, contengan tierra vegetal, presenten restos de materia orgánica, o tamaños superiores al máximo especificado. También, se debe ordenar acopiar por separado aquellos que presenten alguna anomalía de aspecto, tal como distinta coloración, segregación, partículas alargadas o aplanadas, y plasticidad, y se debe vigilar la altura de todos los acopios y el estado de sus elementos separadores.

Además, se deben efectuar las verificaciones de calidad indicadas en la Tabla 451 — 3.

Tabla 451 — 3. Ensayos de verificación sobre los agregados para mezcla abierta en caliente

Característica	Norma de ensayo INV	Frecuencia
Composición (F)		
Granulometría	E-213	1 por jornada
Dureza, agregado grueso (O)		
Desgaste en la máquina de Los Ángeles	E-218	1 por mes
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval	E-238	1 por mes
Resistencia mecánica por el método del 10 % de finos	E-224	1 por mes
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio	E-220	1 por mes
Limpieza, agregado grueso (F)		
Impurezas en agregado grueso	E-237	1 por semana
Geometría de las partículas, agregado grueso (F)		
Partículas planas y alargadas, relación 5:1	E-240	1 por semana
Caras fracturadas	E-227	1 por jornada
Adhesividad (O)		
Agregado grueso: cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos en presencia del agua hirviendo	E-757	Cuando cambie la procedencia de los agregados

El interventor puede autorizar la reducción de la frecuencia de los ensayos a la mitad de lo indicado en la Tabla 451 — 3, siempre que considere que los materiales son suficientemente homogéneos o si en el control de recibo de la obra terminada hubiese aceptado sin objeción diez (10) lotes consecutivos.

En ningún caso se debe permitir el empleo de agregados minerales que no satisfagan los requisitos del numeral 451.2.1 del presente artículo. En la eventualidad de que alguna prueba dé lugar a un resultado no satisfactorio, se deben tomar dos (2) muestras adicionales del material y se debe repetir la

prueba. Los resultados de ambos ensayos de comprobación deben ser satisfactorios o, de lo contrario, el interventor no debe autorizar la utilización del material al cual representen dichos ensayos.

451.5.2.3 Composición de la mezcla

A la salida del mezclador o del silo de almacenamiento, sobre cada vehículo de transporte, el interventor debe controlar el aspecto de la mezcla y debe medir su temperatura. El interventor debe rechazar todas las mezclas segregadas, carbonizadas o sobrecalentadas, así como las mezclas con espuma, aquellas cuya envuelta no sea homogénea y las que presenten indicios de humedad o de contaminación por combustible. En este último caso y cuando la planta sea de tipo discontinuo, se deben retirar los agregados de las correspondientes tolvas en caliente.

Cuantitativamente, se deben realizar los siguientes controles:

451.5.2.3.1 Contenido de asfalto

Sobre tres (3) muestras de la mezcla elaborada correspondiente a un lote, definido como se indica en el numeral 451.5.2.4.1, se debe determinar el contenido de asfalto residual (norma de ensayo INV E-732).

El porcentaje de asfalto residual promedio del lote (*ART* %) debe tener una tolerancia de cero coma tres por ciento (0,3 %), respecto del óptimo definido en la fórmula de trabajo (*ARF* %).

$$ARF\ \% - 0{,}3\ \% \leq ART\ \% \leq ARF\ \% + 0{,}3\ \% \quad [451.1]$$

A su vez, el contenido de asfalto residual de cada muestra individual (*ARI* %), no puede diferir del valor promedio (*ART* %) en más de cero coma cinco por ciento (0,5 %), admitiéndose un (1) solo valor fuera de ese intervalo.

$$ART\ \% - 0{,}5\ \% \leq ARI\ \% \leq ART\ \% + 0{,}5\ \% \quad [451.2]$$

Un porcentaje de asfalto residual promedio (*ART* %) fuera de tolerancia, así como un número mayor de muestras individuales por fuera de los límites implica el rechazo del lote. En este caso, la capa de mezcla en caliente correspondiente al lote controlado, debe ser levantada mediante fresado y repuesta hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado es de propiedad del constructor.

451.5.2.3.2 Granulometría de los agregados

Sobre las muestras utilizadas para hallar el contenido de asfalto, se debe determinar la composición granulométrica de los agregados.

La curva granulométrica de cada ensayo individual debe ser sensiblemente paralela a los límites de la franja adoptada, ajustándose a la fórmula de trabajo con las tolerancias que se indican en la Tabla 451 — 2, pero sin permitir que la curva se salga de la franja.

Si la curva granulométrica queda dentro de la franja, pero los valores incumplen los requisitos recién indicados, el interventor debe rechazar el lote representado por dicha curva. En subsidio, el interventor puede aceptarlo provisionalmente bajo el compromiso escrito del constructor de que, sin costo adicional para INVÍAS, garantiza realizar todas las

reparaciones que se requieran a satisfacción de INVÍAS, si en la capa que se va a colocar sobre la mezcla abierta en caliente se producen, dentro del término del contrato y de la garantía de estabilidad de las obras, reflejos de fallas de capas inferiores, atribuibles a las deficiencias granulométricas de la mezcla abierta en caliente.

451.5.2.4 Calidad del producto terminado

451.5.2.4.1 Tamaño del lote

Se debe considerar como lote, que se acepta o rechaza en conjunto, la menor área construida que resulte de aplicar los siguientes criterios:

- Quinientos metros (500 m) de mezcla colocada en todo el ancho de la calzada.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m^2) de mezcla colocada.
- La obra ejecutada en una jornada de trabajo.

451.5.2.4.2 Aspectos generales

La capa terminada debe presentar una superficie uniforme y ajustarse a las rasantes y las pendientes establecidas. La distancia entre el eje del proyecto y el borde de la capa que se esté construyendo, excluyendo sus chaflanes, no puede ser menor que la señalada en los documentos del proyecto. La cota de cualquier punto de la mezcla compactada no debe variar en más de diez milímetros (10 mm) de la proyectada.

Además, se deben hacer las siguientes verificaciones.

451.5.2.4.3 Espesor

Las determinaciones de espesor de la capa compactada se deben realizar en una proporción de cuando menos cinco (5) por lote. Los sitios para las mediciones se deben elegir al azar, de acuerdo con la norma INV E-730, pero de manera que se realice al menos una (1) prueba por hectómetro. El espesor promedio de la capa compactada (e_m) no puede ser inferior al espesor de diseño (e_d).

$$e_m \geq e_d \quad [451.10]$$

Además, el valor obtenido en cada determinación individual (e_i) debe ser, como mínimo, igual al noventa y ocho por ciento (98 %) del espesor de diseño.

$$e_i \geq 0{,}98 * e_d \quad [451.11]$$

El incumplimiento de alguno de estos requisitos implica el rechazo del lote. En tal caso, la capa de mezcla abierta en caliente correspondiente al lote controlado, se debe levantar mediante fresado y reponer hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado es de propiedad del constructor.

451.5.2.4.4 Planicidad

La superficie acabada no puede presentar, en ningún punto, irregularidades mayores de quince milímetros (15 mm) cuando se compruebe con una regla de tres metros (3 m), según la norma de ensayo INV E-793. La regla se debe colocar tanto paralela como perpendicularmente al eje de la vía, en los sitios que escoja el interventor, los cuales no deben estar afectados por cambios de pendiente.

Las zonas que presenten deficiencias de este tipo deben ser reparadas por el constructor, hasta ser aprobadas por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS.

451.5.2.4.5 Medidas de deflexión

El interventor debe verificar la solidez de la estructura construida, al nivel de la capa de mezcla abierta en caliente, realizando medidas de deflexión con alguno de los dispositivos presentados en la norma de ensayo INV E-797, de acuerdo con el procedimiento normal aplicable a este. Los resultados de las medidas, que se deben realizar en tresbolillo cada veinte metros (20 m), no constituyen base para aceptación o rechazo de la capa construida, sino que sirven a INVÍAS para verificar la homogeneidad de la estructura que se construye, y realizar los ajustes que pudieran resultar necesarios al diseño estructural del pavimento.

Todas las áreas de mezcla abierta en caliente colocada y compactada, donde los defectos de calidad y de terminación excedan las tolerancias indicadas en esta especificación, deben ser corregidas por el constructor, sin costo adicional para INVÍAS, de acuerdo con las instrucciones del interventor y hasta ser aprobadas por este.

En todo caso, se recomienda en la medida de lo posible que no se emplee la Viga Benkelman para las mediciones de las deflexiones de la capa, especialmente en niveles de tránsito altos como el NT3.

451.6 Medida

Rige lo pertinente del numeral 400.6 del artículo 400, y en particular lo indicado en los numerales 400.6.2 y 400.6.3.

451.7 Forma de pago

Rige lo pertinente del numeral 400.7 del artículo 400, y en particular lo indicado en el numeral 400.7.3.

451.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
451.1	Mezcla abierta en caliente tipo MAC-75	Metro cúbico (m^3)
451.2	Mezcla abierta en caliente tipo MAC-63	Metro cúbico (m^3)
451.3	Mezcla abierta en caliente tipo MAC-50	Metro cúbico (m^3)
451.4	Mezcla abierta en caliente tipo MAC-50 para bacheo	Metro cúbico (m^3)

Mezcla discontinua en caliente para capa de rodadura (microaglomerado en caliente)

Artículo 452 – 22

452.1 Descripción

Este trabajo consiste en la elaboración, el transporte, la colocación y la compactación de una capa de mezcla asfáltica de tipo discontinuo para capa de rodadura, preparada y colocada en caliente sobre un pavimento existente, de acuerdo con esta especificación y de conformidad con los alineamientos, las cotas, las secciones y los espesores indicados en los documentos del proyecto.

452.2 Materiales

452.2.1 Agregados pétreos y llenante mineral

452.2.1.1 Requisitos generales

Los requisitos que se exigen en esta sección son de tipo prescriptivo, para evaluar la calidad de los materiales que componen la mezcla asfáltica. En caso de no cumplirse alguno(s) de ellos, la aceptación o rechazo respectivos deben ser evaluados según las premisas de desempeño indicadas en el diseño, y según sean las condiciones de las fuentes locales. La aprobación debe ser sustentada mediante un informe técnico detallado, desarrollado por el especialista en pavimentos y/o geotecnia, donde se consigne cuál debe ser el desempeño y la durabilidad, proponiendo las estrategias necesarias para garantizar el cumplimiento del diseño. El interventor debe aprobar o rechazar los materiales en función de los requisitos establecidos en esta sección y en los establecidos en el informe de desempeño del especialista.

Los agregados pétreos y el llenante mineral deben satisfacer los requisitos del numeral 400.2.1 del artículo 400. Adicionalmente, deben cumplir los requisitos de calidad mencionados en la Tabla 452 — 1.

Tabla 452 — 1. Requisitos de los agregados para mezclas discontinuas en caliente para capa de rodadura

Característica	Norma de ensayo	NT2 y NT3
Dureza, agregado grueso (O)		
Desgaste en la máquina de Los Ángeles, máximo (%). (Nota 1): - 500 revoluciones - 100 revoluciones	INV E-218	 25 5
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%).	INV E-238	20

Característica	Norma de ensayo	NT2 y NT3
Dureza, agregado grueso (O)		
Evaluación de la resistencia mecánica por el método del 10% de finos: - Valor en seco, mínimo (kN) - Relación húmedo/seco, mínimo (%)	INV E-224	 110 75
Coeficiente de pulimiento acelerado, mínimo (CPA).	INV E-232	50
Durabilidad (F)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio, máximo (%).	INV E-220	18
Análisis petrográfico		
Cuantifica los porcentajes relativos de los diferentes minerales y las tipologías de rocas que componen el agregado (Nota 2).	ASTM C295	Reportar para NT3
Limpieza, agregado grueso (F)		
Impurezas en agregado grueso, máximo (%).	INV E-237	0,5
Limpieza, gradación combinada (F)		
Índice de Plasticidad, máximo (%).	INV E-125 e INV E-126	NP
Equivalente de arena, mínimo (%).	INV E-133	50
Valor de azul de metileno, máximo.	INV E-235	10
Geometría de las partículas, agregado grueso (F)		
Partículas planas y alargadas, relación 5:1, máximo (%).	INV E-240	10
Caras fracturadas, mínimo (%): una cara/dos caras.	INV E-227	100/100
Geometría de las partículas, agregado fino (F)		
Angularidad de la fracción fina, método A, mínimo (%).	INV E-239	45
Adhesividad (O)		
Agregado grueso: cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos en presencia del agua hirviendo, mínimo (%).	INV E-757	Reportar
Agregado fino: adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos (método Riedel-Weber), índice mínimo.	INV E-774	Reportar

Nota 1: se aceptan valores superiores de desgaste siempre y cuando el valor de Micro-Deval se cumpla; esta nota no resulta aplicable para tránsito NT1.

Nota 2: este ensayo es aplicable únicamente para tránsito NT3. El informe debe cuantificar los porcentajes relativos de los diferentes minerales y las tipologías de rocas que componen el agregado, debe incluir advertencia sobre la presencia de minerales contaminantes, deletéreos, con posibles reactividades químicas, inestables o susceptibles a cambios volumétricos. Debe indicar el grado de meteorización o de alteración del agregado, y la porosidad. También debe incluir valores de acidez y carga de partícula con un concepto sobre la adherencia con el asfalto y las emulsiones.

452.2.1.2 Agregado fino

El agregado fino debe proceder, en su totalidad, de la trituración de roca de cantera o de grava natural, o parcialmente de fuentes naturales de arena. La proporción de arena natural no puede exceder los valores de la Tabla 452 — 2.

El material que se triture para obtener el agregado fino debe cumplir los requisitos de resistencia establecidos para el agregado grueso en la Tabla 452 — 1.

Tabla 452 — 2. Proporción máxima de arena natural en el agregado

Característica	NT2	NT3
Proporción de arena natural: porcentaje (%) de la masa total del agregado combinado.	≤ 20	≤ 10
Proporción de arena natural: porcentaje (%) de la masa total del agregado fino.	≤ 50	

452.2.1.3 Llenante mineral

El llenante mineral puede provenir de los procesos de trituración y clasificación de los agregados pétreos, separándose de ellos por medio de los ciclones de la planta mezcladora, o puede ser de aporte como producto comercial, generalmente cal hidratada (ver requisitos en la NTC 4019) o cemento hidráulico (ver requisitos en el numeral 501.2.1 del artículo 501). La proporción de llenante mineral y los requisitos para el mismo deben cumplir con lo mencionado en la Tabla 452 — 3.

Tabla 452 — 3. Proporción y requisitos del llenante mineral

Composición	Norma de ensayo INV	NT2 y NT3
Proporción de llenante mineral de aporte: (porcentaje (%) en masa del llenante total).	-	≥ 50
Granulometría del llenante mineral de aporte: - % que pasa tamiz de 1,18 mm (nro. 16) - % que pasa tamiz de 0,600 mm (nro. 30) - % que pasa tamiz de 0,150 mm (nro. 100) - % que pasa tamiz de 0,075 mm (nro. 200)	E-215	 100 97 — 100 95 — 100 70 — 100
Densidad *bulk* (g/cm^3).	E-225	0,5 – 0,8
Vacíos del llenante seco compactado (%).	E-229	≥ 38

452.2.1.4 Granulometría

La granulometría del agregado obtenido mediante la combinación de las distintas fracciones, incluido el llenante mineral, debe estar comprendida dentro de alguna de las franjas fijadas en la Tabla 452 — 4. El análisis granulométrico se debe efectuar, de acuerdo con la norma de ensayo INV E-213.

Tabla 452 — 4. Franjas granulométricas para mezclas discontinuas en caliente para capa de rodadura

Tipo de mezcla		Tamiz (mm / U.S. *Standard*)						
		12,5	9,5	8	4,75	2,00	0,425	0,075
		1/2 Pulgada	3/8 Pulgada	5/16 Pulgada	Nro. 4	Nro. 10	Nro. 40	Nro. 200
		Pasa tamiz (%)						
Tipo M	**M-13**	100	75 — 97	-	15 — 28	11 — 22	8 — 16	5 — 8
	M-10	-	100	75 — 97	15 — 28	11 — 22	8 — 16	5 — 8
Tipo F	**F-13**	100	75 — 97	-	25 — 40	18 — 32	10 — 20	7 — 10
	F-10	-	100	75 — 97	25 — 40	18 — 32	10 — 20	7 — 10
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)		4 %			3 %			1 %

Para prevenir segregaciones y garantizar los niveles de compactación y resistencia exigidos por la presente especificación, el material que produzca el constructor debe dar lugar a una curva granulométrica uniforme, sensiblemente paralela a los límites de la franja por utilizar, sin saltos bruscos de la parte superior de un tamiz a la inferior del tamiz adyacente y viceversa.

El tipo de mezcla y la franja granulométrica por emplear deben ser los indicados en los documentos del proyecto.

452.2.2 Material bituminoso

El material bituminoso para elaborar la mezcla discontinua en caliente debe ser cemento asfáltico modificado con polímeros, que corresponda a los tipos CAM-2, CAM-3 y/o CAM-5 de la Tabla 414 — 1 del artículo 414; también, puede ser cemento asfáltico modificado con grano de caucho reciclado que cumpla los requisitos establecidos en el artículo 413. El tipo por utilizar debe ser definido en los documentos del proyecto.

452.2.3 Aditivos mejoradores de la adherencia entre los agregados y el asfalto

Cuando se requieran, deben cumplir con los requisitos del artículo 412. La dosificación y la dispersión homogénea del aditivo deben tener la aprobación del interventor.

El constructor debe garantizar que su incorporación no va a producir ningún efecto nocivo a los agregados, al ligante asfáltico o a la mezcla. Cualquier efecto adverso en el comportamiento del pavimento que se derive del empleo del aditivo, es de responsabilidad exclusiva del constructor, quien debe efectuar todas las reparaciones que requiera la mezcla compactada, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), de acuerdo con las instrucciones del interventor.

452.2.4 Productos y tecnologías para modificar la reología o mitigar el escurrimiento

Se permite el uso de fibras, o cualquier otra tecnología o modificador de las propiedades del concreto asfáltico, siempre y cuando se presenten informes técnicos que determinen su dosificación y se muestre evidencia de un comportamiento favorable en campo. Dichos informes deben ilustrar las mejoras obtenidas en el desempeño, en los procesos productivos, en los procesos constructivos, en la durabilidad o en las prestaciones mecánicas, al ser comparada la mezcla modificada respecto a la mezcla patrón sin incorporación de dichos productos. Además, el uso de dichos productos o tecnologías debe ser respaldado con las respectivas fichas técnicas y hojas de seguridad del fabricante, y contar con la aprobación del interventor.

452.3 Equipo

Al respecto, se aplica lo que resulte pertinente de lo indicado en el artículo 400.

Adicionalmente, se debe considerar que para la compactación se deben utilizar compactadores de rodillos metálicos autopropulsados y sin vibración.

Dada la importancia que tiene el riego de liga en la construcción de este tipo de capa de rodadura, es altamente recomendable que la máquina pavimentadora esté provista, también, de un sistema de riego incorporado a ella, que garantice una aplicación continua y uniforme del mismo.

452.4 Ejecución de los trabajos

452.4.1 Explotación de materiales y elaboración de agregados

Rige lo establecido en el numeral 105.13.3. del artículo 105, Desarrollo de los trabajos.

452.4.2 Obtención de la fórmula de trabajo

452.4.2.1 Generalidades

Rige todo lo que resulte aplicable del numeral 400.4.2 del artículo 400.

452.4.2.2 Diseño de la mezcla

Las mezclas discontinuas en caliente se deben diseñar en función del tipo de granulometría del agregado, siguiendo los métodos indicados en la Tabla 452 — 5.

Tabla 452 — 5. Método de diseño para mezclas discontinuas en caliente para capa de rodadura

Tipo de mezcla	Norma de ensayo INV	Método
Tipo M	E-760	Ensayo Cántabro
		Comprobación: - Verificación de adherencia mediante el ensayo Cántabro con inmersión
Tipo F	E-748	Método Marshall
	E-725 E-756	Comprobación: - Verificación de adherencia por tracción indirecta - Verificación de resistencia a la deformación plástica

452.4.2.2.1 Diseño de mezclas discontinuas tipo M

452.4.2.2.1.1 Diseño mediante el ensayo Cántabro

Los criterios de dosificación de estas mezclas son los indicados en la Tabla 452 — 6. La temperatura de elaboración de la mezcla debe corresponder, en principio, a una viscosidad del ligante asfáltico comprendida entre ciento cincuenta y ciento noventa centistokes (150 cSt – 190 cSt), debiendo verificarse que no se produzca escurrimiento del ligante a dicha temperatura.

Las mezclas en caliente objeto del presente artículo se orientan principalmente al método Cántabro. Alternativamente, si los documentos del proyecto lo consideran, son válidos diseños por otros métodos de reconocida aceptación internacional, en los cuales se deben seguir los requisitos y controles del respectivo método, así como los requisitos del presente artículo que resulten aplicables. En todos los casos las fórmulas de trabajo no deben tener una antigüedad mayor de un año.

Tabla 452 — 6. Criterios de dosificación para mezclas discontinuas tipo M

Característica	Norma de ensayo INV	Valor
Contenido de ligante: porcentaje (%) en masa sobre el agregado seco, mínimo (Nota).	-	5,0
Compactación: número de golpes por cara.	E-760	50
Pérdida por abrasión en seco, máximo (%).	E-760	15
Vacíos con aire en la mezcla compactada, mínimo (%).	E-736	12
Relación llenante/ligante efectivo, en peso.	-	1,2 – 1,4

Nota: realizar la corrección por densidad de áridos y validar con métodos internacionales y nuevas tecnologías.

452.4.2.2.1.2 Verificación de adherencia

La mezcla que cumpla los requisitos de diseño de la Tabla 452 — 6, debe ser sometida a la prueba de verificación de la adherencia, según el criterio señalado en la Tabla 452 — 7.

Tabla 452 — 7. Verificación de adherencia para mezclas discontinuas tipo M

Característica	Norma de ensayo INV	Valor
Pérdida de abrasión en probetas después de inmersión en agua durante 24 horas a 60 °C, máximo (%). (Nota).	E-760	25

Nota: si la pérdida de abrasión tras inmersión supera el valor especificado, se debe mejorar la adhesividad mediante un aditivo mejorador de adherencia apropiado.

452.4.2.2.2 Diseño de mezclas discontinuas tipo F

452.4.2.2.2.1 Diseño Marshall

Los criterios de dosificación de estas mezclas son los indicados en la Tabla 452 – 8.

Tabla 452 — 8. Criterios de dosificación para mezclas discontinuas tipo F

Característica	Norma de ensayo INV	Valor
Contenido de ligante: porcentaje (%) en masa sobre el agregado seco, mínimo (Nota).	-	5,5
Compactación: número de golpes por cara.	E-748	50
Estabilidad, mínimo (N).	E-748	7 500
Vacíos con aire, mínimo (%).	E-736	4
Relación llenante/ligante efectivo, en peso.	-	1,4 – 1,8

Nota: realizar la corrección por densidad de áridos y validar con métodos internacionales y nuevas tecnologías.

452.4.2.2.2.2 Verificación de adherencia y resistencia a la deformación plástica

El diseño Marshall que cumpla los requisitos de la Tabla 452 — 8, se debe someter a las pruebas de verificación relacionadas en la Tabla 452 — 9. La verificación se debe adelantar en la secuencia indicada en la tabla.

Tabla 452 — 9. Verificación de adherencia y resistencia a la deformación plástica para mezclas discontinuas tipo F

Propiedad	Norma de ensayo INV	Valor
Adherencia: resistencia retenida a la tracción indirecta, mínimo (%).	E-725	80
Resistencia a la deformación plástica: velocidad máxima de deformación en el intervalo de 105 a 120 minutos (µm/min): - Temperatura media anual del aire > 24 °C - Temperatura media anual del aire ≤ 24 °C	E-756	 12 15

Si la mezcla no cumple con el requisito de adherencia, se debe incrementar su adhesividad hasta que cumpla con el mismo, empleando un aditivo mejorador de adherencia y/o un llenante mineral apropiado.

452.4.2.2.3 Composición de la mezcla

La composición de la mezcla discontinua en caliente se debe ajustar a lo establecido en la Tabla 452 — 10.

Tabla 452 — 10. Composición de las mezclas discontinuas en caliente para capa de rodadura

Composición		Tipo de mezcla			
		M-13	M-10	F-13	F-10
Cantidad de mezcla (kg/m^2)		55 — 70	35 — 50	65 — 80	40 — 55
Ligante residual en el riego de liga, mínimo (kg/m^2)	Pavimento nuevo	0,30		0,25	
	Pavimento antiguo	0,40		0,35	

452.4.2.2.4 Ajuste de la fórmula de trabajo

La mezcla discontinua en caliente para capa de rodadura no se puede fabricar a escala industrial, mientras el interventor no haya aprobado la fórmula de trabajo y realizado las verificaciones y ajustes correspondientes en la fase de experimentación, en particular respecto de la cantidad media de mezcla por aplicar para obtener el espesor compacto establecido en los documentos del proyecto. Igualmente, si durante la ejecución de las obras varía la procedencia de alguno de los componentes de la mezcla o se rebasan de manera frecuente las tolerancias granulométricas establecidas en el presente artículo, se debe requerir el estudio de una nueva fórmula de trabajo.

452.4.3 Preparación de la superficie existente

La mezcla no se debe extender hasta que se compruebe que la capa sobre la cual se va a colocar tenga la densidad apropiada y su

superficie presente las cotas indicadas en los documentos del proyecto. Todas las irregularidades que excedan de las tolerancias establecidas en la especificación respectiva, deben ser corregidas de acuerdo con lo establecido en ella.

No se debe permitir la colocación de la mezcla discontinua en caliente mientras el interventor no compruebe que la capa sobre la cual se va a colocar es estructuralmente sana y presenta una regularidad superficial aceptable.

Las áreas de la superficie existente donde se formen charcos en instantes de lluvia, requieren una capa de mezcla densa de nivelación antes de que se permita la extensión de la mezcla discontinua.

Debido al pequeño espesor en que son puestas en obra las mezclas discontinuas en caliente, ellas resultan propensas a despegues por los esfuerzos tangenciales del tránsito. Por tal razón, la extensión de la mezcla exige la aplicación cuidadosa de un riego previo de liga, el cual se debe realizar conforme lo establece el artículo 421, empleando una emulsión asfáltica modificada con polímeros del tipo CRR-65m, de las características establecidas en el artículo 415 y con la dosificación indicada en el numeral 452.4.2.2.3.

Para garantizar la efectividad del riego de liga, es recomendable que la máquina pavimentadora esté provista de un sistema de riego incorporado a ella. Si no se dispone de dicho equipo, el riego se puede aplicar con un carrotanque, cuidando que no se degrade antes de la extensión de la mezcla. En caso de que el riego pierda efectividad, el constructor debe efectuar un riego adicional, en la cuantía que fije el interventor. Si la pérdida de efectividad del primer riego es imputable al constructor, el nuevo riego debe realizarlo a su costa.

Las excavaciones para bacheo, así como las operaciones de relleno con los materiales adecuados para restablecer el nivel requerido, se deben ejecutar de acuerdo con las indicaciones del artículo 465 para la excavación y de los artículos que correspondan a los materiales empleados en su relleno.

Si la superficie sobre la cual se va a colocar la mezcla corresponde a un pavimento asfáltico antiguo que, de acuerdo con los estudios y documentos del proyecto, requiere un fresado previo, este se debe realizar conforme se establece en el artículo 460.

452.4.4 Fase de experimentación

Rige lo indicado en el numeral 400.4.3 del artículo 400.

452.4.5 Aprovisionamiento de los agregados

Los agregados se deben suministrar fraccionados y se deben manejar separados hasta su introducción en las tolvas en frío. El número de fracciones debe ser tal que sea posible, con la instalación que se utilice, cumplir las tolerancias exigidas en la granulometría de la mezcla. Cada fracción debe ser suficientemente homogénea y se debe poder acopiar y manejar sin peligro de segregación, observando las precauciones que se detallan a continuación. Cuando la mezcla asfáltica se vaya a elaborar en una planta del tipo tambor secador-mezclador no se debe permitir, por ningún motivo, realizar una predosificación

de las fracciones de los agregados pétreos, antes de su vertimiento en las tolvas de agregados en frío de la planta.

Cada fracción del agregado se debe acopiar separada de las demás, para evitar intercontaminaciones. Si los acopios se disponen sobre el terreno natural, no se deben utilizar los quince centímetros (15 cm) inferiores de los mismos. Los acopios se deben construir por capas de espesor no superior a uno coma cinco metros (1,5 m), y no por montones cónicos. Las cargas del material se deben colocar adyacentes, tomando las medidas oportunas para evitar su segregación.

Cuando se detecten anomalías en el suministro, los agregados se deben acopiar por separado, hasta confirmar su aceptabilidad. Esta misma medida se debe aplicar cuando se autorice el cambio de procedencia de un agregado.

452.4.6 Fabricación de la mezcla asfáltica

La carga de las tolvas en frío se debe realizar de forma que estas contengan más del cincuenta por ciento (50 %) de su capacidad, pero sin rebosar. En las operaciones de carga se deben tomar las precauciones necesarias para evitar segregaciones o contaminaciones.

Las aberturas de salida de las tolvas en frío se deben regular en forma tal, que la mezcla de todos los agregados se ajuste a la fórmula de trabajo de la alimentación en frío. El caudal total de esta mezcla en frío se debe regular de acuerdo con la producción prevista, debiéndose mantener constante la alimentación del secador.

Los agregados se deben calentar antes de su mezcla con el asfalto. El secador se debe regular de forma que la combustión sea completa, indicada por la ausencia de humo negro en el escape de la chimenea. Siempre que se presenten signos de avería en el sistema de combustión, si ocurre combustión incompleta o se advierte alguna contaminación por combustible en los agregados o en la mezcla, se debe detener la producción hasta que se identifiquen y corrijan las causas del problema.

Si el polvo mineral recogido en los colectores cumple las condiciones exigidas al llenante y su utilización está prevista, se puede introducir en la mezcla; en caso contrario, se debe eliminar. El tiro de aire en el secador se debe regular de forma adecuada, para que la cantidad y la granulometría del llenante recuperado sean uniformes. La dosificación del llenante de recuperación y/o el de aporte se debe hacer de manera independiente de los agregados y entre sí.

En las plantas de tipo discontinuo, se debe comprobar que la unidad clasificadora en caliente proporcione a las tolvas en caliente agregados homogéneos; en caso contrario, se deben tomar las medidas necesarias para corregir la heterogeneidad.

Los agregados preparados como se ha indicado anteriormente, y eventualmente el llenante mineral seco, se deben pesar exactamente y se deben transportar al mezclador en las proporciones determinadas en la fórmula de trabajo. Después de haber introducido en el mezclador los agregados y el llenante, se debe agregar automáticamente el material bituminoso calculado para cada bachada, el cual se debe encontrar a la temperatura

adecuada, y se debe continuar la operación de mezcla durante el tiempo especificado.

La temperatura del material bituminoso en el instante de la mezcla depende de la relación viscosidad – temperatura, siendo una temperatura conveniente aquella a la cual el ligante presenta una viscosidad entre ciento cincuenta y trescientos centistokes (150 cSt – 300 cSt), siendo preferible que se encuentre entre ciento cincuenta y ciento noventa centistokes (150 cSt – 190 cSt).

En ningún caso se debe introducir en el mezclador el agregado caliente a una temperatura superior, en más de quince grados Celsius (15 °C), a la temperatura del asfalto. La temperatura de elaboración de la mezcla se debe fijar dentro del rango recomendado por el fabricante del cemento asfáltico modificado con polímeros.

El volumen de materiales en el mezclador no debe ser tan grande que sobrepase los extremos de las paletas, cuando estas se encuentren en posición vertical, siendo recomendable que no superen los dos tercios (2/3) de su altura. Todos los tamaños del agregado deben estar uniformemente distribuidos en la mezcla y sus partículas total y homogéneamente cubiertas de ligante. La temperatura de la mezcla recién elaborada no debe exceder de la fijada durante la definición de la fórmula de trabajo.

En caso de utilizar adiciones al ligante o a la mezcla, se debe cuidar su correcta dosificación y su distribución homogénea, así como la conservación de sus características iniciales durante el proceso de fabricación.

Se deben rechazar todas las mezclas heterogéneas, carbonizadas o sobrecalentadas, las mezclas con espuma, o las que presenten indicios de contaminación o humedad. En este último caso, se deben retirar los agregados de las correspondientes tolvas en caliente. También, se deben rechazar aquellas mezclas en las que la envuelta no sea perfecta.

452.4.7 Transporte de la mezcla

La mezcla se debe transportar a la obra en volquetas carpadas, hasta una hora del día en que las operaciones de extensión y compactación se puedan realizar correctamente con luz solar. Solo se debe permitir el trabajo en horas de la noche si, por instrucción del interventor, existe una iluminación artificial que permita la extensión y la compactación de manera adecuada.

Durante el transporte de la mezcla se deben tomar las precauciones necesarias para que al descargarla en el equipo de transferencia o en la máquina pavimentadora, su temperatura no sea inferior a la mínima que se determine como aceptable durante la fase de experimentación.

Antes de abordar cualquier vía pavimentada, se deben limpiar perfectamente las llantas de los vehículos destinados al transporte de la mezcla. Los vehículos de transporte de mezcla deben mantener al día los permisos de tránsito y ambientales requeridos y sus cargas por eje y totales se deben encontrar dentro de los límites fijados por la resolución vigente del Ministerio de Transporte.

452.4.8 Transferencia de la mezcla

Si el constructor dispone de una máquina para la transferencia de la mezcla asfáltica (*shuttle buggy*), la volqueta debe descargar

la mezcla en la tolva de almacenamiento de la máquina, cuyas bandas transportadoras se deben encargar de alimentar la pavimentadora, sin que esta sea tocada por las llantas de la volqueta, favoreciendo de esta manera la regularidad superficial.

452.4.9 Extensión de la mezcla

La mezcla recibida de la volqueta o de la máquina de transferencia debe ser extendida por la máquina pavimentadora, de modo que se cumplan los alineamientos, los anchos y los espesores señalados en los documentos del proyecto.

A menos que el interventor expida una instrucción en contrario, la extensión se debe realizar en franjas longitudinales y debe comenzar a partir del borde de la calzada en las zonas por pavimentar con sección bombeada, o en el lado inferior en las secciones peraltadas. Siempre que resulte posible, se deben evitar las juntas longitudinales realizando la extensión en ancho completo, trabajando si es necesario con dos (2) o más pavimentadoras ligeramente desfasadas. Si por razones prácticas de la obra ello no resulta posible, después de haber extendido y compactado una franja, se debe extender la siguiente mientras el borde de la anterior aún se encuentre caliente y en condiciones de ser compactado; en caso contrario, se debe ejecutar una junta longitudinal.

La pavimentadora se debe regular, de manera que la superficie de la capa extendida resulte lisa y uniforme, sin arrastres ni segregaciones, y con un espesor tal que, luego de compactada, se ajuste a la rasante y a la sección transversal indicada en los documentos del proyecto, con las tolerancias establecidas en la presente especificación. Por ningún motivo, se debe permitir el empleo de máquinas pavimentadoras que dejen marcas o depresiones en la superficie u otros defectos permanentes en ella.

Tampoco se debe permitir la segregación de la mezcla. Si ella ocurre, la extensión de la mezcla debe ser suspendida inmediatamente, hasta que su causa sea determinada y corregida. Toda área segregada que no sea corregida antes de la compactación, debe ser removida y reemplazada con material apropiado, a expensas del constructor.

La extensión de la mezcla se debe realizar con la mayor continuidad posible, ajustando la velocidad de la pavimentadora a la producción de la planta de fabricación, de manera que aquella sufra el menor número posible de detenciones.

En caso de trabajo intermitente, se debe comprobar que la temperatura de la mezcla que quede sin extender en la tolva o bajo la pavimentadora no baje de la especificada para el inicio de la compactación; de lo contrario, dicha mezcla se debe descartar y se debe ejecutar una junta transversal.

En los sitios en los que no resulte posible el empleo de máquinas pavimentadoras, la mezcla se puede extender a mano. La mezcla se debe descargar fuera de la zona que se vaya a pavimentar, y se debe distribuir en los lugares correspondientes por medio de palas y rastrillos calientes, en una capa uniforme y de espesor tal, que una vez compactada, se ajuste a los documentos del proyecto, con las tolerancias establecidas en la presente especificación.

452.4.10 Compactación de la mezcla

La compactación se debe realizar según el plan aprobado por el interventor como resultado de la fase de experimentación. Debe comenzar, una vez extendida la mezcla, a la temperatura más alta posible con que ella pueda soportar la carga a que se somete, sin que se produzcan agrietamientos o desplazamientos indebidos. El número de pasadas del rodillo liso sin vibración no debe ser menor de seis (6).

La compactación se debe realizar longitudinalmente de manera continua y sistemática. Debe empezar por los bordes y avanzar gradualmente hacia el centro, excepto en las curvas peraltadas, en donde el cilindrado debe avanzar del borde inferior al superior, paralelamente al eje de la vía y traslapando a cada paso en la forma aprobada por el interventor, hasta que la superficie total haya sido compactada. Si la extensión de la mezcla se ha realizado por franjas, al compactar una de ellas se debe ampliar la zona de compactación para que incluya al menos quince centímetros (15 cm) de la anterior.

Los rodillos deben llevar su rueda motriz del lado cercano a la pavimentadora, excepto en los casos que autorice el interventor, y sus cambios de dirección se deben hacer sobre la mezcla ya compactada. Los elementos de compactación deben estar siempre limpios y, si fuera preciso, húmedos. No se debe permitir, sin embargo, excesos de agua.

Se debe tener cuidado al compactar para no desplazar los bordes de la mezcla extendida; aquellos que forman los bordes exteriores del pavimento terminado, deben ser chaflanados ligeramente.

La compactación se debe realizar de manera continua durante la jornada de trabajo, y se debe complementar con el trabajo manual mínimo necesario para la corrección de todas las irregularidades que se puedan presentar.

Se debe verificar la temperatura de la mezcla al inicio y al final del proceso de compactación.

452.4.11 Juntas de trabajo

Si la construcción de juntas longitudinales es inevitable y al extender franjas contiguas, la extendida en primer lugar debe tener una temperatura inferior a la mínima aceptable para terminar el trabajo de pavimentación, según se haya determinado en la fase de experimentación, el borde de esta se debe cortar dejando al descubierto una superficie plana y vertical en todo su espesor, procediendo a continuación a aplicar una capa uniforme y ligera de riego de liga y luego a calentar la junta y extender la siguiente franja contra ella.

Las juntas transversales se deben compactar transversalmente, disponiendo los apoyos adecuados para los elementos de compactación. Las juntas transversales de franjas de extensión adyacentes se deben distanciar, cuando menos, en cinco metros (5 m).

452.4.12 Apertura al tránsito

Alcanzado el nivel de compactación exigido, el tramo pavimentado se puede abrir al tránsito tan pronto la capa alcance la temperatura ambiente.

452.4.13 Limitaciones en la ejecución

No se debe permitir la extensión y la compactación de la mezcla en momentos de lluvia, ni

cuando haya fundado temor que ella ocurra o cuando la temperatura ambiente a la sombra y la del pavimento sean inferiores a ocho grados Celsius (8 °C).

Los trabajos se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que resulte adecuado, y que cuente con la aprobación del interventor. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

452.4.14 Manejo ambiental

Al respecto, rige el artículo 106, Aspectos ambientales, así como todo lo que resulte aplicable del numeral 400.4.7 del artículo 400.

452.4.15 Reparaciones

Todos los defectos no advertidos durante la colocación y compactación, tales como protuberancias, juntas irregulares, depresiones, irregularidades de alineamiento y de nivel, deben ser corregidos por el constructor, sin costo adicional para INVÍAS, de acuerdo con las instrucciones del interventor. El constructor debe proporcionar trabajadores competentes, capaces de ejecutar a satisfacción el trabajo eventual de correcciones en todas las irregularidades del pavimento construido.

452.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

452.5.1 Controles

Rige lo que resulte aplicable del numeral 400.5.1 del artículo 400.

452.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

452.5.2.1 Calidad del ligante asfáltico

Los requisitos de calidad, controles y criterios de aceptación para el cemento asfáltico modificado con polímeros o adicionado con grano de caucho reciclado (asfalto-caucho) deben ser los establecidos en los artículos 414 y 413, respectivamente.

452.5.2.2 Calidad de los agregados pétreos y del llenante mineral

452.5.2.2.1 Aprobación inicial

De cada procedencia de los agregados pétreos y para cualquier volumen previsto, se deben tomar cuatro (4) muestras y a cada fracción de ellas se le deben realizar los ensayos que se encuentran indicados en la Tabla 452 — 1.

Así mismo, para cada procedencia del llenante mineral y para cualquier volumen previsto, se deben tomar dos (2) muestras y sobre ellas se debe determinar la densidad *bulk*, según la norma INV E-225.

Los resultados de estas pruebas deben satisfacer las exigencias indicadas en el numeral 452.2.1, so pena de rechazo de los materiales defectuosos.

452.5.2.2.2 Control de producción

Durante la etapa de producción, se deben examinar las descargas a los acopios y se debe ordenar el retiro de los agregados que, a simple vista, contengan tierra vegetal, presenten restos de materia orgánica, o tamaños superiores al máximo especificado. También, se debe ordenar acopiar por separado aquellos que presenten alguna anomalía de aspecto, tal como distinta coloración, segregación, partículas alargadas o aplanadas, y plasticidad, y se debe vigilar la altura de todos los acopios y el estado de sus elementos separadores.

Además, se deben efectuar las verificaciones de calidad indicadas en la Tabla 452 — 11 para los agregados grueso y fino, y en la Tabla 452 — 12 para el llenante mineral de aporte.

El interventor puede autorizar la reducción de la frecuencia de los ensayos a la mitad de lo indicado en las Tablas 452 — 11 y 452 — 12, siempre que considere que los materiales son suficientemente homogéneos o si en el control de recibo de la obra terminada hubiese aceptado sin objeción diez (10) lotes consecutivos.

En ningún caso se debe permitir el empleo de agregados minerales que no satisfagan los requisitos pertinentes del numeral 452.2.1. En la eventualidad de que alguna prueba dé lugar a un resultado no satisfactorio, se deben tomar dos (2) muestras adicionales del material y se debe repetir la prueba. Los resultados de ambos ensayos de comprobación deben ser satisfactorios o, de lo contrario, el interventor no debe autorizar la utilización del material al cual representen dichos ensayos.

Tabla 452 — 11. Ensayos de verificación sobre los agregados para mezclas discontinuas en caliente para capa de rodadura

Característica	Norma de ensayo INV	Frecuencia
Composición (F)		
Granulometría	E-213	1 por jornada
Dureza, agregado grueso (O)		
Desgaste en la máquina de Los Ángeles	E-218	1 por mes
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval	E-238	1 por mes
Evaluación de la resistencia a mecánica por el método del 10 % de finos	E-224	1 por mes
Coeficiente de pulimiento acelerado	E-232	Cuando cambie la procedencia de los agregados
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio	E-220	1 por mes
Limpieza, agregado grueso (F)		
Impurezas en agregado grueso	E-237	1 por semana

Característica	Norma de ensayo INV	Frecuencia
Limpieza, gradación combinada (F)		
Índice de Plasticidad	E-125 y E-126	1 por jornada
Equivalente de arena	E-133	1 por semana
Valor de azul de metileno	E-235	1 por semana
Geometría de las partículas, agregado grueso (F)		
Partículas planas y alargadas, relación 5:1	E-240	1 por semana
Caras fracturadas	E-227	1 por jornada
Geometría de las partículas, agregado fino (F)		
Angularidad de la fracción fina, método A	E-239	1 por jornada

Tabla 452 — 12. Ensayos de verificación sobre el llenante mineral de aporte para mezclas discontinuas en caliente para capa de rodadura

Característica	Norma de ensayo INV	Frecuencia
Granulometría	E-215	1 por suministro
Densidad *bulk*	E-225	1 vez a la semana y siempre que cambie la procedencia del llenante

452.5.2.3 Composición de la mezcla

A la salida del mezclador o del silo de almacenamiento, sobre cada vehículo de transporte, se debe controlar el aspecto de la mezcla y medir su temperatura. El interventor debe rechazar todas las mezclas segregadas, carbonizadas o sobrecalentadas, así como las mezclas con espuma, aquellas cuya envuelta no sea homogénea y las que presenten indicios de humedad o de contaminación por combustible. En este último caso y cuando la planta sea de tipo discontinuo, se deben retirar los agregados de las correspondientes tolvas en caliente.

Cuantitativamente, se deben realizar los siguientes controles:

452.5.2.3.1 Contenido de asfalto

Sobre tres (3) muestras de la mezcla elaborada correspondiente a un lote, definido como se indica en el numeral 452.5.2.5.1, se debe determinar el contenido de asfalto residual, según la norma de ensayo INV E-732 para el caso de asfalto modificado con polímeros, o la norma de ensayo INV E-729, para el caso de asfalto modificado con grano de caucho reciclado.

El porcentaje de asfalto residual promedio del lote (*ART* %) debe tener una tolerancia de cero coma tres por ciento (0,3 %), respecto del óptimo definido en la fórmula de trabajo (*ARF* %).

$$ARF\ \% - 0{,}3\% \leq ART\ \% \leq ARF\ \% + 0{,}3\ \%$$

[452.1]

A su vez, el contenido de asfalto residual de cada muestra individual (*ARI* %), no puede diferir del valor promedio (*ART* %) en más de cero coma cinco por ciento (0,5 %), admitiéndose un (1) solo valor fuera de ese intervalo.

$$ART\ \% - 0{,}5\ \% \leq ARI\ \% \leq ART\ \% + 0{,}5\ \%$$

[452.2]

Un porcentaje de asfalto residual promedio (*ART* %) fuera de tolerancia, así como un número mayor de muestras individuales por fuera de los límites implica el rechazo del lote salvo que, en el caso de exceso del ligante, el constructor demuestre que no van a existir problemas de comportamiento de la mezcla, ni de inseguridad para los usuarios.

En caso de rechazo, la capa de mezcla discontinua en caliente correspondiente al lote controlado, debe ser levantada mediante fresado y repuesta hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado es de propiedad del constructor.

452.5.2.3.2 Granulometría de los agregados

Sobre las muestras utilizadas para hallar el contenido de asfalto, se debe determinar la composición granulométrica de los agregados según la norma de ensayo INV E-782. La curva granulométrica de cada ensayo individual debe ser sensiblemente paralela a los límites de la franja adoptada, ajustándose a la fórmula de trabajo con las tolerancias que se indican en la Tabla 452 — 4, pero sin permitir que la curva se salga de la franja.

En caso de que los valores obtenidos excedan las tolerancias, pero no salgan de la franja, el constructor debe preparar en el laboratorio una mezcla con la gradación defectuosa y el porcentaje medio de asfalto de la mezcla elaborada con este agregado. Ella se debe someter a todas las pruebas de valoración descritas en el numeral 452.4.2 de la presente especificación. Si los requisitos allí indicados no se cumplen en su totalidad, se debe rechazar el lote. En este caso, la capa de mezcla discontinua en caliente correspondiente al lote controlado, debe ser levantada mediante fresado y repuesta hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado es de propiedad del constructor.

452.5.2.4 Calidad de la mezcla

452.5.2.4.1 Calidad de las mezclas tipo M

452.5.2.4.1.1 Vacíos con aire de probetas compactadas

Con un mínimo de dos (2) muestras por lote de la mezcla elaborada, se deben moldear probetas (tres (3) por muestra), a la temperatura apropiada, para el ensayo Cántabro (norma de ensayo INV E-760) y a ellas se les debe determinar previamente su gravedad específica *bulk* (normas de ensayo INV E-733 o INV E-802).

Se debe determinar también la gravedad específica máxima (G_{mm}) sobre una muestra representativa de la mezcla del lote, mediante las normas de ensayo INV E-735 o INV E-803.

Para cada una de las probetas se deben calcular los vacíos con aire, mediante la norma de ensayo INV E-736, a partir de su gravedad

específica *bulk* y de la gravedad específica máxima de la muestra representativa del lote. El valor promedio de los vacíos con aire de las seis (6) probetas no puede diferir en más de dos puntos porcentuales (± 2 %) del definido al establecer la fórmula de trabajo y, simultáneamente, debe ser mayor o igual que el límite que se establece en la Tabla 452 — 6, sin que ningún valor individual pueda ser inferior a diez por ciento (10 %).

El incumplimiento de alguna de estas exigencias implica el rechazo del lote representado por las muestras, sin que haya necesidad de determinar su resistencia al desgaste. En este caso, la capa de mezcla discontinua en caliente correspondiente al lote controlado, debe ser levantada mediante fresado y repuesta hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado es de propiedad del constructor.

452.5.2.4.1.2 Resistencia

Si el requisito sobre vacíos con aire se cumple, con tres (3) de las probetas se debe medir la pérdida por abrasión en seco y con las otras tres (3) se debe determinar la pérdida por abrasión luego de un período de inmersión en agua a sesenta grados Celsius (60 °C) durante veinticuatro horas (24 h).

Los valores promedio de pérdida de ambos grupos deben satisfacer los criterios establecidos en las Tablas 452 — 6 y 452 — 7. Ninguna de las probetas puede presentar una pérdida mayor en veinte por ciento (20 %) de la máxima admisible para cada grupo.

Si uno o ambos requisitos se incumplen, se debe rechazar el lote representado por estas muestras. En este caso, la capa de mezcla discontinua en caliente correspondiente al lote controlado, debe ser levantada mediante fresado y repuesta hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado es de propiedad del constructor.

452.5.2.4.2 Calidad de las mezclas tipo F

452.5.2.4.2.1 Vacíos con aire de probetas compactadas

Con un mínimo de dos (2) muestras por lote de la mezcla elaborada, se deben compactar probetas (dos (2) por muestra), a la temperatura apropiada, con cincuenta (50) golpes/cara, para verificar en el laboratorio su gravedad específica *bulk* (normas de ensayo INV E-733 o INV E-802) y su resistencia en el ensayo Marshall (norma de ensayo INV E-748).

Así mismo, sobre una muestra representativa de la mezcla del lote se debe determinar la gravedad específica máxima (G_{mm}), mediante las normas de ensayo INV E-735 o INV E-803.

Para cada una de las probetas se deben calcular los vacíos con aire mediante la norma de ensayo INV E-736, a partir de su gravedad específica *bulk* y de la gravedad específica máxima de la muestra representativa del lote. El valor promedio de los vacíos con aire de las cuatro (4) probetas debe ser mayor o igual que el límite que se establece en la Tabla 452 — 8, sin que ningún valor individual pueda ser menor de tres coma cinco por ciento (3,5 %).

El incumplimiento de alguna de estas exigencias implica el rechazo del lote representado por las muestras, sin que sea necesario hacer verificaciones de resistencia.

452.5.2.4.2.2 Estabilidad

Si el requisito sobre vacíos con aire se cumple, se debe determinar la estabilidad Marshall de las cuatro (4) probetas. El promedio de sus estabilidades (E_m) no puede ser menor que el valor obtenido al establecer la fórmula de trabajo (E_t).

$$E_m \geq E_t \quad [452.3]$$

Además, la estabilidad de cada probeta (E_i) debe ser igual o superior al noventa por ciento (90 %) del valor medio de estabilidad (E_m), admitiéndose solo un (1) valor individual bajo de ese límite, siempre y cuando no se encuentre por debajo del valor mínimo admisible establecido en la Tabla 452 — 8 del presente artículo.

$$E_i \geq 0{,}90 * E_m \quad [452.4]$$

El incumplimiento de al menos una de estas exigencias implica el rechazo del lote representado por las muestras. En este caso, la capa de mezcla discontinua en caliente correspondiente al lote controlado, debe ser levantada por el constructor mediante fresado y repuesta hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado es de propiedad del constructor.

452.5.2.4.3 Susceptibilidad a la humedad

Cada vez que el interventor lo considere conveniente, de acuerdo con el aspecto y comportamiento de la mezcla colocada, se debe verificar en el laboratorio la susceptibilidad de la mezcla compactada a la acción del agua, empleando el ensayo de tracción indirecta descrito en la norma de ensayo INV E-725.

Para tal efecto, se deben moldear seis (6) probetas con la mezcla que se está elaborando, tres (3) de las cuales se deben curar en seco y tres (3) bajo condición húmeda, para determinar así la resistencia promedio de cada grupo como lo establece la norma. La resistencia del grupo curado en húmedo debe ser, cuando menos, ochenta por ciento (80 %) de la resistencia del grupo curado en seco, para que se considere que la mezcla es resistente a la humedad.

El incumplimiento de este requisito debe implicar la realización del ensayo sobre núcleos tomados de los diferentes lotes cuya mezcla considere el interventor que puede presentar este problema (seis (6) núcleos por lote, tres (3) curados en seco y tres (3) bajo condición húmeda). Los lotes de material que no cumplan con el requisito deben ser rechazados. Además, los trabajos se deben suspender hasta que se estudien e implementen las medidas que garanticen el cumplimiento de este requisito, las cuales pueden comprender desde la incorporación de un aditivo hasta la definición de una nueva fórmula de trabajo y un nuevo diseño de la mezcla.

452.5.2.5 Calidad del producto terminado

452.5.2.5.1 Tamaño del lote

Se debe considerar como lote, que se acepta o rechaza en conjunto, la menor área construida que resulte de aplicar los siguientes criterios, para una sola capa de mezcla discontinua asfáltica en caliente:

- Quinientos metros (500 m) de mezcla discontinua en caliente colocada en todo el ancho de la calzada.

- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m^2) de mezcla discontinua en caliente colocada.
- La obra ejecutada en una jornada de trabajo.

452.5.2.5.2 Aspectos generales

La capa terminada debe presentar una superficie uniforme y ajustarse a las rasantes y pendientes establecidas. La distancia entre el eje del proyecto y el borde de la capa que se esté construyendo, excluyendo sus chaflanes, no puede ser menor que la señalada en los documentos del proyecto. La cota de cualquier punto de la mezcla discontinua en caliente, compactada, no debe variar en más de diez milímetros (10 mm) de la proyectada.

Además, se deben realizar las siguientes verificaciones.

452.5.2.5.3 Compactación

Las determinaciones de densidad de la capa compactada se deben realizar en una proporción de cuando menos cinco (5) por lote. Los sitios para las mediciones se deben elegir al azar, según la norma de ensayo INV E-730, pero de manera que se realice al menos una (1) prueba por hectómetro.

452.5.2.5.3.1 Mezclas tipo M

En el caso de las mezclas tipo M, el porcentaje promedio de vacíos con aire en la mezcla no puede variar en más de tres puntos porcentuales (± 3 %) del obtenido en la fórmula de trabajo. Simultáneamente, no más de tres (3) individuos de la muestra ensayada pueden presentar valores que difieran en más de cuatro puntos porcentuales (± 4 %) del obtenido en la fórmula.

El incumplimiento de alguno de estos requisitos implica el rechazo del lote por parte del interventor. En caso de rechazo, la capa de mezcla discontinua en caliente correspondiente al lote controlado, debe ser levantada mediante fresado y repuesta hasta ser aprobada por el interventor, todo ello a cargo y costa del constructor. El material fresado es de propiedad del constructor.

452.5.2.5.3.2 Mezclas tipo F

Para el control de la compactación de las mezclas discontinuas en caliente del tipo F, se debe calcular su grado de compactación a partir de los resultados de los ensayos de densidad en el terreno y de los ensayos de densidad en el laboratorio, mediante la siguiente expresión:

$$\left(GC_i\right) = \frac{D_i}{D_e} * 100 \quad [452.5]$$

Donde:

GC_i, valor individual del grado de compactación, en porcentaje.

D_i, valor individual de la densidad en el terreno, determinado por alguno de los métodos descritos en las normas de ensayo INV E-733, INV E-734, INV E-746, INV E-787 o INV E-802.

D_e, valor promedio de los valores de densidad *bulk* de las cuatro (4) o más probetas correspondientes al lote que se está evaluando, elaboradas en el laboratorio para la verificación de vacíos y estabilidad según el numeral 452.5.2.4.1.1.

Para el control de la compactación se deben aplicar los siguientes criterios:

GC_l (90) ≥ 97,0 % se acepta el lote [452.6]

GC_l (90) < 97,0 % se rechaza el lote [452.7]

Donde:

GC_l (90), límite inferior del intervalo de confianza en el que, con una probabilidad del noventa por ciento (90 %), se encuentra el valor promedio del grado de compactación del lote, en porcentaje; se calcula según el numeral 107.3.1.3 del artículo 107, Control y aceptación de los trabajos, a partir de los valores individuales del grado de compactación (GC_i).

La toma de muestras testigo se debe hacer de acuerdo con la norma INV E-758.

Solo se acepta la determinación de la densidad de la capa compactada por medio de densímetros nucleares (norma de ensayo INV E-746), si se garantiza, sin lugar a ninguna duda, que la medición del aparato abarca, única y exclusivamente, el espesor total de la capa que se está verificando.

En caso de rechazo, la capa de mezcla discontinua en caliente correspondiente al lote controlado, debe ser levantada mediante fresado y repuesta hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado es de propiedad del constructor.

452.5.2.5.4 Espesor

Sobre la base del lote escogido para el control de la compactación y en los mismos puntos de verificación, se debe determinar el espesor promedio de la capa compactada (e_m), el cual no puede ser inferior al espesor de diseño (e_d).

$$e_m \geq e_d \quad [452.8]$$

Además, el valor obtenido en cada determinación individual (e_i) debe ser, como mínimo, igual al noventa y ocho por ciento (98 %) del espesor de diseño.

$$e_i \geq 0{,}98 * e_d \quad [452.9]$$

El incumplimiento de alguno de estos requisitos implica el rechazo del lote por parte del interventor. En caso de rechazo, la capa de mezcla discontinua en caliente correspondiente al lote controlado, debe ser levantada mediante fresado y repuesta hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado es de propiedad del constructor.

452.5.2.5.5 Segregación térmica

En el caso de vías que presenten niveles de tránsito NT3, el constructor debe entregar al interventor un registro termográfico, tomado con cámara infrarroja o termográfica, de las temperaturas de extensión y compactación de toda la mezcla colocada, debidamente referenciado (norma INV E-788). Estos registros deben ser entregados al interventor a más tardar una semana después de la pavimentación del sector fotografiado y antes de la toma de núcleos para verificar la densidad.

Estas fotografías tienen dos usos:

- Durante la construcción, el interventor puede ordenar la toma de núcleos en los sitios donde las imágenes muestren la presencia de sitios de menor temperatura, para verificar el porcentaje de vacíos de la mezcla colocada.

- Al final de la obra, las imágenes se deben incluir en el informe final de interventoría y sirven a INVÍAS como antecedente técnico si se presentan deterioros del pavimento durante el periodo de garantía, como consecuencia de la segregación térmica durante la construcción de las capas asfálticas.

452.5.2.5.6 Planicidad

La superficie acabada no puede presentar zonas de acumulación de agua, ni irregularidades mayores de diez milímetros (10 mm) cuando se compruebe con una regla de tres metros (3 m), según la norma de ensayo INV E-793; la regla se debe colocar tanto paralela como perpendicularmente al eje de la vía, en los sitios que escoja al azar el interventor, los cuales no pueden estar afectados por cambios de pendiente. Las zonas que presenten deficiencias de este tipo deben ser fresadas y repuestas por el constructor, sin costo adicional para INVÍAS, y hasta ser aprobadas por el interventor. El material fresado es de propiedad del constructor.

Si la capa de apoyo no corresponde al mismo contrato, la verificación de la planicidad solo se aplica si su superficie cumple los criterios de planicidad mencionados en el párrafo anterior.

452.5.2.5.7 Textura

Las medidas de textura se deben realizar a los pocos días de terminada la capa, empleando el método descrito en la norma de ensayo INV E-791.

El número mínimo de puntos por controlar por lote es de tres (3), que se deben ampliar a cinco (5) si la textura obtenida en uno (1) de los tres (3) primeros es inferior a la especificada. Dichos puntos se eligen al azar, de acuerdo con la norma INV E-730.

La profundidad media de textura del lote no puede ser menor al mínimo admisible que corresponda en la Tabla 452 — 13, sin que ningún valor individual sea inferior en más de veinte por ciento (20 %) al promedio mínimo exigido y sin que existan áreas con evidencias indudables de segregación.

Si este requisito no se cumple, la capa de mezcla discontinua en caliente correspondiente al lote controlado, debe ser levantada mediante fresado y repuesta hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS, el material fresado queda como propiedad del constructor. Alternativamente y a opción del constructor, y si no existen problemas de gálibo o de sobrecargas estructurales, este puede colocar una capa adicional de una mezcla del mismo tipo, sin costo adicional para INVÍAS, del mismo espesor compacto que la anterior, cumpliendo todos los requisitos de calidad de esta especificación. El riego de liga que se deba colocar para adherir las capas debe ejecutarlo con una emulsión modificada con polímeros, en acuerdo al artículo 421, también sin costo adicional para INVÍAS.

Tabla 452 — 13. Profundidad de textura y resistencia al deslizamiento mínimas admisibles para mezclas discontinuas en caliente para capa de rodadura

Característica	Norma de ensayo INV	Tipo de mezcla	
		M	F
Profundidad media de textura, mínimo (mm).	E-791	1,5	1,1
Coeficiente de resistencia al deslizamiento, Mínimo (CRD): - NT3: glorietas; curvas con radios menores de 200 metros; pendientes ≥ 5 % en longitudes de 100 metros o más; intersecciones; zonas de frenado frecuente	E-792	60	60
- NT3: otras secciones y NT2		55	60

452.5.2.5.8 Resistencia al deslizamiento

Una vez transcurridos, como mínimo, treinta días (30 d) de la puesta en servicio de la capa de mezcla discontinua en caliente, se deben hacer las determinaciones de la resistencia al deslizamiento.

Debido a que este parámetro se encuentra relacionado directamente con la seguridad de los usuarios, los puntos para su determinación en cada lote no se deben elegir al azar, sino que deben ser ubicados por el interventor en los lugares que considere más sensibles al deslizamiento vehicular en condición de superficie húmeda.

Las medidas se deben realizar con el péndulo británico, de acuerdo con la norma de ensayo INV E-792, en tres (3) puntos por lote en zonas en tangente y en uno (1) por cada curva horizontal y por cada zona singular (glorieta, intersección, zona de frenado, etc.) incluida dentro del lote, y ninguna de ellas puede presentar un valor inferior al límite indicado en la Tabla 452 — 13, de acuerdo con el tipo de mezcla. En caso de que se presenten valores menores, el interventor debe realizar medidas adicionales para delimitar perfectamente el área deficiente, la cual debe ser corregida por el constructor, a su costa, bajo los mismos criterios exigidos en el inciso precedente para remediar los incumplimientos en cuanto a textura.

La resistencia al deslizamiento se puede verificar también con dispositivos de rueda parcialmente bloqueada (norma INV E-815). En tal caso, la especificación particular debe indicar el equipo autorizado, así como los valores mínimos por alcanzar, los cuales deben ser, cuando menos, equivalentes a los señalados en la Tabla 452 — 13 para el péndulo británico.

452.5.2.5.9 Regularidad superficial

Debido a su escaso espesor, las mezclas discontinuas en caliente no pueden corregir defectos asociados con la falta de regularidad del perfil longitudinal de la calzada. Por tal razón, no se debe permitir la colocación de la mezcla en obra, hasta tanto no se garantice que la superficie de la capa sobre la cual se va a construir cumpla los requisitos que se exigen sobre el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en el artículo 450, Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (Concreto asfáltico).

Todas las áreas de mezcla discontinua en caliente colocada y compactada, donde los defectos de calidad y terminación excedan las tolerancias de esta especificación, deben ser corregidas por el constructor, sin costo adicional para INVÍAS, de acuerdo con las instrucciones del interventor y hasta ser aprobadas por este.

452.5.2.5.10 Medidas de deflexión

El interventor debe verificar la homogeneidad de la estructura construida al nivel de la capa de mezcla discontinua en caliente para capa de rodadura, realizando medidas de deflexión con alguno de los dispositivos presentados en la norma de ensayo INV E-797, de acuerdo con el procedimiento normal aplicable a este. Los resultados de las medidas, que se deben realizar en tresbolillo cada veinte metros (20 m), no deben constituir base para aceptación o rechazo de la capa construida, sino que pueden servir a INVÍAS para verificar la homogeneidad de la estructura que se construye y realizar los ajustes que pudieran resultar necesarios para el diseño estructural del pavimento.

En todo caso, se recomienda en la medida de lo posible que no se emplee la Viga Benkelman para las mediciones de las deflexiones de la capa, especialmente en niveles de tránsito altos como el NT3.

452.6 Medida

Rige lo pertinente del numeral 400.6 del artículo 400 y, en particular, lo indicado en el numeral 400.6.2.

452.7 Forma de pago

Rige lo pertinente del numeral 400.7 del artículo 400, y en particular lo indicado en el numeral 400.7.3.

Se excluye del precio unitario de mezcla discontinua en caliente, el suministro del cemento asfáltico modificado con polímeros o del cemento asfáltico adicionado con grano de caucho reciclado (asfalto-caucho) para la mezcla, que se debe pagar de acuerdo con los artículos 414 y 413, respectivamente.

452.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
452.1	Mezcla discontinua en caliente tipo M-13	Metro cúbico (m^3)
452.2	Mezcla discontinua en caliente tipo M-10	Metro cúbico (m^3)
452.3	Mezcla discontinua en caliente tipo F-13	Metro cúbico (m^3)
452.4	Mezcla discontinua en caliente tipo F-10	Metro cúbico (m^3)

Mezcla drenante

Artículo 453 – 22

453.1 Descripción

Este trabajo consiste en la elaboración, el transporte, la colocación y la compactación de una capa de mezcla asfáltica de tipo drenante, preparada y colocada en caliente, de acuerdo con esta especificación y de conformidad con los alineamientos, las cotas, las secciones y los espesores indicados en los documentos del proyecto.

453.2 Materiales

453.2.1 Agregados pétreos y llenante mineral

453.2.1.1 Requisitos generales

Los requisitos que se exigen en esta sección son de tipo prescriptivo, para evaluar la calidad de los materiales que componen la mezcla asfáltica. En caso de no cumplirse alguno(s) de ellos, la aceptación o rechazo respectivos deben ser evaluados según las premisas de desempeño indicadas en el diseño, y según sean las condiciones de las fuentes locales. La aprobación debe ser sustentada mediante un informe técnico detallado, desarrollado por el especialista en pavimentos y/o geotecnia, donde se consigne cuál debe ser el desempeño y la durabilidad, proponiendo las estrategias necesarias para garantizar el cumplimiento del diseño. El interventor debe aprobar o rechazar los materiales en función de los requisitos establecidos en esta sección y en los establecidos en el informe de desempeño del especialista.

Los agregados pétreos y el llenante mineral deben satisfacer los requisitos del numeral 400.2.1 del artículo 400. Adicionalmente, deben cumplir con los requisitos de calidad de la Tabla 453 — 1.

Tabla 453 — 1. Requisitos de los agregados para mezcla drenante

Característica	Norma de ensayo	NT2 y NT3
Dureza, agregado grueso (O)		
Desgaste en la máquina de Los Ángeles, máximo (%). (Nota 1): - 500 revoluciones - 100 revoluciones	INV E-218	 25 5
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%).	INV E-238	20

Característica	Norma de ensayo	NT2 y NT3
Dureza, agregado grueso (O)		
Resistencia mecánica por el método del 10 % de finos: - Valor en seco, mínimo (kN) - Relación húmedo/seco, mínimo (%)	INV E-224	 110 75
Coeficiente de pulimiento acelerado, mínimo.	INV E-232	50
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de sodio, máximo (%).	INV E-220	18
Análisis petrográfico		
Cuantifica los porcentajes relativos de los diferentes minerales y las tipologías de rocas que componen el agregado (Nota 2).	ASTM C295	Reportar para NT3
Limpieza, agregado grueso (F)		
Impurezas en agregado grueso, máximo (%).	INV E-237	0.5
Limpieza, gradación combinada (F)		
Índice de Plasticidad, máximo (%).	INV E-125 e INV E-126	NP
Equivalente de arena, mínimo (%).	INV E-133	50
Valor de azul de metileno, máximo (Nota 2).	INV E-235	10
Geometría de las partículas, agregado grueso (O)		
Partículas planas y alargadas, relación 5:1, máximo (%).	INV E-240	10
Caras fracturadas, mínimo (%): dos caras.	INV E-227	100
Adhesividad (O)		
Agregado grueso: cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos en presencia del agua hirviendo, mínimo (%).	INV E-757	Reportar
Agregado fino: adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos (método Riedel-Weber), índice mínimo.	INV E-774	Reportar

Nota 1: se aceptan valores superiores siempre y cuando el valor de Micro-Deval se cumpla.

Nota 2: este ensayo es aplicable únicamente para tránsito NT3. El informe debe cuantificar los porcentajes relativos de los diferentes minerales y las tipologías de rocas que componen el agregado, debe incluir advertencia sobre la presencia de minerales contaminantes, deletéreos, con posibles reactividades químicas, inestables o susceptibles a cambios volumétricos. Debe indicar el grado de meteorización o de alteración del agregado, y la porosidad. También debe incluir valores de acidez y carga de partícula con un concepto sobre la adherencia con el asfalto y las emulsiones.

453.2.1.2 Agregado fino

El agregado fino debe proceder en su totalidad de la trituración de roca de cantera o de grava natural, o parcialmente de fuentes naturales de arena. La proporción de arena natural no puede exceder los valores indicados en la Tabla 453 — 2.

El material que se triture para obtener el agregado fino debe cumplir con los requisitos de dureza y durabilidad establecidos para el agregado grueso en la Tabla 453 — 1.

Tabla 453 — 2. Proporción máxima de arena natural en el agregado

Característica	NT2	NT3
Proporción de arena natural: porcentaje (%) de la masa total del agregado combinado.	≤ 10	0
Proporción de arena natural: porcentaje (%) de la masa total del agregado fino.	≤ 50	0

453.2.1.3 Llenante mineral

El llenante mineral puede provenir de los procesos de trituración y clasificación de los agregados pétreos, separándose de ellos por medio de los ciclones de la planta mezcladora, o puede ser de aporte como producto comercial, generalmente cal hidratada (ver requisitos en la NTC 4019) o cemento hidráulico (ver requisitos en el numeral 501.2.1 del artículo 501). La proporción de llenante mineral y los requisitos para el mismo deben cumplir con lo mencionado en la Tabla 453 — 3.

Tabla 453 — 3. Proporción y requisitos del llenante mineral

Característica	Norma de ensayo INV	NT2	NT3
Proporción de llenante mineral de aporte: (porcentaje (%) en masa del llenante total).	-	100	
Granulometría del llenante mineral de aporte: - % que pasa tamiz de 1,18 mm (nro. 16) - % que pasa tamiz de 0,600 mm (nro. 30) - % que pasa tamiz de 0,150 mm (nro. 100) - % que pasa tamiz de 0,075 mm (nro. 200)	E -215	 100 97 — 100 95 — 100 70 — 100	
Densidad *bulk* (g/cm^3).	E-225	0,5 – 0,8	
Vacíos del llenante seco compactado (%).	E-229	≥ 38	

453.2.1.4 Granulometría

El conjunto de agregado grueso, agregado fino y llenante mineral se debe ajustar a la gradación indicada en la Tabla 453 — 4.

Tabla 453 — 4. Franja granulométrica para mezcla drenante

Tipo de mezcla	Tamiz (mm / U.S. *Standard*)						
	19,0	12,5	9,5	4,75	2,00	0,425	0,075
	3/4 Pulgada	1/2 Pulgada	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 10	Nro. 40	Nro. 200
	Pasa tamiz (%)						
Única	100	70 — 100	50 — 75	15 — 32	9 — 20	5 — 12	3 — 7
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	4 %			3 %			1 %

Para prevenir segregaciones y garantizar los niveles de compactación y resistencia exigidos por la presente especificación, el material que produzca el constructor debe dar lugar a una curva granulométrica sensiblemente paralela a los límites de la franja, sin saltos bruscos de la parte superior de un tamiz a la inferior del tamiz adyacente y viceversa.

453.2.2 Material bituminoso

El material bituminoso para elaborar la mezcla drenante debe ser cemento asfáltico modificado con polímeros, que corresponda a los tipos CAM-4, CAM-3 y/o CAM-2 del artículo 414. El tipo por utilizar debe ser el indicado en los documentos del proyecto.

453.2.3 Aditivos mejoradores de adherencia entre los agregados y el asfalto

Cuando se requieran, deben cumplir los requisitos del artículo 412. La dosificación y la dispersión homogénea del aditivo deben tener la aprobación del interventor.

El constructor debe garantizar que su incorporación no va a producir ningún efecto nocivo a los agregados, al ligante asfáltico o a la mezcla. Cualquier efecto adverso en el comportamiento del pavimento, que se derive del empleo del aditivo, debe ser de responsabilidad exclusiva del constructor, quien debe efectuar todas las reparaciones que requiera la mezcla compactada, de acuerdo con las instrucciones del interventor y hasta ser aprobada por este.

453.2.4 Productos y tecnologías para modificar la reología o mitigar el escurrimiento

Se permite el uso de fibras, o cualquier otra tecnología o modificador de las propiedades del concreto asfáltico siempre y cuando se presenten informes técnicos que determinen su dosificación y se muestre evidencia de un comportamiento favorable en campo. Dichos informes deben ilustrar las mejoras obtenidas en el desempeño o en los procesos productivos, o en los procesos constructivos, o en la durabilidad o en las prestaciones mecánicas, al ser comparadas la mezcla modificada respecto a la mezcla patrón sin incorporación de dichos productos. El uso de dichos productos o tecnologías debe ser además respaldado con las respectivas fichas técnicas y hojas

de seguridad del fabricante, y, además contar con la aprobación del interventor.

453.3 Equipo

Al respecto, se aplica lo que resulte pertinente del numeral 400.3 del artículo 400. En relación con el detalle del equipo necesario para la ejecución de los trabajos, adicionalmente se debe tener en cuenta lo que se indica a continuación.

Para la compactación se deben utilizar compactadores de rodillos metálicos, estáticos o vibratorios. El equipo de compactación debe ser aprobado por el interventor, a la vista de los resultados obtenidos en la fase de experimentación.

453.4 Ejecución de los trabajos

453.4.1 Explotación de materiales y elaboración de agregados

Rige lo establecido en el numeral 105.13.3 del artículo 105, Desarrollo de los trabajos.

453.4.2 Obtención de la fórmula de trabajo

Rige todo lo que resulte aplicable del numeral 400.4.2 del artículo 400.

Las mezclas drenantes se deben diseñar a partir de probetas cilíndricas tipo Marshall, confeccionadas como se describe en la norma de ensayo INV E-760. Las temperaturas de mezcla y compactación dependen de las características del ligante bituminoso que se emplee y se deben definir en cada caso particular durante la etapa de diseño. La temperatura de elaboración de la mezcla debe ser tal, que se obtenga una adecuada envuelta del agregado, sin que se produzcan escurrimientos del ligante.

El contenido óptimo de material bituminoso en la mezcla se debe elegir de manera que se cumplan los siguientes criterios:

- Los vacíos con aire de la mezcla compactada, medidos como se indica en la norma de ensayo INV E-736, no deben ser inferiores a veinte por ciento (20 %), ni mayores de veinticinco por ciento (25 %).
- Para asegurar que los vacíos con aire están debidamente interconectados, se debe realizar una prueba de permeabilidad. La capacidad de drenaje se mide colocando cien mililitros (100 mL) de agua en un molde que contenga la probeta prehumedecida. El tiempo que tarde el agua en atravesar la muestra no debe exceder de quince segundos (15 s).
- Las pérdidas por desgaste a veinticinco grados Celsius (25 °C), determinadas de acuerdo con el procedimiento descrito en la norma INV E-760, no deben ser superiores a veinticinco por ciento (25 %).
- La dosificación del material bituminoso no puede ser inferior a cuatro coma cinco por ciento (4,5 %), respecto de la masa seca de los agregados, incluido el llenante mineral.
- Se debe comprobar, además, la adhesividad entre el agregado y el ligante, caracterizando la mezcla en presencia de agua. Al efecto, la pérdida por abrasión en el ensayo Cántabro, según la norma de ensayo INV E-760, tras ser sometidas las probetas a un proceso de inmersión en agua durante veinticuatro horas (24 h) a sesenta grados Celsius (60 °C), no puede exceder de cuarenta por ciento (40 %). Si se supera este valor, se debe mejorar la adhesividad

mediante un aditivo mejorador de adherencia apropiado.

La fórmula de trabajo establecida en el laboratorio se puede ajustar con los resultados de las pruebas realizadas durante la fase de experimentación. Igualmente, si durante la ejecución de las obras varía la procedencia de alguno de los componentes de la mezcla o se rebasan, de manera frecuente, las tolerancias granulométricas establecidas en el presente artículo, se requiere el estudio de una nueva fórmula de trabajo.

453.4.3 Preparación de la superficie existente

No se debe permitir la colocación de la mezcla drenante mientras el interventor no compruebe que la capa sobre la cual se va a colocar es estructuralmente sana y que su superficie es impermeable y presenta una sección transversal apropiada.

Las áreas de la superficie existente donde se formen charcos en instantes de lluvia, requieren una capa de mezcla densa de nivelación antes de que se permita la extensión de la mezcla drenante.

No se debe permitir la colocación de mezclas drenantes directamente sobre superficies fresadas.

La extensión de la mezcla drenante requiere la aplicación de un riego previo de liga, empleando una emulsión asfáltica modificada con polímeros, el cual se debe realizar conforme lo establece el artículo 421.

Antes de aplicar la mezcla, se debe verificar que haya ocurrido el curado del riego de liga previo y no deben quedar restos de fluidificante ni de agua en la superficie. Si hubiera transcurrido mucho tiempo desde la aplicación del riego, se debe comprobar que su capacidad de liga con la mezcla no se haya mermado en forma perjudicial; si ello ha sucedido, el constructor debe efectuar un riego de liga adicional, en la cuantía que fije el interventor. Si la pérdida de efectividad del riego anterior es imputable al constructor, el nuevo riego debe realizarlo sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS).

Las excavaciones para bacheo, así como las operaciones de relleno con los materiales adecuados para restablecer la rasante de apoyo, se deben ejecutar de acuerdo con las indicaciones del artículo 465 para la excavación y de los artículos que correspondan a los materiales empleados en su relleno.

453.4.4 Fase de experimentación

Rige lo indicado en el numeral 400.4.3 del artículo 400. Las temperaturas de extensión y de compactación tienen especial importancia en el comportamiento de estas mezclas, razón por la cual se debe tener especial cuidado en su definición durante la fase de experimentación.

Así mismo, se debe analizar la correspondencia entre el contenido de vacíos con aire de la mezcla compactada y la permeabilidad de la capa, medida según la norma de ensayo INV E-796.

453.4.5 Aprovisionamiento de los agregados

Los agregados se deben suministrar fraccionados y se deben manejar separados

hasta su introducción en las tolvas en frío. El número de fracciones debe ser tal, que sea posible, con la instalación que se utilice, cumplir las tolerancias exigidas en la granulometría de la mezcla. Cada fracción debe ser suficientemente homogénea y se debe poder acopiar y manejar sin peligro de segregación, observando las precauciones que se detallan a continuación. En el caso de plantas asfálticas del tipo tambor secador-mezclador no se permite, por ningún motivo, realizar una predosificación de las fracciones de agregados pétreos antes de su vertimiento a las tolvas de agregados en frío.

Cada fracción del agregado se debe acopiar separada de las demás, para evitar intercontaminaciones. Si los acopios se disponen sobre el terreno natural, no se deben utilizar los quince centímetros (15 cm) inferiores de los mismos. Los acopios se deben construir por capas de espesor no superior a uno coma cinco metros (1,5 m), y no por montones cónicos. Las cargas del material se deben colocar adyacentes, tomando las medidas oportunas para evitar su segregación.

Cuando se detecten anomalías en el suministro, los agregados se deben acopiar por separado, hasta confirmar su aceptabilidad. Esta misma medida se debe aplicar cuando se autorice el cambio de procedencia de un agregado.

453.4.6 Fabricación de la mezcla asfáltica

La carga de las tolvas en frío se debe realizar de forma que estas contengan entre el cincuenta y el cien por ciento (50 % — 100 %) de su capacidad, sin rebosar. En las operaciones de carga se deben tomar las precauciones necesarias para evitar segregaciones o contaminaciones.

Las aberturas de salida de las tolvas en frío se deben regular en forma tal, que la mezcla de todos los agregados se ajuste a la fórmula de trabajo de la alimentación en frío. El caudal total de esta mezcla en frío se debe regular, de acuerdo con la producción prevista y se debe mantener constante la alimentación del secador.

Los agregados se deben calentar antes de su mezcla con el asfalto. El secador se debe regular de forma que la combustión sea completa, indicada por la ausencia de humo negro en el escape de la chimenea. Siempre que se presenten síntomas de avería en el sistema de combustión, si la combustión es incompleta o si se advierte alguna contaminación por combustible en los agregados pétreos o en la mezcla, se debe detener la producción hasta que se identifiquen y corrijan las causas del problema. Si el polvo mineral recogido en los colectores cumple las condiciones exigidas al llenante y su utilización está prevista, se puede introducir en la mezcla; en caso contrario, se debe eliminar. El tiro de aire en el secador se debe regular de forma adecuada, para que la cantidad y la granulometría del llenante recuperado sean uniformes. La dosificación del llenante de recuperación y/o el de aporte se debe hacer de manera independiente de los agregados y entre sí.

En las plantas de tipo discontinuo, se debe comprobar que la unidad clasificadora en caliente proporcione a las tolvas en caliente agregados homogéneos; en caso contrario, se deben tomar las medidas necesarias para corregir la heterogeneidad.

Los agregados preparados como se ha indicado anteriormente, y eventualmente el llenante mineral seco, se deben pesar o medir exactamente y se deben transportar al mezclador, en las proporciones determinadas en la fórmula de trabajo.

Después de haber introducido en el mezclador los agregados y el llenante, se debe agregar automáticamente el material bituminoso calculado para cada bachada, el cual se debe encontrar a la temperatura adecuada, y se debe continuar la operación de mezcla durante el tiempo especificado.

En ningún caso se debe introducir en el mezclador el agregado caliente a una temperatura superior, en más de quince grados Celsius (15 °C), a la temperatura del asfalto.

En el momento de la mezcla, la temperatura del asfalto debe ser tal, que se consiga la envuelta perfecta de los agregados, sin que se produzcan escurrimientos del ligante. El volumen de materiales en el mezclador no debe ser tan grande que sobrepase los extremos de las paletas, cuando estas se encuentren en posición vertical es recomendable que no superen los dos tercios (2/3) de su altura. Todos los tamaños del agregado deben estar distribuidos uniformemente en la mezcla y sus partículas total y homogéneamente cubiertas de ligante. La temperatura de la mezcla recién elaborada no debe exceder de la fijada durante la definición de la fórmula de trabajo.

En caso de utilizar adiciones al ligante o a la mezcla, se debe cuidar su correcta dosificación y su distribución homogénea, así como la conservación de sus características iniciales durante el proceso de fabricación.

Se deben rechazar todas las mezclas heterogéneas, carbonizadas o sobrecalentadas, las mezclas con espuma, o las que presenten indicios de contaminación o de humedad. En este último caso, se deben retirar los agregados de las correspondientes tolvas en caliente de las plantas de tipo discontinuo. También, se deben rechazar aquellas mezclas en las que la envuelta no sea perfecta.

453.4.7 Transporte de la mezcla

La mezcla se debe transportar a la obra en volquetas carpadas, hasta una hora del día en que las operaciones de extensión y compactación se puedan realizar correctamente con luz solar. Solo se debe permitir el trabajo en horas de la noche si, por instrucción del interventor, existe una iluminación artificial que permita la extensión y la compactación de manera adecuada.

Durante el transporte de la mezcla se deben tomar las precauciones necesarias para que al descargarla en el equipo de transferencia o en la máquina pavimentadora, su temperatura no sea inferior a la mínima que se determine como aceptable durante la fase de experimentación.

Antes de abordar cualquier vía pavimentada, se deben limpiar perfectamente las llantas de los vehículos destinados al transporte de la mezcla. Los vehículos de transporte de mezcla deben mantener al día los permisos de tránsito y ambientales requeridos y sus cargas por eje y totales se deben encontrar dentro de los límites fijados por la resolución vigente del Ministerio de Transporte.

453.4.8 Transferencia de la mezcla

Si el constructor dispone de una máquina para la transferencia de la mezcla asfáltica (*shuttle buggy*), la volqueta debe descargar la mezcla en la tolva de almacenamiento de la máquina, cuyas bandas transportadoras se deben encargar de alimentar la pavimentadora, sin que esta sea tocada por las llantas de la volqueta, para favorecer de esta manera la regularidad superficial.

453.4.9 Extensión de la mezcla

La mezcla recibida de la volqueta o de la máquina de transferencia debe ser extendida con máquinas pavimentadoras, de modo que se cumplan los alineamientos, los anchos y los espesores señalados en los documentos del proyecto.

A menos que el interventor expida una instrucción en contrario, la extensión se debe realizar en franjas longitudinales y debe comenzar a partir del borde de la calzada en las zonas por pavimentar con sección bombeada, o en el lado inferior en las secciones peraltadas. Siempre que resulte posible, se deben evitar las juntas longitudinales realizando la extensión en ancho completo, y trabajar, si es necesario, con dos (2) o más pavimentadoras ligeramente desfasadas. Si por razones prácticas de la obra ello no resulta posible, se debe trabajar de manera que las juntas longitudinales coincidan con una limatesa del pavimento.

La pavimentadora se debe regular de manera que la superficie de la capa extendida resulte lisa y uniforme, sin arrastres ni segregaciones, y con un espesor tal, que luego de compactada, se ajuste a la rasante y sección transversal indicadas en los documentos del proyecto, con las tolerancias establecidas en la presente especificación. Por ningún motivo se debe permitir el empleo de máquinas pavimentadoras que dejen marcas o depresiones en la superficie u otros defectos permanentes en ella.

Tampoco se debe permitir la segregación de la mezcla. Si ella ocurre, su extensión se debe suspender inmediatamente, hasta que su causa sea determinada y corregida. Toda área segregada o con irregularidades que no sea corregida antes de la compactación, debe ser removida y reemplazada con material apropiado, a expensas del constructor.

La colocación de la mezcla se debe realizar con la mayor continuidad posible, ajustando la velocidad de la pavimentadora a la producción de la planta asfáltica, de manera que aquella sufra el menor número de detenciones.

En caso de trabajo intermitente, se debe comprobar que la temperatura de la mezcla que quede sin extender en la tolva o bajo la pavimentadora no baje de la especificada para el inicio de la compactación; de lo contrario, se debe ejecutar una junta transversal.

En los sitios en los que no resulte posible el empleo de máquinas pavimentadoras, la mezcla se puede extender a mano. La mezcla se debe descargar fuera de la zona que se vaya a pavimentar, y se debe distribuir en los lugares correspondientes por medio de palas y rastrillos calientes, en una capa uniforme y de espesor tal, que una vez compactada, se ajuste a los documentos del proyecto, con las tolerancias establecidas en la presente especificación.

453.4.10 Compactación de la mezcla

La compactación se debe realizar según el plan aprobado por el interventor, como resultado de la fase de experimentación. Debe comenzar, una vez extendida la mezcla, a la temperatura más alta posible con que ella pueda soportar la carga a que se somete, sin que se produzcan desplazamientos indebidos.

La compactación se debe realizar longitudinalmente, de manera continua y sistemática. Debe empezar por los bordes y avanzar gradualmente hacia el centro, excepto en las curvas peraltadas en donde el cilindrado avanza del borde inferior al superior, paralelamente al eje de la vía y traslapando a cada paso en la forma aprobada por el interventor, hasta que la superficie total haya sido compactada. Si la extensión de la mezcla se ha realizado por franjas, al compactar una de ellas se debe ampliar la zona de compactación para que incluya al menos quince centímetros (15 cm) de la anterior.

Los rodillos deben llevar su rueda motriz del lado cercano a la pavimentadora, excepto en los casos que autorice el interventor, y sus cambios de dirección se deben hacer sobre la mezcla ya compactada. Los elementos de compactación deben estar siempre limpios y, si fuera preciso, húmedos. No se deben permitir, sin embargo, excesos de agua.

Las mezclas drenantes requieren un menor esfuerzo de compactación que las mezclas densas. El número de pasadas debe ser el establecido durante la fase de experimentación y debe ser lo suficientemente bajo para prevenir excesos de compactación que reduzcan el volumen de aire en la mezcla. Igualmente, las temperaturas requeridas para la compactación también son menores, pero se debe tener cuidado de terminar el proceso con prontitud debido a que, por el limitado espesor de la capa y su elevado contenido de vacíos, la mezcla pierde temperatura rápidamente.

La compactación se debe realizar de manera continua durante la jornada de trabajo y se debe complementar con el trabajo manual necesario para la corrección de todas las irregularidades que se puedan presentar. Sin embargo, las correcciones mediante procedimientos manuales se deben evitar al máximo, a causa de la aspereza de la mezcla.

La temperatura de la mezcla se debe verificar al comienzo y al final del proceso de compactación.

453.4.11 Juntas de trabajo

Las juntas de trabajo de las mezclas drenantes deben permitir siempre el libre flujo de agua, a través de la capa compactada. Si la construcción de juntas longitudinales es inevitable, al extender franjas contiguas no suele ser necesario el corte de la junta si ella no se produce en una limatesa del pavimento. Por ningún motivo se debe permitir la aplicación de un riego de liga sobre la superficie de contacto entre las dos (2) franjas.

Las juntas transversales en la capa de rodadura drenante se deben construir en forma diagonal, con el punto más avanzado en la parte más alta de la franja que se compacta, de tal forma que, si la junta forma una barrera, la pendiente permita la salida del agua hacia el exterior. La compactación de estas juntas se debe realizar en sentido transversal, dis-

poniendo los apoyos adecuados para los elementos de compactación.

453.4.12 Apertura al tránsito

Alcanzado el nivel de compactación exigido, el tramo pavimentado se puede abrir al tránsito, tan pronto la capa alcance la temperatura ambiente en todo su espesor.

453.4.13 Limitaciones en la ejecución

No se debe permitir la extensión y la compactación de la mezcla en momentos de lluvia, ni cuando haya fundado temor que ella ocurra o cuando la temperatura ambiente a la sombra y la del pavimento sean inferiores a ocho grados Celsius (8 °C).

Los trabajos de construcción de la mezcla drenante se deben efectuar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que resulte adecuado, y que cuente con la aprobación del interventor. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, y que opere únicamente en las horas de luz solar.

453.4.14 Manejo ambiental

Al respecto, rige el artículo 106, Aspectos ambientales, así como todo lo que resulte aplicable del numeral 400.4.7 del artículo 400.

453.4.15 Reparaciones

Todos los defectos no advertidos durante la colocación y la compactación, tales como protuberancias, juntas irregulares, depresiones, irregularidades de alineamiento y de nivel, deben ser corregidos por el constructor, sin costo adicional para INVÍAS, de acuerdo con las instrucciones del interventor. El constructor debe proporcionar trabajadores competentes, capaces de ejecutar a satisfacción el trabajo eventual de correcciones en todas las irregularidades del pavimento construido.

453.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

453.5.1 Controles

Rige lo que resulte aplicable del numeral 400.5.1 del artículo 400.

453.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

453.5.2.1 Calidad del ligante asfáltico

Los requisitos de calidad, controles y criterios de aceptación para el cemento asfáltico modificado con polímeros deben ser los establecidos en el artículo 414.

453.5.2.2 Calidad de los agregados pétreos y del llenante mineral

453.5.2.2.1 Aprobación inicial

De cada procedencia de los agregados pétreos y para cualquier volumen previsto, se deben tomar cuatro (4) muestras y a cada fracción de ellas se le deben realizar los

ensayos que se encuentran indicados en la Tabla 453 — 1.

Así mismo, para cada procedencia del llenante mineral y para cualquier volumen previsto, se deben tomar dos (2) muestras y sobre ellas se debe determinar la densidad aparente, según la norma INV E-225. Los resultados de estas pruebas deben satisfacer las exigencias indicadas en el numeral 453.2.1, so pena de rechazo de los materiales defectuosos.

453.5.2.2.2 Control de producción

Durante la etapa de producción, se deben examinar las descargas a los acopios y se debe ordenar el retiro de los agregados que, a simple vista, contengan tierra vegetal, presenten restos de materia orgánica, o tamaños superiores al máximo especificado. También, se debe ordenar acopiar por separado aquellos que presenten alguna anomalía de aspecto, tal como distinta coloración, segregación, partículas alargadas o aplanadas, y plasticidad, y se debe vigilar la altura de todos los acopios y el estado de sus elementos separadores.

Además, se deben efectuar las verificaciones de calidad indicadas en la Tabla 453 — 5 para los agregados grueso y fino, y en la Tabla 453 — 6 para el llenante mineral de aporte.

Tabla 453 — 5. Ensayos de verificación sobre los agregados para las mezclas drenantes

Característica	Norma de ensayo INV	Frecuencia
Composición (F)		
Granulometría	E-213	1 por jornada
Dureza, agregado grueso (O)		
Desgaste en la máquina de Los Ángeles	E-218	1 por mes
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval	E-238	1 por mes
Resistencia mecánica por el método del 10% de finos	E-224	1 por mes
Coeficiente de pulimiento acelerado	E-232	Cuando cambie la procedencia de los agregados
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio	E-220	1 por mes
Limpieza, agregado grueso (F)		
Impurezas en agregado grueso	E-237	1 por semana
Limpieza, gradación combinada (F)		
Índice de Plasticidad	E-125 y E-126	1 por jornada
Equivalente de arena	E-133	1 por semana
Valor de azul de metileno	E-235	1 por semana

Característica	Norma de ensayo INV	Frecuencia
Geometría de las partículas, agregado grueso (F)		
Partículas planas y alargadas, relación 5:1	E-240	1 por semana
Caras fracturadas	E-227	1 por jornada
Geometría de las partículas, agregado fino (F)		
Angularidad de la fracción fina, método A	E-239	1 por jornada
Adhesividad, gradación combinada (O)		
Resistencia conservada en tracción indirecta	E-725	80

Tabla 453 — 6. Ensayos de verificación sobre el llenante mineral de aporte para las mezclas drenantes

Característica	Norma de ensayo inv	Frecuencia
Granulometría	E-215	1 por suministro
Densidad *bulk*	E-225	1 vez a la semana y siempre que cambie la procedencia del llenante

El interventor puede autorizar la reducción de la frecuencia de los ensayos a la mitad de lo indicado en las Tablas 453 — 5 y 453 — 6, siempre que considere que los materiales son suficientemente homogéneos o si en el control de recibo de la obra terminada hubiese aceptado sin objeción diez (10) lotes consecutivos.

En ningún caso se debe permitir el empleo de agregados minerales que no satisfagan los requisitos pertinentes del numeral 453.2.1. En la eventualidad de que alguna prueba dé lugar a un resultado no satisfactorio, se deben tomar dos (2) muestras adicionales del material y se debe repetir la prueba. Los resultados de ambos ensayos de comprobación deben ser satisfactorios o, de lo contrario, el interventor no debe autorizar la utilización del material al cual representen dichos ensayos.

453.5.2.3 Composición de la mezcla

A la salida del mezclador o del silo de almacenamiento, sobre cada vehículo de transporte, se debe controlar el aspecto de la mezcla y se debe medir su temperatura. El interventor debe rechazar todas las mezclas segregadas, carbonizadas o sobrecalentadas, así como las mezclas con espuma, aquellas cuya envuelta no sea homogénea y las que presenten indicios de humedad o de contaminación por combustible. En este último caso y cuando la planta sea de tipo discontinuo, se deben retirar los agregados de las correspondientes tolvas en caliente.

Cuantitativamente, se deben realizar los siguientes controles:

453.5.2.3.1 Contenido de asfalto

Sobre tres (3) muestras de la mezcla elaborada correspondiente a un (1) lote, definido como se indica en el numeral 453.5.2.5.1, se debe determinar el contenido de asfalto residual (norma de ensayo INV E-732).

El porcentaje de asfalto residual promedio del lote (*ART* %) debe tener una tolerancia de

cero coma tres por ciento (0,3 %), respecto del óptimo definido en la fórmula de trabajo (*ARF* %).

$$ARF\ \% - 0{,}3\ \% \leq ART\ \% \leq ARF\ \% + 0{,}3\ \%$$

[453.1]

A su vez, el contenido de asfalto residual de cada muestra individual (*ARI* %), no puede diferir del valor promedio (*ART* %) en más de cero coma cinco por ciento (0,5 %), admitiéndose un (1) solo valor fuera de ese intervalo.

$$ART\ \% - 0{,}5\ \% \leq ARI\ \% \leq ART\ \% + 0{,}5\ \%$$

[453.2]

Un porcentaje de asfalto residual promedio (*ART* %) fuera de tolerancia, así como un número mayor de muestras individuales por fuera de los límites implica el rechazo del lote salvo que, en el caso de exceso del ligante, el constructor demuestre que no van a existir problemas de comportamiento de la mezcla, ni de inseguridad para los usuarios.

En caso de rechazo, la capa de mezcla drenante correspondiente al lote controlado se debe retirar preferiblemente mediante fresado, y ser repuesta por otra de calidad satisfactoria hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material retirado por rechazo es de propiedad del constructor.

453.5.2.3.2 Granulometría de los agregados

Sobre las muestras utilizadas para hallar el contenido de asfalto, se debe determinar la composición granulométrica de los agregados.

La curva granulométrica de cada ensayo individual debe ser sensiblemente paralela a los límites de la franja adoptada, se debe ajustar a la fórmula de trabajo con las tolerancias que se indican en la Tabla 453 — 4, pero sin permitir que la curva se salga de la franja.

En el caso de que los valores obtenidos excedan las tolerancias, pero no salgan de la franja, el constructor debe preparar en el laboratorio una mezcla con la gradación defectuosa y el porcentaje medio de asfalto de la mezcla elaborada con este agregado. Ella se debe someter a las pruebas de valoración descritas en el numeral 453.4.2. Si todos los requisitos allí indicados se cumplen, se debe aceptar el lote. En caso contrario, se debe rechazar.

En caso de rechazo, la capa de mezcla drenante correspondiente al lote controlado se debe retirar preferiblemente mediante fresado, y ser repuesta por otra de calidad satisfactoria hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material retirado por rechazo es de propiedad del constructor.

453.5.2.4 Calidad de la mezcla

453.5.2.4.1 Resistencia

Con un mínimo de dos (2) muestras por lote de la mezcla elaborada, se deben moldear probetas (tres (3) por muestra), para el ensayo Cántabro (norma de ensayo INV E-760) y a ellas se les debe determinar su gravedad específica *bulk* (norma de ensayo INV E-802) para el cálculo de vacíos con aire.

Con tres (3) de las probetas se debe medir la pérdida por abrasión en seco y con las otras tres (3) se debe determinar la pérdida por abrasión luego de un período de inmersión en

agua a sesenta grados Celsius (60 °C) durante veinticuatro horas (24 h).

Los valores promedio de pérdida de ambos grupos deben satisfacer los criterios descritos en el numeral 453.4.2. Ninguna de las probetas puede presentar una pérdida mayor en veinte por ciento (20 %) de la máxima admisible para cada grupo.

El incumplimiento de alguna de estas exigencias acarrea el rechazo del lote representado por las muestras. En este caso, la capa de mezcla drenante correspondiente al lote controlado se debe retirar preferiblemente mediante fresado, y ser repuesta por otra de calidad satisfactoria hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material retirado por rechazo es de propiedad del constructor.

453.5.2.4.2 Vacíos con aire

Se debe determinar la gravedad específica máxima (G_{mm}) sobre una muestra representativa de la mezcla del lote, mediante las normas de ensayo INV E-735 o INV E-803.

Para cada una de las probetas moldeadas según el numeral anterior, se deben calcular los vacíos con aire mediante la norma de ensayo INV E-736, a partir de su gravedad específica *bulk* y de la gravedad específica máxima de la muestra representativa del lote. El valor promedio de los vacíos con aire de las seis (6) probetas no puede diferir en más de dos puntos porcentuales (± 2 %) del definido al establecer la fórmula de trabajo y, simultáneamente, se debe encontrar en el rango que se establece en el numeral 453.4.2, sin que ningún valor individual se pueda salir de este en más de tres puntos porcentuales (± 3 %).

El incumplimiento de alguna de estas exigencias implica el rechazo del lote representado por las muestras. En este caso, la capa de mezcla drenante correspondiente al lote controlado se debe retirar preferiblemente mediante fresado, y ser repuesta por otra de calidad satisfactoria hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material retirado por rechazo es de propiedad del constructor.

453.5.2.5 Calidad del producto terminado

453.5.2.5.1 Tamaño del lote

Se debe considerar como lote, que se acepta o rechaza en conjunto, la menor área construida que resulte de aplicar los siguientes criterios:

- Quinientos metros (500 m) de mezcla drenante colocada en todo el ancho de la calzada.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m^2) de mezcla drenante colocada.
- La obra ejecutada en una jornada de trabajo.

453.5.2.5.2 Aspectos generales

La capa terminada debe presentar una superficie uniforme y ajustarse a las rasantes y pendientes establecidas. La distancia entre el eje del proyecto y el borde de la capa que se esté construyendo, excluyendo sus chaflanes, no puede ser menor que la señalada en los documentos del proyecto. La cota de cualquier punto de la mezcla drenante compactada, no debe variar en más de diez milímetros (10 mm) de la proyectada.

Además, se deben hacer las siguientes verificaciones.

453.5.2.5.3 Compactación

Las verificaciones de la compactación de la capa se deben realizar en una proporción de cuando menos cinco (5) por lote. Los sitios para las mediciones se deben elegir al azar, de acuerdo con la norma de ensayo INV E-730, pero de manera que se realice al menos una (1) prueba por hectómetro. El porcentaje promedio de vacíos con aire en la mezcla no puede variar en más de tres puntos porcentuales (± 3 %) del obtenido en la fórmula de trabajo y, simultáneamente, se debe encontrar en el rango que se establece en el numeral 453.4.2. Además, no más de tres (3) individuos del lote ensayado pueden presentar valores que difieran en más de cuatro puntos porcentuales (± 4 %) del obtenido al establecer la fórmula de trabajo.

El incumplimiento de alguno de estos requisitos implica el rechazo del lote por parte del interventor. En caso de rechazo, la capa de mezcla drenante correspondiente al lote controlado se debe retirar preferiblemente mediante fresado, y ser repuesta por otra de calidad satisfactoria hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material retirado por rechazo es de propiedad del constructor.

453.5.2.5.4 Espesor

Sobre la base del lote escogido para el control de la compactación y en los mismos puntos de verificación, se debe determinar el espesor promedio de la capa compactada (e_m), el cual no puede ser inferior al espesor de diseño (e_d).

$$e_m \geq e_d \quad [453.3]$$

Además, el valor obtenido en cada determinación individual (e_i) debe ser, como mínimo, igual al noventa y ocho por ciento (98 %) del espesor de diseño.

$$e_i \geq 0{,}98 * e_d \quad [453.4]$$

El incumplimiento de alguno de estos requisitos implica el rechazo del lote por parte del interventor. En este caso, la capa de mezcla drenante correspondiente al lote controlado se debe retirar preferiblemente mediante fresado, y ser repuesta por otra de calidad satisfactoria hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material retirado por rechazo es de propiedad del constructor.

453.5.2.5.5 Planicidad

La superficie acabada no puede presentar irregularidades mayores de diez milímetros (10 mm) cuando se compruebe con una regla de tres metros (3 m), según la norma de ensayo INV E-793; la regla se debe colocar tanto paralela como perpendicularmente al eje de la vía, en los sitios que escoja al azar el interventor, los cuales no pueden estar afectados por cambios de pendiente. Las zonas que presenten deficiencias de este tipo deben ser fresadas y repuestas por el constructor, sin costo adicional para INVÍAS, y hasta ser aprobada por el interventor. El material fresado es de propiedad del constructor.

453.5.2.5.6 Textura

Las medidas de textura se deben realizar a los pocos días de terminada la capa, empleando el método descrito en la norma de ensayo INV E-791.

El número mínimo de puntos que se deben controlar por lote es de tres (3), que se deben

ampliar a cinco (5), si la textura obtenida en uno (1) de los tres (3) primeros es inferior a la especificada. Dichos puntos se deben elegir al azar, de acuerdo con la norma INV E-730. Después de diez (10) lotes consecutivos aceptados, el interventor puede reducir la frecuencia de los ensayos.

La profundidad promedio de textura del lote no puede ser menor de uno coma cinco milímetros (1,5 mm), sin que ningún valor individual sea inferior en más de veinte por ciento (20 %) al promedio mínimo exigido.

El incumplimiento de al menos uno de estos requisitos implica el rechazo del lote representado por los ensayos. En tal caso, se debe remover la capa drenante correspondiente al lote y colocar una nueva capa drenante del mismo espesor, por cuenta del constructor, hasta ser aprobada por el interventor y sin costo alguno para INVÍAS. El material removido es de propiedad del constructor.

453.5.2.5.7 Resistencia al deslizamiento

Una vez transcurrido, como mínimo treinta días (30 d) de la puesta en servicio de la capa de mezcla drenante, se deben hacer las determinaciones de la resistencia al deslizamiento.

Debido a que este parámetro se encuentra relacionado directamente con la seguridad de los usuarios, los puntos para su determinación no se deben elegir al azar, sino que deben ser ubicados por el interventor en los lugares que considere más sensibles al deslizamiento vehicular en condición de superficie húmeda.

Las medidas se deben realizar con el péndulo británico, de acuerdo con la norma de ensayo INV E-792, en tres (3) puntos por lote en zonas en tangente y en uno (1) por cada curva horizontal y por cada zona singular (glorieta, intersección, zona de frenado, etc.) incluida dentro del lote, y ninguna de ellas puede presentar un valor inferior al límite indicado en la Tabla 453 — 7.

Tabla 453 — 7. Valores mínimos admisibles del coeficiente de resistencia al deslizamiento con el péndulo británico

Zona de la carretera	Coeficiente de resistencia al deslizamiento, mínimo
Zonas de tangente	55
Otras zonas	60

La resistencia al deslizamiento se puede verificar también con dispositivos de rueda parcialmente bloqueada (norma INV E-815). En tal caso, en la especificación particular se debe indicar el equipo autorizado, así como los valores mínimos por alcanzar, los cuales deben ser, cuando menos, equivalentes a los señalados en la Tabla 453 — 7 para el péndulo británico.

En caso de que se presenten valores menores, el interventor debe adelantar medidas adicionales para delimitar perfectamente el área deficiente, la cual debe ser corregida por el constructor, sin costo adicional para INVÍAS, bajo el mismo criterio exigido en el inciso precedente para remediar los incumplimientos en cuanto a textura.

453.5.2.5.8 Regularidad superficial (rugosidad)

El Índice de Rugosidad Internacional (IRI) se debe comprobar de manera continua en toda la longitud de la obra y en cada carril, antes del recibo definitivo de la misma. Para los efectos de aceptación del pavimento terminado, el presente artículo establece que la determinación del IRI se debe realizar, únicamente, con procedimientos de medida de precisión o con equipos de referencia inercial.

Las medidas de precisión se pueden adelantar con mira y nivel, de acuerdo con el procedimiento indicado en la norma INV E-794 o con un perfilómetro pivotante de alta precisión, norma INV E-814.

Si se opta por el equipo de referencia inercial, este se debe validar previamente con uno de precisión en un tramo de prueba de longitud no menor de doscientos metros (200 m). El equipo de referencia inercial se debe operar de acuerdo con la norma ASTM E950.

Para efectos de la evaluación con fines de recibo, las medidas se deben hacer en cada uno de los carriles del pavimento construido y los valores del IRI se deben presentar en metro por kilómetro (m/km), en tramos consecutivos de cien metros (100 m) por carril, con la excepción que se cita en el párrafo siguiente. Un conjunto de cinco (5) tramos constituye un lote.

No debe haber exigencia sobre el cumplimiento de regularidad superficial en tramos que incluyan singularidades, entendiendo por tales todas aquellas alteraciones del perfil longitudinal de la carretera que incrementen el IRI y no provengan de deficiencias constructivas, como pueden ser intersecciones con otras vías, puentes, pozos de inspección, reductores de velocidad, etc., los cuales deben ser definidos por el interventor, con su ubicación respectiva (carril y abscisa), antes de proceder a la determinación del IRI.

Se entiende que la superficie del pavimento tiene una regularidad superficial aceptable, si a lo largo de la longitud evaluada en cada carril se satisfacen los valores indicados en la Tabla 453 — 8.

Si los resultados de IRI exceden los límites especificados en la Tabla 453 — 8, toda la longitud del lote debe ser fresada y repuesta en el mismo espesor. El fresado, el traslado y la disposición del material demolido y la reconstrucción de la capa, con la calidad exigida por el presente artículo, deben ser a expensas del constructor. El material demolido es de propiedad del constructor. Este, a su vez, no puede invocar las reconstrucciones motivadas por deficiencias en la regularidad superficial, como causas justificativas del incumplimiento en el programa de trabajo.

Tabla 453 — 8. Valores máximos admisibles de IRI (m/km), para tránsitos NT2 y NT3

Porcentaje (%) de hectómetros	Pavimentos de construcción nueva y rehabilitados en espesor ≥ 100 mm	Pavimentos rehabilitados en espesor < 100 mm
40	1,4	1,9
80	2,0	2,5
100	2,5	3,0

453.5.2.5.9 Segregación térmica

En el caso de vías que presenten niveles de tránsito NT3, el constructor debe entregar al interventor un registro termográfico, tomado con cámara infrarroja o termográfica, de las temperaturas de extensión y compactación de toda la mezcla colocada, debidamente referenciado (norma INV E-788).

Estas fotografías, que deben ser incluidas en el informe final de interventoría, sirven a INVÍAS como antecedente técnico si se presentan deterioros de la capa de mezcla drenante durante el período de garantía, como consecuencia de la segregación térmica durante la construcción.

Todas las áreas de mezcla drenante colocada y compactada, donde los defectos de calidad y terminación excedan las tolerancias de esta especificación, deben ser corregidas por el constructor, sin costo adicional para INVÍAS, de acuerdo con las instrucciones del interventor y hasta ser aprobadas por este.

453.6 Medida

Rige lo descrito en el numeral 400.6 del artículo 400 y, en particular, lo indicado en el numeral 400.6.2.

453.7 Forma de pago

Rige lo descrito en el numeral 400.7 del artículo 400, y en particular, lo indicado en el numeral 400.7.3.

Se excluye del precio unitario el suministro del cemento asfáltico modificado con polímeros para la mezcla, el cual se debe pagar de acuerdo con el artículo 414.

453.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
453.1	Mezcla drenante	Metro cúbico (m^3)

Mezclas asfálticas prefabricadas almacenadas para parcheo de pavimentos asfálticos

Artículo 457-22

457.1 Descripción

Este trabajo consiste en el suministro, transporte e instalación de mezclas asfálticas prefabricadas producidas en caliente y de aplicación en frío para instalar a temperatura ambiente, almacenadas en bolsas o a granel para la ejecución de parcheo con espesores menores a cien milímetros (100 mm) y reparaciones en la atención de redes de servicios públicos en pavimentos asfálticos, en los sitios indicados en los planos del proyecto o definidos de acuerdo con la necesidad del proyecto.

Para la instalación de mezclas asfálticas prefabricadas, deben atenderse previamente actividades de limpieza de la superficie, cargue, transporte, descargue y disposición de los materiales excavados. Actividades para las que aplican las indicaciones dadas por la especificación 465, Excavación para reparación para pavimento asfáltico existente.

La aplicación de las mezclas asfálticas prefabricadas almacenadas definidas en esta especificación, se limita a actividades de parcheo puntual en pavimentos flexibles de corta duración en áreas donde no presenten problemas en su estructura, no son aplicables en zonas con deformaciones plásticas, o en áreas donde se evidencia fisuración alrededor del área a intervenir. Ni en áreas con evidencia de saturación o concentración de humedades. La mezcla se debe aplicar sobre una superficie previamente acondicionada, limpia, compacta e imprimada encontrándose en buenas condiciones la base granular y capas inferiores. Los documentos del proyecto deben definir el tipo de mezcla asfáltica prefabricada que se ha de emplear.

457.2 Materiales

Todos los materiales necesarios para la ejecución de las obras deben ser suministradas por el proveedor y verificados por el constructor de acuerdo con lo estipulado en las especificaciones.

Los agregados pétreos y el llenante mineral deben cumplir los requisitos generales del numeral 400.2.1 del artículo 400, Disposiciones generales para la ejecución de riegos de imprimación, liga y curado, tratamientos superficiales, sellos de arena-asfalto, lechadas asfálticas, mezclas asfálticas en frío y en caliente y reciclado de pavimentos asfálticos del Instituto Nacional de Vías (INVIAS), adicionalmente deben cumplir los requisitos específicos de la Tabla 457 – 1.

Tabla 457-1 Requisitos de los agregados para mezcla asfáltica prefabricada almacenada para parcheo de pavimentos asfálticos

Características	Norma de ensayo	Nivel de trásito		
		NT1	NT2	NT3
Dureza, agregado grueso (O)				
Desgaste en la máquina de los Ángeles, máximo (%). - Capa de: rodadura	INV E-218	25	25	25

Características	Norma de ensayo	Nivel de trásito		
		NT1	NT2	NT3
Degradación por abrasión en el quipo Micro-Deval, Máximo (%) - Capa de: rodadura	INV E-238	-	25	25
Resistencia mecánica por el método de 10% finos, capa de: rodadura - Valor en seco, mínimo (KN) - Relación húmedo/seco, mínimo (%)	INV E-224	-	-	110 75
Coeficiente de pulimiento acelerado para rodadura, mínimo.	INV E-232	0,45	0,45	0,45
Durabilidad (O)				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio, agregados fino grueso, máximo (%).	INV E-220	18	18	18
Análisis petrográfico				
Cuantifica los porcentajes relativos de los diferentes minerales y las tipologías de rocas que componen el agregado.	ASTM D295	-	-	Reportar
Limpieza, agregado grueso (F)				
Impurezas en agregados gruesos, máximo (%)	INV E-237	0,5	0,5	0,5
Limpieza, gradación combinada (F)				
Índice de Plasticidad, máximo (%)	INV E-125e INV E-125	NP	NP	NP
Equivalente de arena, mínimo (%). (Nota 1)	INV E-133	50	50	50
Valor de azul de metileno, máximo. (Nota 1)	INV E-235	10	10	10
Geometría de las partículas, agregado grueso (F)				
Partículas planas y alargadas relación 5:1, máximo (%)	INV E-240	10	10	10
Caras fracturadas, mínimo (%): - Una cara: rodadura - Dos caras: rodadura	INV E-239	75 -	75 60	85 70
Geometría de las partículas, agregado fino (F) (Nota2)				
Angularidad de la fracción fina, método A, mínimo (%): - Capa de rodadura	INV E-239	40	45	45
Adhesividad (O)				
Agregado grueso: cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos en presencia del agua hirviendo (%)	INV E-757	Reportar		

Nota 1: El equivalente de arena debe ser el del agregado finalmente obtenido mediante la combinación de las distintas fracciones (incluido el llenante mineral), según las proporciones determinadas en la fórmula de trabajo. En caso de no cumplir el valor mínimo señalado en la tabla, el agregado se acepta si su equivalente de arena es superior a cuarenta por ciento (40%) y, simultáneamente, el valor de azul de metileno, determinado mediante la norma de ensayo INV E- 235, es inferior a diez (10).

457.2.1 Mezclas asfálticas prefabricadas almacenadas

En la Tabla 457 – 2 se relacionan las mezclas asfálticas prefabricada almacenadas, en función del tipo de granulometría.

Tabla 457-2 Tipo de mezclas asfálticasprefabricadas almacenadas para parcheo de pavimento asfálticos

Tipo	Denominación
Mezclas asfálticas prefabricadas almacenadas para parcheo de pavimentos asfálticos.	MP-25
	MP-19
	MP-12

457.2.1.1 Agregados: Grueso, fino y llenante mineral

Rige lo que aplique referido a los agregados: grueso, fino y llenante mineral de los numerales 440.2.1.2 Agregado grueso, 440.2.1.3 Agregado fino y 440.2.1.4 Llenante mineral del artículo 440.

Las proporciones de agregado grueso, fino y llenante mineral se fija con las especificaciones particulares del proyecto.

457.2.2 Granulometría

La granulometría del agregado obtenido mediante la combinación de las distintas fracciones, incluido el llenante mineral cuando aplique, debe estar comprendida dentro de alguna de las franjas fijadas en la Tabla 457-3.

El análisis granulométrico se debe efectuar, de acuerdo con la norma de ensayo INV E-213.

Tabla 457-3 Franjas granulométricas para mezclas asfálticas prefabricadas almacenadas para parcheo de pavimento asfálticos

Tipo de mezcla	Tipo de gradación	Tamiz (mm / U.S. Standard)										
		25,0	19,0	12,5	9,5	4,75	2,0	2,36	0,425	0,3	0,180	0,075
		1 pulgada	¾ pulgada	1/2 pulgada	3/8 pulgada	nro. 4	nro.8	nro.10	nro.40	nro.50	nro.80	nro.200
		Paza tamíz (%)										
Abierta	MP-25	100	70-95	-	20-45	0 -20	0-10	-	-	-	-	0-2
	MP-19	-	100	70-95	-	10-30	0-10	-	-	-	-	0-2
	MP-12	-	-	100	100-90	80-55	-	40-20	20-8	-	15-3	5-0
	Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	4% (±)					3% (±)					1% (±)

El material que produzca el proveedor debe dar lugar a una curva granulométrica uniforme, sensiblemente paralela a los límites de la franja por utilizar, sin saltos bruscos de la parte superior de un tamiz a la inferior del tamiz adyacente y viceversa, previniendo así segregaciones, garantizando los niveles de compactación y resistencia exigidos por la presente especificación.

El tipo de gradación por utilizar debe estar en función del tipo de capa de rodadura donde se tiene proyectado realizar el parcheo y el espesor compacto. Esto se define en los documentos del proyecto, siguiendo los criterios de la Tabla 457-4.

Tabla 457-4 Tipo de gradación en función del tipo de capa de rodadura y espesor compacto de capa

Tipo de gradación	Tipo de capa	Espesor de capas de compactación (mm)
MP-25	RODADURA	50 - 100
MP-19		40 -75
MP-12		50

457.2.3 Material bituminoso

El material bituminoso para elaborar las mezclas asfálticas objeto de la presente especificación debe cumplir con los requisitos de calidad establecidos en los artículos: 410, Suministro de cemento asfáltico, artículo 414, Suministro de cemento asfáltico modificado con polímeros. Se debe identificar en conjunto con el interventor el tipo de capa donde se va a ejecutar el parcheo, condición de operación de la carretera y condiciones climáticas. Cumpliendo a cabalidad con los requisitos técnicos establecidos en el proyecto.

457.2.4 Aditivos mejoradores de adherencia

Los aditivos mejoradores de adherencia se deben ajustar a lo descrito en el artículo 412.

El mejorador de adherencia seleccionado previamente en los documentos del proyecto o aprobado por el interventor, debe garantizar el grado de afinidad requerido entre el par asfalto-agregado, según el tipo de mezcla asfáltica a utilizar, ser compatible con los aditivos incorporados y con los posibles agentes hidrófugos requeridos, permitiendo conservar la mezcla desde su fabricación, almacenamiento y su instalación en estado frío.

El producto para utilizar como mejorador de adherencia debe estar debidamente justificado mediante ensayos de laboratorio, y respaldado por los certificados de calidad, la ficha técnica del fabricante, la hoja de seguridad (según la NTC 4435 u otra que la sustituya), las condiciones de almacenamiento, la dosificación, la forma de uso, fechas de la elaboración y del vencimiento.

457.3 Equipo

El constructor debe disponer de los equipos y herramientas necesarios que sean compatibles con los procedimientos de construcción adoptados, requieren la aprobación previa del interventor, garantizando el cumplimiento del programa y la exigencia de calidad de la ejecución de los trabajos.

En relación con el equipo, rige lo que resulte aplicable del numeral 400.3 del artículo 400.

457.4 Ejecución de los trabajos

457.4.1 Explotación de materiales y elaboración de agregados

Rige lo establecido en el numeral 105.13.3 del artículo 105, Desarrollo de los trabajos.

457.4.2 Diseño de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo

457.4.2.1 Generalidades

Rige lo aplicable del numeral 400.4.2 del artículo 400.

457.4.2.2 Diseño de la mezcla

La fórmula de trabajo debe tener la aprobación del interventor una vez se ha realizado las verificaciones correspondientes en la fase de experimentación. Se debe tener en cuenta lo aplicable al diseño de la mezcla de esta especificación según los apéndices:

- 400.4 Ejecución de trabajos. 400.4.2 Fórmula de trabajo para mezclas asfálticas, tratamientos superficiales y lechadas del artículo 400.
- 450.4.2 Diseño de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo.

Las mezclas asfálticas objeto del presente artículo, por ser fabricadas en caliente, se deben diseñar por el método Marshall, de acuerdo con la norma de ensayo INV E-748.

Nota: El proveedor de la mezcla, debe indicar en su ficha técnica de producto si requiere de acondicionamiento previo en el curado de la mezcla antes de la compactación, este procedimiento debe ser verificado y aprobado por el interventor, cada vez que el diseño queda a cargo del constructor de acuerdo con los parámetros establecidos en las especificaciones particulares del proyecto.

Los criterios de diseño se establecen en la Tabla 457-5. Para el análisis volumétrico de la muestra se deben utilizar los criterios y procedimientos establecidos en la norma de ensayo INV E-799.

En la fórmula de trabajo se debe indicar cuánto tiempo puede permanecer la mezcla en condiciones de almacenamiento antes de proceder con su instalación.

457.4.2.3 Criterios de control de la mezcla

La mezcla debe cumplir con los requisitos de criterio de diseño de mezcla preliminar Tabla 457-5.

Tabla 457-5 Criterios de control de las mezclas asfálticas prefabricadas almacenadas para parcheo de pavimentos asfálticos

Ensayo	Norma de ensayo	Espesor de capas de compactación (mm)		
		NT1	NT2	NT3
Compactación, golpes/cara	INV E - 748	50	75	75
Estabilidad mínima (N)		5 000	7 500	9 000
Flujo, mm		2,0 – 4,0	2,0 – 4,0	2,0 – 4,0
Relación estabilidad /Flujo (KN/mm)		2,0 – 5,0	3,0 – 5,0	3,0 – 6,0
Vacíos con aire, %	INV E - 736 INV E - 799	3,0 – 5,0	5,0 – 8,0	7,0 – 10,0
Relación llenante / ligante efectivo, en peso	INV E - 799	Reportar		

La verificación de los parámetros del comportamiento de la mezcla asfáltica fabricada en caliente aplicada en frío utilizada para parcheo debe cumplir con el Nivel 1 de comportamiento referido a: Compactación: Marshall + sensibilidad al agua. En tanto el constructor debe reportar el nivel de comportamiento de la mezcla asfáltica del proyecto de acuerdo con la Tabla 457-6.

Tabla 457-6 Verificación de parámetros de comportamiento de la mezcla asfáltica prefabricadas almacenadas para parcheo de pavimentos asfálticos

Ensayo	Norma de ensayo	Criterio	Condiciones recomendadas del ensayo	Unidades	Valor	Aplicabilidad obligatoria
Susceptibilidad al agua	INV E - 725	Resistencia retenida	25°C, condición seca y húmeda	%	≥80	Mezcla de diseño

Si la mezcla no cumple el requisito de resistencia retenida, se debe incrementar su adhesividad hasta que cumpla con el mismo, empleando un llenante mineral apropiado y/o aditivo mejorador de adherencia.

457.4.2.4 Ajuste de la fórmula de trabajo

La fórmula de trabajo establecida en el laboratorio se puede ajustar con los resultados de las pruebas realizadas durante la etapa de experimentación. Si se llega a presentar alguna variación de la procedencia de alguno de los componentes de la mezcla o se generen cambios de tolerancia en las granulometrías establecidas a esta especificación, se debe requerir al estudio de una nueva fórmula de trabajo.

457.4.3 Fabricación de la mezcla asfáltica prefabricada.

Rige todo lo que aplique en el apéndice 450.4.6 del artículo 450. En caso de que se utilicen métodos de fabricación especiales, el interventor debe aprobar previamente los procedimientos de elaboración de la fabricación de la mezcla asfáltica. Es responsabilidad del proveedor cumplir con todos los requisitos de control de calidad exigidos por las especificaciones del proyecto.

457.4.4 Almacenamiento y transporte de la mezcla asfáltica prefabricada

La mezcla se puede almacenar en bolsas o a granel, cuando la mezcla se almacene en bolsas, se debe garantizar no apilar más de diez (10) bolsas a no ser que se vayan a utilizar en menos de una semana. Si se acopia a granel, se debe garantizar un lugar apropiado, donde quede protegida contra las inclemencias extremas (altas o bajas temperaturas) del clima, libres de capa vegetal, con buena capacidad de drenaje, manteniendo la mezcla en estado suelto, lista para su instalación.

El proveedor debe indicar en su ficha de fabricación de la mezcla cuanto tiempo puede permanecer la mezcla en condiciones de almacenamiento en estado suelto, debe proveer la fecha de fabricación, condiciones de almacenamiento, manipulación de la mezcla para almacenamiento y transporte antes de proceder a su instalación. El constructor y el interventor deben velar por el cumplimiento de los controles de calidad de obra en el suministro, almacenamiento, transporte e instalación de la mezcla.

En el transporte de la mezcla el constructor debe proveer la maquinaria suficiente para

cumplir con los requisitos indicados por el proveedor donde se evite: Contaminación, segregación y alteración de la mezcla.

457.4.5 Preparación para la superficie existente

Previo a la aplicación y extendido del material en el área a intervenir, debe realizarse algunas de las siguientes actividades según las características de cada producto y la aprobación del interventor:

- Demarcación de la zona afectada: Efectuada la demarcación y antes de iniciar los trabajos de excavación para reparar el pavimento, se debe diseñar un plan para la ejecución de las excavaciones y el posterior relleno de las mismas, que minimice las molestias a los usuarios y suprima los peligros para todo tipo de tránsito que haga uso de la vía.
- Corte de la zona afectada.
- Demolición.
- Limpieza de la superficie, cargue, transporte, descargue y disposición de los materiales excavados. Los materiales excavados deben ser cargados y transportados a los sitios de disposición indicados en los documentos del contrato, de esta actividad aplica lo indicado en la especificación 465, Excavación para reparación para pavimento asfáltico existente.
- Riego de liga en las paredes si se requiere.
- Riego de liga o de imprimación en la superficie sobre la capa subyacente, si se requiere.

La zona a intervenir debe ser figurada mediante cajeo de pavimento existente de tal forma que se garantice que la mezcla este adherida a una superficie limpia recién cortada y, además se permita una fácil medida del ancho, largo y espesor del área del parcheo.

457.4.6 Equipo

El equipo mínimo para la adecuada ejecución de los trabajos debe estar conformado por:

- Equipo de corte.
- Equipo de limpieza de la superficie.
- Equipo para la extensión de la mezcla.
- Equipo de compactación.
- Equipo accesorio requerido para realizar todas las operaciones de cargue y transporte que necesite la ejecución de esta partida de trabajo.

457.4.6.1 Equipo de corte

En caso de requerirse corte, de la mezcla asfáltica de las zonas de parcheo, se debe contar con equipo de corte y demolición para la mezcla asfáltica compactada. Se permite el uso de herramientas de corte tipo barras, platinas, cortadora de disco, martillos neumáticos, martillos eléctricos y en general equipo que permita la realización de la labor. El corte, se debe realizar perimetralmente, y debe tener las paredes verticales y espesor homogéneo.

457.4.6.2 Equipo para la extensión de la mezcla

No se requiere de equipo especializado para el extendido de la mezcla, teniendo en cuenta que las actividades a realizar corresponden a parcheos, se puede extender la mezcla empleando herramienta menor.

457.4.6.3 Equipo de compactación

Puede emplearse compactadores de rodillo o placa vibratorias (ranas o saltarines), o apisonadores neumáticos en función del área a intervenir. Se permite el uso de pisones manuales únicamente en aquellas áreas donde las anteriores herramientas no logren compactar.

457.4.7 Compactación de la mezcla

La compactación, se debe realizar según el plan aprobado por el interventor como resultado de la fase de experimentación. Se debe dar inicio a la compactación de la mezcla una vez sea terminado el extendido de la mezcla en el área a intervenir.

La compactación se debe realizar de manera continua, durante la jornada de trabajo y se debe complementar con el trabajo manual mínimo necesario para corregir todas las irregularidades que se puedan presentar.

Cuando la profundidad del parcheo sea igual a cien milímetros (100 mm), se debe rellenar en capas de cincuenta milímetros (50 mm).

Se toma como espesor mínimo compacto admisible cuarenta milímetros (40 mm).

457.4.8 Juntas de trabajo

Las juntas deben presentar la misma textura, densidad y acabado que el resto de la capa compactada. Las juntas entre la mezcla asfáltica prefabricada y pavimentos nuevos y viejos, o entre trabajos realizados en días sucesivos, se deben cuidar, con el fin de asegurar su perfecta adherencia. A todas las superficies de contacto de franjas construidas con anterioridad, se les debe aplicar una capa uniforme y ligera de riego de liga antes de colocar la mezcla nueva, dejándola curar suficientemente.

457.4.9 Apertura al tránsito

El tramo de pavimento donde se realizó el parcheo se puede abrir al tránsito una vez que el grado de compactación alcanzado cuente con la aprobación del interventor, el fabricante de la mezcla debe reportar en su ficha técnica, si la mezcla una vez instalada requiere de algún procedimiento en particular para curar la mezcla y permitir el tránsito.

457.4.10 Limitaciones en la ejecución

Los trabajos de construcción de la mezcla asfáltica prefabricada se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVIAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que resulte adecuado, y que cuente con la aprobación del interventor. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el quipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

457.4.11 Manejo Ambiental

La zona intervenida debe quedar libre de partículas y escombros de igual forma, rige el artículo 106, Aspectos ambientales, así como todo lo que resulta aplicable del numeral 400.4.7 del artículo 400.

457.4.12 Reparaciones

El constructor debe corregir, a su costa, todos los defectos no advertidos durante la colocación y la compactación, tales como: protuberancias, juntas irregulares, depresiones,

irregularidades de alineamiento y de nivel, de acuerdo con las instrucciones del interventor y hasta contar con su aprobación. El constructor debe proporcionar trabajadores competentes, capaces de ejecutar a satisfacción el trabajo eventual de correlaciones en todas las irregularidades del parcheo ejecutado.

457.5 Condiciones para el recibo de los trabajos.

457.5.1.1 Controles

Rige lo aplicable del numeral 400.5.1 del artículo 400.

457.5.1.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

457.5.1.1.1 Calidad de los agregados pétreos y del llenante mineral

De cada procedencia de los agregados pétreos y para cualquier volumen previsto, se toman cuatro (4) muestras y a cada fracción de ellas se le deben realizar los ensayos que se encuentran indicados en la Tabla 457-1.

Así mismo, para cada procedencia del llenante mineral y para cualquier volumen previsto, se toman dos (2) muestras y sobre ellas se determina la densidad bulk, según la norma INV E-225.

Los resultados de estas pruebas deben satisfacer las exigencias indicadas en el numeral 457.2.1.1, so pena de rechazo de los materiales defectuosos.

457.5.1.1.2 Control de producción

Durante la etapa de producción, el interventor debe examinar las descargas a los acopios y debe ordenar el retiro de los agregados que, a simple vista, presenten restos de tierra vegetal, materia orgánica o tamaños superiores al máximo especificado. También, debe ordenar acopiar por separado aquellos que presenten alguna anomalía de aspecto, tal como distinta coloración, segregación, partículas alargadas o aplanadas, y plasticidad, y debe vigilar la altura de todos los acopios y el estado de sus elementos separadores.

Además, debe efectuar las verificaciones de calidad indicadas en la Tabla 457-1 para los agregados grueso y fino y Tabla 457-7 para el llenante mineral, si éste se incorpora de manera independiente.

Tabla 457-7 Ensayos de verificación sobre los agregados para mezcla prefabricadas almacenadas para parcheo de pavimentos asfálticos

Características	Norma de ensayo	Frecuencia
Composición (F)		
Granulometría	INV E-123	1 por jornada
Dureza, agregado grueso (O)		
Desgaste de la máquina de los Ángeles	INV E-218	1 por mes
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval	INV E-238	1 por mes
Resistencia mecánica por el método del 10% de finos	INV E-224	1 por mes
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio	INV E-220	1 por mes

Limpieza, agregado grueso (F)		
Impurezas en agregado grueso	INV E-237	1 por semana
Geometría de las partículas, agregado grueso (F)		
Partículas planas y alargadas, relación 5:1	INV E-240	1 por semana
Caras fracturadas	INV E-227	1 por jornada

El interventor puede autorizar la reducción de la frecuencia de los ensayos a la mitad de lo indicado en la Tabla 457 - 8, siempre que considere que los materiales son suficientemente homogéneos o si en el control de recibo de la obra terminada hubiese aceptado sin objeción diez (10) lotes consecutivos.

En ningún caso se permite el empleo de agregados minerales que no satisfagan los requisitos de la Tabla 457-1 del presente artículo. En la eventualidad de que alguna prueba dé lugar a un resultado insatisfactorio, se deben tomar dos (2) muestras adicionales del material y se debe repetir la prueba. Los resultados de ambos ensayos de comprobación deben ser satisfactorios o, de lo contrario, el interventor no debe autorizar la utilización del material al cual representen dichos ensayos.

457.5.1.1.3 Composición de la mezcla

Se deben rechazar todas las mezclas segregadas, así como aquellas cuya envuelta no sea homogénea. cuantitativamente, se debe realizar los siguientes controles:

457.5.1.1.3.1 Calidad del material bituminoso

Los requisitos de calidad, controles y criterios de aceptación para el material bituminoso son los establecidos en el artículo 410, Suministro de cemento asfáltico. El fabricante debe proveer número del lote, fecha de fabricación, ficha técnica e informe de calidad de mezcla.

457.5.1.1.3.2 Contenido de asfalto

Para las mezclas asfálticas prefabricadas, se debe determinar el contenido de asfalto residual (norma ensayo INV E-732) sobre muestras de la mezcla elaborada correspondiente a un lote, que para el alcance de la presente especificación corresponde a la producción por jornada. La determinación se debe hacer sobre cinco (5) muestras.

El porcentaje de asfalto residual promedio del (ART %) debe tener tolerancia de cero coma tres por ciento (0,3 %), respecto del óptimo definido en la fórmula de trabajo (ARF%).

$$ARF\ \% - 0{,}3\% \leq ART\ \% \leq ARF\ \% + 0{,}3\% \quad [457.1]$$

A su vez, el contenido de asfalto residual de cada muestra individual (ARI %), no puede diferir del valor promedio (ART %), en más de cero coma cinco por ciento (0,5 %), admitiéndose un (1) solo valor fuera de ese intervalo.

$$ART\ \% - 0{,}5\ \% \leq ARI\ \% \leq ART\ \% + 0{,}5\ \% \quad [457.2]$$

Un porcentaje de asfalto residual promedio (ART %) fuera de tolerancia, así como un número mayor de muestras individuales por fuera de los límites implica el rechazo del lote salvo que, en el caso de exceso del ligante, el constructor demuestre que no van a existir problemas de comportamiento de la mezcla, ni de inseguridad para los usuarios.

En caso de rechazo, la capa de mezcla asfáltica prefabricada correspondiente al lote controlado debe ser retirada y repuesta hasta contar con la aprobación del interventor, sin costo adicional para INVIAS. El material retirado es de propiedad del constructor.

457.5.1.2.2 Granulometría de los agregados

Sobre las muestras utilizadas para hallar el contenido de asfalto, se debe determinar la composición granulométrica de los agregados según la norma de ensayo INV E-782. La curva granulométrica de cada ensayo individual debe ser sensiblemente paralela a los límites de la franja adoptada, ajustándose a la fórmula de trabajo con las tolerancias que se indican en la Tabla 457-3, pero sin permitir que la curva se salga de la franja.

Si los valores obtenidos exceden las tolerancias, pero no salen de la franja de especificación, el constructor debe preparar en el laboratorio una mezcla con la gradación defectuosa y el porcentaje medio de asfalto de la mezcla elaborada con este agregado. Ella se somete a todas las pruebas de valoración descritas en el numeral 457.4.2 de esta especificación. Si los requisitos allí indicados no se cumplen en su totalidad, se rechaza el lote.

En caso de rechazo, la capa de mezcla prefabricada correspondiente al lote controlado debe ser levantada y repuesta a satisfacción del interventor, sin costo adicional para INVIAS. El material retirado debe ser de propiedad del constructor.

457.5.2 Calidad de la mezcla

El incumplimiento de alguna de las siguientes exigencias implica el rechazo del lote representado por las muestras. En este caso, el espesor de la mezcla prefabricada correspondiente al lote controlado y debe ser levantada y repuesta a satisfacción del interventor, sin costo adicional para INVIAS.

457.5.2.1 Estabilidad

La estabilidad media de las cuatro (4) probetas (Em) debe ser, como mínimo, igual al noventa por ciento (90 %) de la estabilidad de la mezcla de la fórmula de trabajo (Et).

$$Em \geq 0{,}90\ Et \quad [457.3]$$

Ningún valor individual (Ei) puede exceder en más de veinticinco por ciento (25 %) el valor de estabilidad de la fórmula de trabajo (Et), ni encontrarse por debajo del valor mínimo establecido en la Tabla 457 - 5.

$$1{,}25\ Et \geq Ei \geq \text{valor mínimo} \quad [457.4]$$

Además, la estabilidad de cada probeta (Ei) debe ser igual o superior al ochenta por ciento (80 %) del valor medio de estabilidad (Em), admitiéndose sólo un valor individual por debajo de ese límite.

$$Ei \geq 0{,}80\ Em \quad [457.5]$$

457.5.2.2 Flujo

El flujo medio de las probetas sometidas al ensayo de estabilidad (Fm) se debe encontrar entre el ochenta por ciento (80 %) y el ciento veinte por ciento (120 %) del valor obtenido en la mezcla aprobada como fórmula de trabajo (Ft), pero no se permite que su valor se encuentre por fuera de los límites establecidos en la Tabla 450 - 7.

$$0{,}80\ Ft \leq Fm \leq 1{,}20\ Ft \quad [457.6]$$

Si el flujo medio se encuentra dentro del rango establecido en la Tabla 457-5, pero no satisface la exigencia recién indicada en relación con el valor obtenido al determinar la fórmula de trabajo, el interventor decide, al compararlo con las estabilidades, si el lote debe ser rechazado o aceptado.

457.5.2.3 Susceptibilidad a la humedad

Cada vez que el interventor lo considere conveniente, de acuerdo con el aspecto y comportamiento de la mezcla colocada, se ve-

rifica en el laboratorio la susceptibilidad de la mezcla compactada a la acción del agua, empleando el ensayo de tracción indirecta descrito en la norma de ensayo INV E-725.

Al efecto, se deben moldear seis (6) probetas con la mezcla que se está elaborando, tres (3) de las cuales se curan en seco y tres (3) bajo condición húmeda, determinándose la resistencia promedio de cada grupo como lo establece la norma. La resistencia del grupo curado en húmedo debe ser, cuando menos, ochenta por ciento (80 %) de la resistencia de-grupo curado en seco, para que se considere que la mezcla es resistente a la humedad.

El incumplimiento de este requisito implica la realización del ensayo sobre núcleos tomados de los diferentes lotes cuya mezcla considere el interventor que puede presentar este problema (seis núcleos por lote, tres curados en seco y tres bajo condición húmeda). Los lotes de material que no cumplan con el requisito deben ser rechazados. Además, los trabajos se deben suspender hasta que se estudien e implementen las medidas que garanticen el cumplimiento de este requisito, las cuales pueden comprender desde la incorporación de un aditivo hasta la definición de una nueva fórmula de trabajo y un nuevo diseño de la mezcla.

457.5.2.4 Calidad del producto terminado

457.5.2.4.1 Tamaño del lote

Se considera como lote, la instalación de la mezcla asfáltica prefabricada utilizada en la obra ejecutada en una jornada de trabajo.

457.5.2.4.2 Aspectos generales

La capa terminada de mezcla asfáltica debe presentar una superficie uniforme y ajustarse a las pendientes establecidas. La cota de cualquier punto de la mezcla asfáltica compactada en espesores compactados no puede variar en más de cinco milímetros (5 mm).

Es responsabilidad de constructor garantizar las condiciones de durabilidad de la capa de acuerdo con lo establecido en los documentos del proyecto.

457.5.2.4.3 Compactación

Las comprobaciones referidas a la compactación corresponden a la verificación de la actuación de los equipos de compactación, los cuales deben cumplir las disposiciones del numeral 457.4.6.3 de la presente especificación.

457.5.2.4.4 Espesor

El constructor debe proceder a remover y reponer en el espesor adecuado o, alternativamente y si no existen problemas de gálibo o de sobrecargas estructurales, a la colocación del espesor de la capa adicional del mismo tipo de mezcla de cuarenta o de cincuenta milímetros (40 o 50 mm) de espesor compacto, según sea el tipo de mezcla, para cumplir todos los requisitos de calidad de esta especificación. El riego de liga que se deba colocar para adherir las capas debe ejecutarlo, a su costa, en acuerdo con el artículo 421.

457.6 Medida

Rige lo descrito en los artículos:

- 400 y en particular los numerales: 400.6.2 Ejecución de mezclas en frío y en caliente y reciclado de pavimentos y 400.6.3 Ejecución de bacheos con mezcla asfáltica.

- 465 y en particular el numeral 465.6 Medida. Si las capas asfálticas se han cortado con una máquina fresadora, su volumen removido debe ser objeto de medida y

pago con cargo al artículo 460, Fresado de pavimento asfáltico.

457.7 Forma de pago

El pago de la mezcla asfáltica prefabricada almacenada para parcheo en pavimentos flexibles se debe hacer al respectivo precio unitario del contrato, por todo trabajo ejecutado de acuerdo con esta especificación y aceptado a satisfacción por el interventor.

Rige lo descrito en el artículo 400 y en particular en el numeral 400.7.1, Aspectos generales y 400.7.3, Ejecución de mezclas en frío y en caliente y bacheo con mezcla asfáltica.

Las demás actividades de limpieza de la superficie, cargue, transporte, descargue y disposición de los materiales excavados se rige por lo indicado para la forma de pago por la especificación 465, Excavación para reparación para pavimento asfáltico existente.

457.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
457.1	Mezcla prefabricada almacenada MP-25 para parcheo en pavimento flexible	Metro cúbico (m^3)
457.2	Mezcla prefabricada almacenada MP-19 para parcheo en pavimento flexible	Metro cúbico (m^3)
457.3	Mezcla prefabricada almacenada MP-12 para parcheo en pavimento flexible	Metro cúbico (m^3)

Fresado de pavimento asfáltico

Artículo 460 – 22

460.1 Descripción

Este trabajo consiste en el fresado en frío parcial o total de las capas asfálticas de un pavimento, de acuerdo con los alineamientos, las cotas y los espesores indicados en los documentos del proyecto.

El proceso del microfresado es una técnica basada en un tambor especial con puntas de acero de alta dureza para poder fresar pocos milímetros de espesor (< 2,5 cm).

460.2 Identificación de materiales por fresar

La identificación del material de fresado se debe consignar en los documentos del proyecto. En caso de que se detecte material peligroso (por ejemplo, asbesto, hidrocarburo aromático policíclico, etc.) se debe recurrir a la normativa ambiental vigente.

460.3 Equipo

El equipo para la ejecución de los trabajos debe ser una máquina fresadora cuyo estado, potencia y capacidad productiva garanticen el correcto cumplimiento del plan de trabajo establecido en los documentos del proyecto. Si durante el transcurso de los trabajos el interventor observa deficiencias o mal funcionamiento de la máquina, debe ordenar su inmediata reparación o reemplazo.

El equipo recomendado debe tener como mínimo:

- Una fresadora de uno a dos metros (1 m – 2 m) de ancho de trabajo, capaz de disgregar hasta treinta centímetros (30 cm) de espesor en una pasada.
- De ser necesaria, una grúa que permita el transporte de la fresadora.
- Una barredora de succión equipada con una escoba lateral cuya potencia de succión asegure un flujo mínimo de trescientos metros cúbicos por minuto (300 m^3/min).
- Volquetas para el transporte de agregados asfálticos.

Nota: en caso de presencia de materiales peligrosos el constructor debe garantizar que la fresadora cuenta con el equipo tecnológico para el fresado adecuado.

460.4 Ejecución de los trabajos

Los fresados se realizan con el fin de mejorar la condición superficial de la capa de rodadura, reemplazarla o reparar la estructura. Estos se deben ejecutar a pasos entre cero coma cuatro a cero coma cinco metros (0,4 m – 0,5 m) de longitud. En caso de emplear varias fresadoras que trabajen en paralelo, se debe respetar la organización de los trabajos en función del ancho de vía y el plan de trabajo establecido en los documentos del proyecto. El fresado se debe efectuar sobre el área y el espesor que apruebe el interventor.
Los espesores de intervención se deben defi-

nir en función del tipo de intervención por realizar en la vía, al nivel superficial o al nivel de capas de cuerpo de la estructura. Para las actividades de reparación de daños al nivel superficial, se recomiendan los criterios establecidos en la Tabla 460 — 1.

Tabla 460 – 1. Espesor mínimo de intervención según el nivel de daño superficial

Tipo de daño	Profundidad del daño (cm)	Espesor mínimo por fresar (cm)
Textura de la superficie deficiente	Nota (3)	< 2,5 (Nota 1)
Fisuras superficiales	Nota (3)	2,5
Ahuellamiento en capa de rodadura	< 2	2,5
	> 2	5
Ahuellamiento de capa de rodadura inducido a la base asfáltica (estructura bituminosa espesa)	Nota (3)	10

Nota 1: técnica de microfresado.

Nota 2: los espesores mínimos por fresar no deben superar en ningún caso el espesor total de la capa a fresar, excepto cuando la presencia de fisuras esté en toda la capa, en cuyo caso se debe fresar la capa entera.

Nota 3: depende del espesor de la o las capas.

Los espesores que se van a fresar para las actividades al nivel de capas de cuerpo como: parcheo, bacheo, reemplazo de carpeta, entre otros, se deben establecer de acuerdo con los criterios señalados en los documentos del proyecto y no deben superar en ningún caso el espesor total de la capa a fresar.

460.4.1 Preparación de la superficie existente

Inmediatamente antes de las operaciones de fresado, la superficie de pavimento se debe encontrar limpia y, por tanto, el constructor debe adelantar las operaciones de succión, barrido y/o soplado que se requieran para lograr tal condición.

460.4.2 Fresado del pavimento

El fresado se debe efectuar sobre el área que apruebe el interventor.

El material extraído de naturaleza asfáltica se denomina material de fresado. Este material se debe conservar a temperatura ambiente y sin adición de solventes u otros productos ablandadores que puedan afectar la granulometría de los granulares o las propiedades del asfalto existente.

El material de fresado debe ser transportado y acopiado en los lugares que indiquen los documentos del proyecto o que establezca

el interventor y debe ser de propiedad del Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) respetando las leyes ambientales y de seguridad vial en vigor. Se exceptúan de esta disposición, los materiales provenientes de las capas de una construcción nueva que deban ser fresadas por el constructor como resultado de deficiencias en los trabajos de pavimentación que esté ejecutando, y cuyo retiro sea ordenado por el interventor, sin medida ni pago por parte de INVÍAS. En tal caso, el material de fresado es de propiedad del constructor quien, además, debe realizar a su costa el cargue, el transporte, el descargue y la disposición en vertedero de dichos materiales.

Durante la ejecución de los trabajos y manipulación del material de fresado, se debe evitar su contaminación.

En proximidades de sardineles y en otros sitios inaccesibles al equipo de fresado, el pavimento se debe remover empleando otros métodos que den lugar a una superficie apropiada.

El trabajo de fresado se puede realizar en varias capas de ser necesario, hasta alcanzar el espesor del proyecto, debiendo quedar una superficie nivelada y sin fracturas.

En la eventualidad de que al término de una jornada de trabajo no se complete el fresado en todo el ancho de la calzada, los bordes verticales, en sentido longitudinal, cuya altura supere cinco centímetros (5 cm) se deben suavizar, de manera que no impliquen peligro para el tránsito automotor. Igual precaución se debe tomar en los bordes transversales que queden al final de cada jornada.

Cualquiera que sea el método utilizado por el constructor, los trabajos de fresado no deben producir daños a objetos, estructuras y plantas que se encuentren cerca de la zona de acción de sus equipos y, por tanto, debe tomar las precauciones que corresponda y, es de su responsabilidad todos los daños y perjuicios que se ocasionen en dichos elementos durante el desarrollo de los trabajos. Al efecto, el interventor está facultado para exigir la modificación o el incremento de todas las medidas de seguridad que se hayan adoptado inicialmente según los criterios técnicos correspondientes.

460.4.3 Protección de estructuras existentes

El constructor debe identificar los elementos dispuestos en la vía tales como: señalización, estructuras menores, redes, entre otros, y debe garantizar su protección durante la ejecución de los trabajos. El constructor debe asumir entre otras las siguientes responsabilidades:

- Localizar las redes existentes.
- Gestionar todos los documentos para tener un mapeo total de las redes existentes.
- En caso de no contar con la información necesaria se deben realizar sondeos locales para evitar afectación de redes existentes.
- Todo daño a las estructuras existentes y su reparación son responsabilidad exclusiva del constructor.

460.4.4 Fases de los trabajos

Los trabajos se deben ejecutar de acuerdo con el plan de trabajo fijado en los documentos del proyecto.

460.4.5 Señalización e información en la obra

Se debe realizar un plan de manejo de tránsito para la ejecución de los trabajos.

460.4.6 Limitaciones en la ejecución

Los trabajos de fresado se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que resulte adecuado, y que cuente con la aprobación del interventor. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

460.4.7 Manejo ambiental

Al respecto, rige el artículo 106, Aspectos ambientales, así como todo lo que resulte aplicable del numeral 400.4.7 del artículo 400.

460.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

460.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos, se debe verificar el funcionamiento del equipo empleado y se deben levantar los perfiles que el interventor considere necesarios.

Se debe cumplir lo estipulado en el artículo 106 sobre los aspectos ambientales.

El interventor se debe abstener de aceptar en el acopio cualquier material fresado que resulte contaminado como resultado de una manipulación incorrecta por parte del constructor.

Si el material se contamina, el constructor debe disponer este como material de desecho de acuerdo con lo establecido en el numeral 460.4.7.

460.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

460.5.2.1 Espesor fresado

Se debe admitir una tolerancia de las cotas de la superficie resultante, respecto de las indicadas en los documentos del proyecto, hasta de cinco milímetros (5 mm). Los tramos donde se supere esta tolerancia se deben someter a tratamiento adicional por parte del constructor de acuerdo con las instrucciones del interventor, sin costo adicional para INVÍAS.

460.5.2.2 Regularidad superficial

Existen diferentes equipos para medir la regularidad superficial de los pavimentos. El constructor puede aplicar el equipo o método de ensayo que más convenga según las condiciones del sitio de ejecución de los trabajos. Debe reportar el valor del Índice de Rugosidad Internacional (IRI).

Se recomienda que la medición del IRI se ejecute después del trabajo de fresado, para evaluar el estado final de la capa base.

Cuando sobre la superficie fresada se vaya a construir un tratamiento superficial, una lechada asfáltica o una mezcla discontinua en caliente, se debe comprobar el IRI en toda la longitud fresada y en cada carril, antes de su recibo definitivo. Su determinación se debe realizar con un procedimiento de precisión o por medio de un sistema de referencia inercial.
Las medidas de precisión se pueden adelantar con mira y nivel, de acuerdo con el procedimiento indicado en la norma INV E-794 o con un perfilómetro pivotante de alta precisión, norma INV E-814.

Si se opta por el equipo de referencia inercial, este se debe validar previamente con uno de precisión en un tramo de prueba de longitud no menor de doscientos metros (200 m). El equipo de referencia inercial se debe operar de acuerdo con la norma ASTM E950.

Para efectos de la evaluación con fines de recibo, las medidas se deben hacer en cada uno de los carriles de la superficie fresada y los valores del IRI se presentan en metro por kilómetro (m/km), en tramos consecutivos de cien metros (100 m) por carril, con la excepción que se cita en el párrafo siguiente. Un conjunto de cinco (5) tramos constituyen un lote.

No debe haber exigencia sobre el cumplimiento de regularidad superficial en tramos que incluyan singularidades, entendiendo por tales todas aquellas alteraciones del perfil longitudinal de la carretera que incrementen el IRI y no provengan de deficiencias en el procedimiento de fresado, como pueden ser intersecciones con otras vías, puentes, pozos de inspección, etc., los cuales deben ser definidos por el interventor, con su ubicación respectiva (carril y abscisa), antes de proceder a la medida del perfil longitudinal.

Se entiende que la superficie fresada tiene una regularidad superficial aceptable, si a lo largo de la longitud evaluada en cada carril se satisfacen los valores indicados en la Tabla 460 — 2.

Tabla 460 — 2. Valores máximos admisibles de IRI (m/km)

Porcentaje (%) de hectómetros	Pavimentos de construcción nueva y rehabilitados en espesor > 10 cm			Pavimentos rehabilitados en espesor ≤ 10 cm		
	NT1	NT2	NT3	NT1	NT2	NT3
40	2,4	1,9	1,4	2,9	2,4	1,9
80	3,0	2,5	2,0	3,5	3,0	2,5
100	3,5	3,0	2,5	4,0	3,5	3,0

Si los resultados de rugosidad exceden estos límites, los defectos de regularidad se deben corregir mediante un fresado adicional en los tramos que, a criterio del interventor, incidan en el incumplimiento. Los espesores por fresar en cada tramo deben ser establecidos por el interventor y todos los costos que impliquen estas correcciones, deben ser asumidos por el constructor. El material fresado por esta razón es de propiedad de INVÍAS.

460.6 Medida

La unidad de medida del pavimento asfáltico fresado debe ser el metro cuadrado (m^2), aproximado al entero, de superficie fresada de

acuerdo con las exigencias de esta especificación y los alineamientos, las cotas y los espesores señalados en los documentos del proyecto.

El área tratada se debe determinar multiplicando la longitud fresada por el ancho tratado, el cual está establecido en los documentos del proyecto. No se debe medir ningún área por fuera de tales límites.

El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

460.7 Forma de pago

El pago se debe hacer al respectivo precio unitario del contrato, por toda obra ejecutada de acuerdo con esta especificación y hasta ser aprobada por el interventor.

El precio unitario debe cubrir todos los costos de limpieza previa que requiera la superficie, el fresado para alcanzar las cotas o los espesores que indiquen los documentos del proyecto o que autorice el interventor; el cargue, el transporte, la descarga y el acopio del material fresado en los sitios establecidos. La reparación a satisfacción de todos los elementos que se hayan afectado por la ejecución de los trabajos; la señalización preventiva y el ordenamiento del tránsito público durante el lapso de ejecución de los trabajos y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución del fresado del pavimento asfáltico.

El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

460.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
460.1	Fresado de pavimento asfáltico, en espesor de _____ cm	Metro cuadrado (m^2)
460.2	Microfresado de pavimento asfáltico, en espesor de _____ cm	Metro cuadrado (m^2)

Nota: se debe fijar un ítem de pago para cada espesor de fresado que se especifique en los documentos del proyecto.

Reciclado de pavimento asfáltico *in situ* empleando ligantes bituminosos

Artículo 461 – 22

461.1 Descripción

Este trabajo consiste en el acopio y la utilización de materiales disgregados de capas asfálticas de pavimentos en servicio o excedentes de una mezcla asfáltica no utilizada, la eventual adición de nuevos materiales pétreos, agua, mejoradores de adherencia, controladores de rotura, puzolanas y otros elementos de aporte, así como la incorporación de emulsión asfáltica o cemento asfáltico espumado y la mezcla, la extensión, la compactación y el curado de los materiales tratados, de acuerdo con los documentos del proyecto.

461.2 Materiales

461.2.1 Agregados pétreos

461.2.1.1 Agregados pétreos de reciclaje

Los agregados pétreos resultantes del fresado de las capas de pavimento en el espesor indicado en los documentos del proyecto, deben cumplir con la granulometría indicada en la Tabla 461 — 1.

Tabla 461 — 1. Franja granulométrica de los agregados reciclados *in situ* para uso como capa asfáltica

Material	Tamiz (mm / U.S. *Standard*)							
	37,5	25,0	19,0	9,5	4,75	2,00	0,425	0,075
	1 ½ Pulgadas	1 Pulgada	3/4 Pulgada	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 10	Nro. 40	Nro. 200
	Pasa tamiz (%)							
Agregado pétreo de reciclaje, ajustado con material de adición cuando se requiera	100	75 — 100	65 — 100	45 — 75	30 — 60	20 — 45	10 — 30	5 — 20

461.2.1.2 Agregados pétreos de adición

En el caso de que se requiera la adición de material pétreo para satisfacer el requisito de gradación, este debe cumplir con los requisitos de la Tabla 461 — 2.

Tabla 461 — 2. Requisitos de los agregados de adición para reciclado del pavimento existente

Característica	Norma de ensayo INV	Nivel de tránsito		
		NT-1	NT-2	NT-3
Dureza, agregado grueso (O)				
Desgaste en la máquina de Los Ángeles, máximo (%). (Nota).	E-218	40	40	40
Degradación en el equipo Micro-Deval, máximo (%).	E-238	-	30	25
Resistencia mecánica por el método del 10 % de finos: - Valor en seco, mínimo (kN) - Relación húmedo/seco, mínimo (%)	E-224	 - -	 - -	 70 75
Durabilidad (O)				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio, máximo (%): - Agregado grueso - Agregado fino	E-220	 18 18	 18 18	 18 18
Limpieza, gradación combinada (F)				
Índice de Plasticidad, máximo (%).	E-125 y E-126	NP	NP	NP
Equivalente de arena, mínimo (%).	E-133	30	30	30
Valor de azul de metileno, máximo.	E-235	10	10	10
Terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%).	E-211	2	2	2
Geometría de las partículas, agregado grueso (F)				
Partículas planas y alargadas, relación 5:1, máximo (%).	E-240	10	10	10
Caras fracturadas, mínimo (%): una cara/dos caras.	E-227	50/-	50/-	50/-
Geometría de las partículas, agregado fino (F)				
Angularidad de la fracción fina, método A, mínimo (%).	E-239	-	35	35
Resistencia del material (F)				
CBR (%): porcentaje asociado al valor mínimo especificado de la densidad seca en el artículo 330, Base granular, medido en una muestra sometida a cuatro días (4 d) de inmersión, mínimo.	E-148	80	80	100
Adhesividad, gradación combinada				
Resistencia conservada inmersión-compresión, mínimo (%).	E-622	50	50	50

Nota: se aceptan valores superiores de desgaste siempre y cuando el valor de Micro-Deval se cumpla; esta nota no resulta aplicable para tránsito NT1.

Es recomendable que el agregado de adición tenga características mineralógicas similares a las del agregado que se recicla, con el fin de evitar que el ligante tenga diferente adhesividad con cada uno de los componentes.

El producto del porcentaje que pasa el tamiz de 0,075 mm (nro. 200) del agregado combinado por su índice de plasticidad, no puede ser mayor de setenta y dos (72).

461.2.2 Materiales bituminosos

Para los reciclados *in situ* con emulsión asfáltica, se debe emplear una de rompimiento lento, del tipo CRL-57, cuyo residuo de destilación tenga una penetración entre cien y doscientas cincuenta (100 — 250) décimas de milímetro, que sea compatible con los agregados pétreos, la cual debe cumplir los requisitos de calidad establecidos en el artículo 411. Si se requiere una emulsión de diferentes características, se debe contar con una especificación particular.

Se debe comprobar, además, la compatibilidad de la emulsión asfáltica con el material fresado mediante el ensayo de envuelta y resistencia al desplazamiento sin adición de carbonato de calcio, según la norma de ensayo INV E-769.

Para los reciclados con cemento asfáltico espumado, el ligante es de penetración 80 — 100, compatible con los agregados pétreos, el cual debe cumplir los requisitos de calidad establecidos en el artículo 410. Si se requiere un cemento asfáltico de diferentes características, este debe ser objeto de una especificación particular.

En cualquier caso, se prohíbe la adición de fluidificantes ligeros o crudos de petróleo para producir el reblandecimiento del asfalto del pavimento existente.

461.2.3 Puzolanas

Se consideran como tales, algunos llenantes comerciales que complementan la acción del ligante asfáltico en cuanto a su reactividad. Los más utilizados son el cemento hidráulico, la cal hidratada y las cenizas volantes, entre otros.

Si los llenantes son adicionados con el propósito de controlar la rotura de la emulsión asfáltica, no se deben considerar como puzolanas y, en consecuencia, no debe haber pago separado por su suministro.

461.2.4 Aditivos mejoradores de adherencia entre los agregados y el asfalto

Cuando se requieran, se deben ajustar a lo descrito en el artículo 412. La dosificación y la dispersión homogénea del aditivo deben tener la aprobación del interventor.

El constructor debe garantizar que su incorporación no va a producir ningún efecto nocivo a los agregados, al ligante asfáltico o a la mezcla. Cualquier efecto adverso en el comportamiento del pavimento que se derive del empleo del aditivo es responsabilidad exclusiva del constructor, quien debe efectuar todas las reparaciones que requiera la mezcla compactada, de acuerdo con las instrucciones del interventor y hasta ser aprobado por este, sin cargo alguno para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS).

461.2.5 Agua

El agua requerida para el humedecimiento previo de los agregados pétreos debe ser limpia y libre de materia orgánica. El agua debe cumplir los requisitos que se indican en la Tabla 461 — 3.

Tabla 461 — 3. Requisitos del agua no potable para reciclados *in situ* empleando ligantes bituminosos

Característica	Norma de ensayo ASTM	Requisito
pH	D1293	5,5 – 8,0
Contenido de sulfatos, expresado como $SO_4^=$, máximo (kg/m^3)	D516	1,0

461.3 Equipo

En adición a lo que resulte aplicable del numeral 400.3 del artículo 400, el equipo para los trabajos aquí especificados debe contar con elementos para la explotación, cargues, transportes, trituración, lavado cuando se requiera, y clasificación de los eventuales agregados pétreos de adición para la corrección granulométrica; para la extracción de agua; para el almacenamiento, transporte y distribución del agua y del ligante asfáltico; para la disgregación del pavimento existente y para la mezcla adecuada de todos los ingredientes; así como para la compactación y conformación de la capa reciclada.

Salvo justificación en contrario, es obligatorio el empleo de máquinas recicladoras que integren en una sola unidad las operaciones de fresado, de dosificación, de distribución de los fluidos, de mezcla y de extensión de la mezcla elaborada.

La máquina recicladora debe estar provista de un rotor de fresado de eje horizontal y debe ser capaz de fresar el pavimento en la profundidad y ancho especificados, para producir un material homogéneo en una sola pasada a velocidad constante. La máquina debe poseer un dispositivo de control automático que asegure el fresado en el espesor especificado, y de un elemento que evite el levantamiento del material en bloques.

La máquina recicladora debe tener la posibilidad de introducir los aditivos líquidos de manera uniforme y precisa. Debe, además, estar equipada con un tacómetro acoplado al control de la bomba de caudal variable, que asegure que el ligante solo es adicionado cuando la máquina está en marcha. El sistema de medida debe incluir un totalizador que permita conocer la cantidad de producto bituminoso que se está utilizando en cualquier período y un medidor de caudal que indique la rata instantánea de flujo durante la operación de mezclado. El mezclador debe garantizar una mezcla homogénea y uniforme en todo el ancho y profundidad del reciclado.

El suministro de la emulsión asfáltica, del cemento asfáltico y del agua se debe realizar desde depósitos móviles, de manera que no se produzcan paradas innecesarias de la máquina recicladora.

Los equipos de compactación deben ser autopropulsados, tener inversores de marcha suaves y disponer de elementos para la limpieza de los rodillos o neumáticos durante la compactación y para mantenerlos húmedos en caso necesario. El tren de compactación se debe definir durante la fase de experimentación, pero, en todo caso, debe estar constituido, como mínimo, por un (1) compactador vibratorio de rodillo metálico y un (1) compactador de neumáticos. Las presiones lineales, estáticas o dinámicas y las presiones

de contacto de los diversos tipos de compactadores deben ser las necesarias para conseguir la compacidad adecuada y homogénea de la mezcla en todo su espesor, pero sin producir rotura del agregado.

Los compactadores de rodillos no deben presentar surcos ni irregularidades. Los compactadores vibratorios deben disponer de dispositivos para eliminar la vibración al invertir la marcha. Es aconsejable que el dispositivo sea automático. Los compactadores de neumáticos deben tener ruedas lisas, en número, tamaño y disposición tales, que permitan el traslapo de las huellas delanteras y traseras.

461.4 Ejecución de los trabajos

461.4.1 Explotación de materiales y elaboración de agregados

Rige lo establecido en el numeral 105.13.3 del artículo 105, Desarrollo de los trabajos.

461.4.2 Estudio de los materiales por reciclar

Se debe realizar una inspección a la superficie por reciclar y comprobar los datos del reconocimiento del proyecto. Se deben tomar muestras representativas de los materiales existentes en los diferentes tramos y comprobar el espesor y el tipo de material en las diferentes capas. Como mínimo, se deben realizar dos (2) perforaciones por kilómetro o por tramo diferenciado, si su longitud fuese menor.

Se deben tomar muestras de material fresado en el espesor previsto en los documentos del proyecto para el reciclado, empleando una máquina fresadora de iguales o similares características, o que produzca un fresado adecuado o semejante, a la máquina que exijan los pliegos de condiciones para la ejecución de la obra. Sobre las muestras de cada material fresado se debe determinar la granulometría, de acuerdo con la norma de ensayo INV E-782.

Los resultados del reconocimiento del terreno, de las perforaciones y de los ensayos de granulometría permiten verificar que los tramos en los cuales se dividió la obra en los documentos del proyecto son suficientemente homogéneos, en relación con los objetivos pretendidos para el reciclado. Se debe considerar que no hay homogeneidad en un tramo, cuando los resultados de los ensayos individuales de granulometría y los espesores de las capas por reciclar presenten, respecto del promedio de los valores encontrados, variaciones superiores a las tolerancias establecidas en la Tabla 461 — 4, o cuando se detecte una variación manifiesta en el tipo de agregados.

Una vez comprobado que el material fresado cumple las condiciones establecidas, el interventor debe aprobar el material y debe fijar como características de referencia de cada tramo homogéneo los espesores promedio de las capas asfálticas y granulares por reciclar y la granulometría promedio del material fresado. Estos valores promedio deben diferir de los valores límites en un margen suficiente para que sea razonable esperar que, con la heterogeneidad propia del material y de los espesores y con la dispersión que introducen la ejecución en obra y su control, los valores obtenidos en el control de la calidad de ejecución de las obras cumplan con los límites establecidos.

Cuando la dispersión en la granulometría sea excesiva, se debe estudiar si ella se corrige con la incorporación de agregados de adición.

Tabla 461 — 4. Tolerancias en la granulometría y en el espesor del material por reciclar para considerar que un tramo es homogéneo

Característica		Tolerancia
Granulometría: tolerancia respecto a la masa total del material por reciclar (%)	Porcentaje que pasa tamiz de 2,00 mm (nro. 10) y mayores	± 6
	Porcentaje que pasa tamiz de 0,425 mm (nro. 40)	± 4
	Porcentaje que pasa tamiz de 0,075 mm (nro. 200)	± 3
Espesor: variación en el espesor de la capa (mm)	Capas asfálticas	25
	Capas granulares	50

Si resulta imposible cumplir en un tramo con estas tolerancias, el reciclado no resulta posible, en los términos que establece el presente artículo.

461.4.3 Diseño de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo

461.4.3.1 Generalidades

Rige todo lo que resulte aplicable en el numeral 400.4.2 del artículo 400.

El constructor debe estimar la cantidad óptima teórica necesaria de ligante residual para la combinación de agregados de cada tramo homogéneo y debe determinar el tipo y el porcentaje de emulsión y/o cemento asfáltico espumado, de los aditivos y otros elementos por incorporar, para de producir una mezcla cuya calidad sea comparable a una base estabilizada con emulsión asfáltica elaborada con agregados pétreos y ligante asfáltico nuevos.

Previamente a la definición del contenido de ligante, el constructor debe establecer la necesidad de incorporar agregados pétreos nuevos en la mezcla para corregir deficiencias granulométricas y debe indicar la proporción en que ellos deban intervenir.

El constructor también debe definir la necesidad de prehumedecer el material preparado para la mezcla y debe determinar las humedades más apropiadas de mezcla y compactación. La humedad de compactación se debe determinar mediante el ensayo modificado de compactación (norma de ensayo INV E-142) sobre el material por reciclar. La humedad óptima de compactación es, salvo instrucción en contrario del interventor, la correspondiente a la óptima del ensayo menos un cero coma cinco por ciento (0,5 %) y menos el porcentaje de emulsión o cemento asfáltico espumado a incorporar en la mezcla. Esta humedad se debe ajustar, si fuese necesario, durante la fase de experimentación.

Las mezclas de reciclado *in situ* se deben diseñar siguiendo los métodos indicados en la Tabla 461 — 5.

Tabla 461 — 5. Método de diseño para mezclas de reciclado de pavimentos asfálticos *in situ* empleando ligantes bituminosos

Tipo de ligante	Norma de ensayo INV	Método
Emulsión asfáltica	E-622	Inmersión-compresión
Asfalto espumado	E-785	Resistencia a la tracción indirecta

Se pueden utilizar otros procedimientos para el diseño de las mezclas. En tal caso, los criterios de selección del porcentaje óptimo de ligante se deben definir.

461.4.3.2 Diseño de la mezcla por resistencia

461.4.3.2.1 Diseño de la mezcla para reciclado con emulsión asfáltica

Se deben elaborar mezclas con diferentes contenidos de ligante por encima y por debajo del óptimo teórico (al menos cuatro (4) contenidos de ligante), para someterlas al ensayo de inmersión-compresión. El contenido óptimo de ligante se debe determinar aplicando los criterios de la Tabla 461 — 6.

Tabla 461 — 6. Criterios de resistencia para la determinación del contenido óptimo de ligante en reciclados con emulsión asfáltica

Parámetro	Norma de ensayo INV	Valor
Resistencia de probetas curadas en seco *Rs*, mínimo (MPa).	E-622	2,0
Resistencia conservada tras curado húmedo *Rc* = *Rh*/*Rs*, mínimo (%).		75

El porcentaje óptimo de ligante residual es aquel que, cumpliendo las exigencias indicadas, permita alcanzar el valor máximo de resistencia tras curado húmedo (*Rh)*.

461.4.3.2.2 Diseño de mezcla para reciclado con asfalto espumado

Se deben elaborar mezclas con diferentes contenidos de ligante por encima y por debajo del óptimo teórico (al menos cuatro (4) contenidos de ligante), para someterlas al

ensayo de tracción indirecta. En la Tabla 461 — 7 se presentan los criterios para la elaboración del asfalto espumado y la determinación del contenido óptimo de ligante.

Tabla 461 — 7. Criterios para la elaboración del asfalto espumado y la determinación del contenido óptimo de ligante en reciclados con asfalto espumado

Parámetro		Norma de ensayo INV	Valor
Preparación del asfalto espumado	Relación de expansión, mínimo	E-785	10
	Vida media, mínimo (segundos)		10
Determinación del contenido óptimo de ligante	Resistencia de probetas curadas en seco *Rs*, mínimo (MPa)		0,25
	Resistencia conservada tras curado húmedo *Rc* = *Rh*/*Rs*, mínimo (%)		50

El porcentaje óptimo de ligante residual es aquel que, al cumplir las exigencias indicadas, permite alcanzar el valor máximo de resistencia tras curado húmedo (*Rh)*.

461.4.3.3 Informe de diseño de la mezcla

El informe de diseño que presente el constructor, en el cual debe proponer la fórmula de trabajo por aplicar en cada tramo homogéneo, para consideración y eventual aprobación del interventor, debe contener, cuando menos, la siguiente información:

- La identificación del tramo homogéneo y los espesores y gradaciones característicos de los materiales por reciclar.
- La identificación y la proporción (en masa seca) de cada fracción del material granular, si se requieren agregados de adición.
- La granulometría de cada fracción del material granular y la granulometría combinada, si se requieren agregados de adición.
- El porcentaje de agua para mezcla y para compactación, en relación con la masa seca del componente mineral.
- El porcentaje óptimo de ligante residual y de emulsión (o asfalto espumado), en relación con la masa seca del material reciclado y el componente mineral adicional si se requiere.
- La identificación y la dosificación de puzolanas y de aditivos, si se requieren, los cuales deben ser de la misma marca utilizada en las pruebas de laboratorio y en la fase de experimentación.
- La relación de expansión y la vida media de la mezcla óptima, en el caso de reciclados con asfalto espumado.
- Las resistencias obtenidas a la compresión en la prueba de inmersión-compresión o a la tracción indirecta, según el caso.
- La masa unitaria seca máxima y la humedad óptima correspondientes a la dosificación de diseño.
- Los resultados de los ensayos complementarios que indique el pliego de condiciones.

461.4.3.4 Ajuste de la fórmula de trabajo

La fórmula de trabajo establecida en el laboratorio se puede ajustar con los resultados de las pruebas realizadas durante la fase de

experimentación. Igualmente, si durante la ejecución de las obras varía la procedencia de alguno de los componentes de la mezcla, se debe requerir el estudio de una nueva fórmula de trabajo.

Los trabajos no se pueden iniciar a escala industrial, si la fórmula de trabajo definitiva para cada tramo no ha sido aprobada por el interventor.

La aprobación de la fórmula de trabajo por parte del interventor no exime al constructor de su plena responsabilidad de alcanzar, con base en ella, la calidad exigida en el presente artículo.

461.4.4 Remoción de obstáculos

Antes de proceder con la disgregación del pavimento, se deben demoler parcial y temporalmente las estructuras de servicios públicos ubicadas dentro del área de pavimento por reciclar, cubriendo de manera adecuada los orificios resultantes, de manera que el proceso de reciclado no afecte de manera adversa las estructuras, ni estas produzcan daño a la máquina recicladora.

La profundidad de demolición de las estructuras debe ser la necesaria para proporcionar una altura libre suficiente entre la tapa temporal de ellas y la superficie del pavimento existente, de manera que permita la operación libre y continua de la recicladora.

Las tapas temporales de las estructuras se deben asegurar adecuadamente a ellas y deben tener la suficiente resistencia para soportar los esfuerzos generados durante el proceso de reciclado.

La localización de las estructuras demolidas parcial y temporalmente debe ser relacionada con precisión, de manera que, una vez concluido el trabajo de reciclado, ellas se puedan ubicar y reconstruir hasta el nivel definitivo de la rasante del pavimento.

461.4.5 Preparación de la superficie existente

También con antelación a la disgregación del pavimento, el constructor debe efectuar los bacheos en las zonas que le indique el interventor, las cuales deben corresponder a fallas de origen profundo que requieran corrección previa, con el fin de evitar deficiencias en el soporte de la capa reciclada. Las excavaciones se deben rellenar con material de base granular hasta el nivel de la rasante existente, colocándolo y compactándolo en espesores que permitan obtener las densidades exigidas para dicho material en el artículo 330.

Inmediatamente antes de proceder a la disgregación del pavimento, se debe barrer y/o soplar la superficie por tratar.

461.4.6 Fase de experimentación

Rige lo indicado en el numeral 400.4.3 del artículo 400.

461.4.7 Disgregación del pavimento existente y eventual incorporación del agregado de adición

Empleando el equipo y el procedimiento aprobados durante la fase de experimentación, el constructor debe disgregar la capa bituminosa existente y la debe mezclar en una sola operación con parte de la base bituminosa

subyacente en el espesor de diseño y, como resultado de dicho proceso, el material debe cumplir la gradación establecida en el numeral 461.2.1. Si no se cumple este requisito, se deben detener los trabajos hasta eliminar las causas de la anomalía.

En caso de que se requiera la adición de material pétreo para obtener la granulometría establecida en la fórmula de trabajo, la operación de disgregación debe ser completada antes de proceder a la adición y la mezcla del agregado nuevo. Los procedimientos para la incorporación del agregado de adición y su mezcla y homogenización con el material disgregado, así como para la conformación del material combinado sobre la calzada, debe ser establecido por el interventor durante la fase de experimentación, de acuerdo con las condiciones particulares de la obra.

Todo sobretamaño que no haya sido reducido durante el proceso, debe ser retirado y dispuesto en el sitio que haya autorizado el interventor.

Si alguna sección de pavimento fresado debe ser abierta temporalmente al tránsito, debe ser previamente compactada y conformada hasta ser aprobada por el interventor.

En las áreas donde resulte imposible la operación de la máquina recicladora, el material se debe demoler con otros medios mecánicos aprobados por el interventor. Los productos así obtenidos se deben trasladar a un centro de acopio autorizado. Estas áreas se deben rellenar con materiales que cumplan los requisitos exigidos para el conjunto de la obra.

Cuando el diseño determine que el espesor de la capa reciclada compactada sea superior a doscientos milímetros (200 mm), el proceso de reciclado se debe realizar en dos (2) capas de espesor aproximadamente igual, sin que ninguna de ellas tenga menos de cien milímetros (100 mm). En este caso, se debe retirar provisionalmente la parte de material con la que se debe construir la capa superior, mientras se recicla, extiende, compacta y cura la capa inferior. Para cada capa se deben aplicar los procedimientos de ejecución y control descritos en el presente artículo.

461.4.8 Incorporación de aditivos, agua y producto bituminoso, elaboración y extensión de la mezcla

Antes de iniciar el proceso en obra, se deben purgar y poner a punto las bombas y difusores de agua y producto bituminoso de la recicladora, por fuera del lugar de empleo, para garantizar las dosificaciones establecidas en la fórmula de trabajo, de manera continua y uniforme. En cada parada de la recicladora se deben limpiar los difusores y, como mínimo, dos (2) veces por día. Las operaciones de abastecimiento de agua y productos bituminosos a la máquina se deben realizar sin afectar la circulación en los carriles que se mantengan en servicio.

La aplicación de los aditivos puzolánicos, en la cantidad especificada, se debe hacer sobre la superficie del pavimento por reciclar, inmediatamente antes del paso de la máquina recicladora, si el proceso se va a realizar en una sola capa; en caso contrario, se deben aplicar sobre el material fresado en cada capa.

Cuando se trabaje en una sola capa y no se requiera la adición de agregados nuevos, la máquina recicladora debe ejecutar en una sola pasada las operaciones de disgregación,

adición de fluidos y mezcla homogénea en todo el ancho y profundidad del tratamiento.

Cuando el ancho de la superficie por reciclar sea mayor que el de operación de la recicladora, el trabajo se debe realizar por franjas paralelas que se deben traslapar en un ancho comprendido entre quince y treinta centímetros (15 cm – 30 cm), para no dejar materiales sin mezclar en los bordes. Si se están usando dos (2) equipos de reciclado en paralelo, se debe adoptar la misma precaución y el desfase en la operación de ellos debe ser el menor posible, para evitar la formación de una junta longitudinal.

La operación de extensión se debe detener si se observa que se produce segregación o contaminación y se deben efectuar las correcciones necesarias antes de continuar los trabajos.

Cuando se deba trabajar en dos capas, la superior solo se puede extender cuando la primera haya sido aprobada por el interventor y, además, haya alcanzado el nivel de curado exigido en el numeral 461.4.12. Como guía general, una capa reciclada está en capacidad de recibir la capa superior cuando la humedad de aquella, en la mitad de su espesor, sea constante e inferior a uno por ciento (1 %).

Las operaciones de reciclado se deben realizar en segmentos completos. Cada segmento debe ser homogenizado, mezclado y compactado en la misma jornada de trabajo.

Toda mezcla afectada por las aguas lluvias durante su elaboración o después de compactada, puede ser corregida por el constructor si, por instrucción del interventor, ello resulta posible; en caso contrario, debe ser reemplazada por una de calidad satisfactoria. En ninguno de los dos casos debe haber lugar a pago adicional alguno por parte de INVÍAS.

461.4.9 Compactación de la mezcla

Extendida la mezcla, se debe proceder a su compactación en el instante y con el equipo y procedimiento aprobados durante la fase de experimentación, hasta lograr los niveles de compactación exigidos. Sin embargo, no pueden transcurrir más de treinta minutos (30 min) desde su extensión hasta el inicio de la compactación.

La compactación se debe realizar longitudinalmente, comenzando por el borde más bajo de la franja que se esté tratando, de manera continua, hasta alcanzar la masa unitaria especificada en el presente artículo. Al compactar cada franja se debe efectuar un traslapo de no menos de quince centímetros (15 cm) con la precedente.

Los rodillos deben llevar su rueda motriz hacia el frente. Los cambios de dirección se deben hacer sobre la mezcla ya compactada y los cambios de sentido se deben efectuar con suavidad.

Siempre que el interventor lo considere necesario, se deben aplicar riegos de agua durante el proceso de compactación para compensar las pérdidas por evaporación y para cerrar la textura de la capa.

En los lugares inaccesibles a los equipos convencionales de compactación, se permite la operación de placas o rodillos vibratorios

pequeños, pero de características apropiadas para lograr resultados similares a los obtenidos con el equipo de compactación aprobado.

De ser preciso, se debe efectuar un perfilado final con motoniveladora, con el fin de obtener una pendiente transversal adecuada para el drenaje del agua superficial.

461.4.10 Juntas de trabajo

Después de extendida y compactada una franja, se debe realizar la siguiente mientras el borde de la primera se encuentre en condiciones de ser compactado; de lo contrario, se debe ejecutar una junta longitudinal, aplicando una capa delgada y uniforme de emulsión asfáltica antes de extender la nueva franja. Se debe procurar que las juntas longitudinales queden en los bordes de los carriles de la vía y, en caso excepcional, en el centro de ellos, pero nunca en las zonas de concentración de la circulación de las ruedas del tránsito automotor.

Las juntas transversales de trabajo se deben efectuar fresando el material de una zona ya tratada en la longitud suficiente (en general no menos de un diámetro del rotor de fresado), bajando hasta la profundidad especificada sin avanzar, para que se pueda regular con precisión la incorporación del ligante en la zona no tratada.

461.4.11 Apertura al tránsito

Terminada la compactación, la capa se puede abrir al tránsito, limitando la velocidad de los vehículos a treinta kilómetros por hora (30 km/h) durante las primeras cuarenta y ocho horas (48 h), cuando el reciclado se haya realizado con asfalto espumado. Si el reciclado se ha realizado con emulsión asfáltica, la apertura no se puede realizar antes de tres días (3 d), aunque el plazo preciso debe ser definido por el interventor.

461.4.12 Curado y protección superficial de la capa compactada

Las capas recicladas *in situ* requieren un período de curado para su maduración, antes de que se autorice su cobertura. El tiempo de curado debe ser el suficiente para que el contenido de humedad del material reciclado y compactado sea inferior a uno por ciento (1 %). Por lo general, dicho período es, como mínimo, de diez días (10 d) en el caso de reciclados con emulsión asfáltica y de cinco días (5 d) cuando se utilice cemento asfáltico espumado, dependiendo de las condiciones climáticas.

Durante dicho lapso, el constructor debe aplicar los riegos de protección que le solicite el interventor, para prevenir el deterioro de la capa reciclada por la acción de las aguas superficiales y del tránsito automotor. Dichos riegos se deben realizar de acuerdo con el artículo 422, Riego de curado, excepto que la emulsión va a estar diluida en agua de manera que el ligante residual sea aproximadamente treinta por ciento (30 %) y la dosificación del ligante va a estar entre cero coma dos y cero coma tres kilogramos de ligante residual por metro cuadrado (0,2 kg/m^2 – 0,3 kg/m^2).

461.4.13 Conservación

El constructor debe conservar la capa de pavimento reciclado *in situ* en perfectas condiciones hasta que se construya la capa superior prevista en los documentos del

proyecto. Todo daño que se presente debe ser corregido, a su costa, hasta contar con la aprobación del interventor.

461.4.14 Limitaciones en la ejecución

No se deben permitir trabajos de reciclado *in situ* en el lugar con productos bituminosos cuando la temperatura ambiente a la sombra sea inferior a cinco grados Celsius (5 °C) o en instantes en que haya lluvia o fundados temores de que ella ocurra.

Los trabajos de construcción del pavimento reciclado *in situ* con ligantes bituminosos se deben efectuar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera culminar el proyecto en un tiempo especificado por INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre que el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que resulte adecuado, y que cuente con la aprobación del interventor. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

461.4.15 Manejo ambiental

Al respecto, rige el artículo 106, Aspectos ambientales, así como todo lo que resulte aplicable del numeral 400.4.7 del artículo 400.

461.4.16 Reparaciones

Todos los defectos no advertidos durante la colocación y la compactación, tales como protuberancias, juntas irregulares, depresiones, irregularidades de alineamiento y de nivel, deben ser corregidos por el constructor, sin costo adicional para INVÍAS, de acuerdo con las instrucciones del interventor. El constructor debe proporcionar trabajadores competentes, capaces de ejecutar a satisfacción el trabajo eventual de correcciones en todas las irregularidades de la capa construida.

461.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

461.5.1 Controles

Rige lo que resulte aplicable del numeral 400.5.1 del artículo 400.

461.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

461.5.2.1 Calidad del producto bituminoso

Se deben aplicar los requisitos de calidad, los controles y los criterios de aceptación para el cemento asfáltico establecidos en los artículos 410 o 411, según corresponda.

En el caso de reciclado con asfalto espumado, se deben realizar pruebas para verificar la relación de expansión y la vida media.

461.5.2.2 Calidad del agua

Siempre que se tenga alguna incertidumbre en relación con la calidad del agua utilizada en el reciclado *in situ* con ligantes bituminosos, debe verificar su pH y su contenido de sulfatos. Sus resultados deben satisfacer las exigencias del numeral 461.2.5 para permitir su empleo. Si no las satisfacen, se debe impedir el uso posterior

de dicha agua y los tramos ya elaborados con esta se deben someter a observación.

461.5.2.3 Calidad de los aditivos y de otros elementos de aporte

Se deben realizar las pruebas requeridas para verificar la calidad de estos productos, cada vez que se considere necesario. El incumplimiento de las especificaciones pertinentes de estos productos implica el rechazo del envío correspondiente.

461.5.2.4 Calidad de los agregados pétreos de adición

En caso de que se requieran agregados pétreos de adición, se deben realizar los siguientes controles:

461.5.2.4.1 Aprobación inicial

De cada procedencia de los agregados pétreos y para cualquier volumen previsto, se deben tomar cuatro (4) muestras y a cada fracción de ellas se le deben realizar los ensayos que se encuentran indicados en la Tabla 461 — 2. Los resultados de estas pruebas deben satisfacer las exigencias indicadas en dicha tabla, so pena de rechazo de los materiales defectuosos.

461.5.2.4.2 Control de producción

Durante la etapa de producción, el interventor debe examinar las descargas a los acopios y debe ordenar el retiro de los agregados que, a simple vista, contengan tierra vegetal, presenten restos de materia orgánica, o tamaños superiores al máximo especificado. También, debe ordenar acopiar por separado aquellos que presenten alguna anomalía de aspecto, tal como distinta coloración, segregación, partículas alargadas o aplanadas, y plasticidad, y debe vigilar la altura de todos los acopios y el estado de sus elementos separadores.

Además, debe efectuar las verificaciones de calidad indicadas en la Tabla 461 — 8.

Tabla 461 — 8. Ensayos de verificación sobre los agregados de adición

Característica	Norma de ensayo INV	Frecuencia
Composición (F)		
Granulometría	E-213	1 por jornada
Dureza, agregado grueso (O)		
Desgaste en la máquina de Los Ángeles	E-218	1 por mes
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval	E-238	1 por mes
Resistencia mecánica por el método del 10 % de finos	E-224	1 por mes
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio	E-220	1 por mes
Limpieza, gradación combinada (F)		
Límite líquido	E-125	1 por jornada
Índice de Plasticidad	E-125 y E-126	1 por jornada
Equivalente de arena	E-133	1 por semana

Característica	Norma de ensayo INV	Frecuencia
Limpieza, gradación combinada (F)		
Valor de azul de metileno	E-235	1 por semana
Terrones de arcilla y partículas deleznables	E-211	1 por semana
Geometría de las partículas, agregado grueso (F)		
Partículas planas y alargadas, relación 5:1	E-240	1 por semana
Caras fracturadas	E-227	1 por jornada
Geometría de las partículas, agregado fino (F)		
Angularidad de la fracción fina, método A	E-239	1 por jornada
Resistencia (F)		
CBR	E-148	1 por mes

El interventor puede autorizar la reducción de la frecuencia de los ensayos hasta en cincuenta por ciento (50 %) de lo indicado en la Tabla 461 — 8, siempre que considere que los materiales son suficientemente homogéneos o si en el control de recibo de la obra terminada hubiese aceptado sin objeción diez (10) lotes consecutivos.

No se deben emplear agregados minerales que no satisfagan los requisitos pertinentes del numeral 461.2.1.2. En la eventualidad de que alguna prueba dé lugar a un resultado no satisfactorio, se deben tomar dos (2) muestras adicionales del material y se debe repetir la prueba. Los resultados de ambos ensayos de comprobación deben ser satisfactorios o, de lo contrario, el interventor no debe autorizar la utilización del material al cual representen dichos ensayos.

461.5.2.5 Composición de la mezcla

Para efectos del control, se debe considerar como lote el volumen de material que resulte de aplicar los criterios del numeral 461.5.2.7.1.

Cuantitativamente, se deben realizar los siguientes controles:

461.5.2.5.1 Contenido de asfalto

Sobre tres (3) muestras de la mezcla elaborada correspondiente a un lote, definido como se indica en el numeral 461.5.2.7.1, se debe determinar el contenido de asfalto residual (norma de ensayo INV E-732).

El porcentaje de asfalto residual promedio del lote (*ART* %) tiene una tolerancia de uno por ciento (1,0 %) con respecto al establecido en la fórmula de trabajo (*ARF* %). Dicho porcentaje incluye tanto la cantidad de ligante aportada por la emulsión o el cemento asfáltico espumado, como la suministrada por la estructura que se recicla.

$$ARF\ \% - 1{,}0\ \% \leq ART\ \% \leq ARF\ \% + 1{,}0\ \% \quad [461.1]$$

A su vez, el contenido de asfalto residual de cada muestra individual (*ARI* %), no puede diferir del valor medio del lote (*ART*%) en más de uno por ciento (1,0 %), admitiéndose solo un (1) valor por fuera de este intervalo.

$$ART\ \% - 1{,}0\ \% \leq ART\ \% \leq ART\ \% + 1{,}0\ \% \quad [461.2]$$

Un porcentaje de asfalto residual fuera de tolerancia, así como un número mayor de muestras individuales por fuera de los límites implica el rechazo del lote salvo que, en el caso de exceso del ligante, el constructor demuestre que no hay problemas de comportamiento de la capa reciclada.

En caso de rechazo, la capa reciclada correspondiente al lote controlado debe ser levantada y corregida o reemplazada hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS.

461.5.2.5.2 Granulometría de los agregados

Sobre las muestras utilizadas para hallar el contenido de asfalto, se debe determinar la composición granulométrica de los agregados, mediante la norma de ensayo INV E-782. Las curvas obtenidas se deben ajustar a la establecida al determinar la fórmula de trabajo, con las tolerancias que se indican en la Tabla 461 — 9.

Cuando los valores obtenidos incumplan este requisito, el constructor debe preparar en el laboratorio una mezcla con la gradación defectuosa y el porcentaje de emulsión o asfalto espumado que dé lugar al contenido medio de asfalto residual de la mezcla elaborada con dicho material. Ella se debe someter a las pruebas mencionadas en el numeral 461.4.3. Si todos los requisitos allí indicados no se cumplen, se debe rechazar el lote al cual correspondan esas muestras.

Tabla 461 — 9. Tolerancias granulométricas de los agregados para reciclado *in situ* empleando ligantes bituminosos

Tamiz	Tolerancia en puntos de porcentaje (%) sobre la masa seca de los agregados
2,00 mm (nro. 10) y mayores	± 6
0,425 mm (nro. 40)	± 4
0,075 mm (nro. 200)	± 3

461.5.2.6 Calidad de la mezcla

461.5.2.6.1 Resistencia

Con un mínimo de dos (2) muestras por lote de la mezcla elaborada, se deben moldear probetas (tres (3) por muestra) para verificar en el laboratorio su resistencia en el ensayo de inmersión-compresión (norma INV E-622) cuando el reciclado se ejecute con emulsión asfáltica o en el ensayo de tracción indirecta (norma INV E-785) cuando se realice con asfalto espumado. Tres (3) de ellas se deben curar en seco y tres (3) bajo condición húmeda.

El promedio de la resistencia de las tres (3) probetas sometidas a curado seco (R_m) debe superar o al menos igualar al noventa por ciento (90 %) de la respectiva resistencia de la mezcla definitiva de trabajo (R_t). Un criterio similar se debe aplicar para las probetas sometidas a curado húmedo.

$$R_m \geq 0{,}90 * R_t \quad [461.3]$$

Además, la resistencia de cada probeta (R_i) debe ser igual o superior al ochenta por ciento (80 %) del valor medio de su respectivo grupo, admitiéndose solo un (1) valor individual por debajo de ese límite:

$$R_i \geq 0{,}80 * R_m \quad [461.4]$$

A su vez, la resistencia conservada promedio (R_{cm}) debe ser, como mínimo, el setenta y cinco por ciento (75 %) en las mezclas elaboradas con emulsión asfáltica y el cincuenta por ciento (50 %) en las elaboradas con asfalto espumado, sin que al respecto se admita ninguna tolerancia.

Si uno o más de estos requisitos se incumplen, se debe rechazar el lote al cual representan las muestras. En caso de rechazo, la capa reciclada correspondiente al lote controlado debe ser levantada mediante fresado y debe ser corregida o reemplazada hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS.

Si el incumplimiento se presenta en dos (2) lotes consecutivos, se deben suspender los trabajos hasta que se estudie una nueva fórmula de trabajo que garantice el cumplimiento de todos los requisitos establecidos en el numeral 461.4.3, para el tipo de mezcla que se esté evaluando.

461.5.2.7 Calidad del producto terminado

461.5.2.7.1 Tamaño del lote

Se debe considerar como lote, que se acepta o rechaza en conjunto, la menor área construida que resulte de aplicar los siguientes criterios, para una sola capa de mezcla asfáltica reciclada:

- Quinientos metros (500 m) de mezcla colocada en todo el ancho de la calzada.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m^2) de mezcla colocada.
- La obra ejecutada en una jornada de trabajo.

Además, sobre cada lote se deben realizar las siguientes verificaciones.

461.5.2.7.2 Aspectos generales

La capa terminada debe presentar una superficie uniforme y ajustarse a las rasantes y pendientes establecidas. La distancia entre el eje del proyecto y el borde de la capa que se recicla, excluidos sus chaflanes, no puede ser menor que la señalada en los documentos del proyecto. La cota definitiva de cualquier punto de la capa reciclada *in situ* no puede variar en más de diez milímetros (10 mm) de la proyectada.

Las áreas del pavimento reciclado in situ con productos bituminosos que presenten defectos de calidad y/o terminación dadas en la presente especificación, deben ser corregidas por el constructor de acuerdo con las instrucciones del interventor y a satisfacción de este, sin que ello genere costo adicional alguno para el INVÍAS.

461.5.2.7.3 Compactación

Los sitios para la determinación de la densidad de la capa se deben elegir al azar, según la norma de ensayo INV E-730, pero de manera que se realice al menos una (1)

prueba por hectómetro. Se deben efectuar, como mínimo, cinco (5) ensayos por lote.

Para el control de la compactación de una capa de pavimento asfáltico reciclado *in situ* con ligantes bituminosos, se debe calcular su grado de compactación, a partir de los resultados de los ensayos de densidad en el terreno y del ensayo de relaciones humedad-peso unitario (ensayo modificado de compactación), mediante la expresión que resulte aplicable entre las siguientes:

- Material sin sobretamaños:

$$GC_i = \frac{\gamma_{d,i}}{\gamma_{d,máx}} * 100 \quad [461.5]$$

- Material con sobretamaños:

$$GC_i = \frac{\gamma_{d,i}}{C\gamma_{d,máx}} * 100 \quad [461.6]$$

Donde:

GC_i, valor individual del grado de compactación, en porcentaje.

$\gamma_{d,i}$, valor individual del peso unitario seco del material en el terreno, determinado por cualquier método aplicable de los descritos en las normas de ensayo INV E-161, INV E-162 y INV E-164, sin efectuar corrección por presencia de sobretamaños de manera que corresponda a la muestra total.

$\gamma_{d,máx}$, valor del peso unitario seco máximo del material, obtenido según la norma de ensayo INV E-142 (ensayo de compactación modificado) sobre una muestra representativa del mismo.

$C\gamma_{d,máx}$, valor del peso unitario seco máximo del material, obtenido según la norma de ensayo INV E-142 (ensayo de compactación modificado) sobre una muestra representativa del mismo, y corregido por sobretamaños, según la norma de ensayo INV E-143, numeral 3.1, de manera que corresponda a la muestra total.

Sobretamaños (fracción gruesa) (P_{FG}), porción de la muestra total retenida en el tamiz de control correspondiente al método utilizado para realizar el ensayo de compactación (norma INV E-142).

El peso unitario seco máximo corregido del material ($C\gamma_{d,máx}$) que se use para calcular el grado de compactación individual (GC_i) se obtiene, para cada sitio, a partir del contenido de sobretamaños (P_{FG}) presente en ese sitio.

Para la aceptación del lote se deben aplicar los siguientes criterios:

GC_l (90) ≥ 95,0 % se acepta el lote [461.7]

GC_l (90) < 95,0 % se rechaza el lote [461.8]

Donde:

GC_l (90), límite inferior del intervalo de confianza en el que, con una probabilidad del noventa por ciento (90 %), se encuentra el valor promedio del grado de compactación del lote, en porcentaje; se calcula según el numeral 107.3.1.3 del artículo 107, Control y aceptación de los trabajos, a partir de los valores individuales del grado de compactación (GC_i).

Las comprobaciones de la compactación se deben realizar cuando se haya cumplido

sustancialmente el período de curado de la mezcla, conforme se haya determinado en la fase de experimentación.

En caso de rechazo, la capa de pavimento reciclado *in situ* correspondiente al lote controlado debe ser levantada y corregida hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS.

461.5.2.7.4 Espesor

Sobre la base del lote escogido para el control de la compactación y en los mismos puntos de verificación, se debe determinar el espesor promedio de la capa compactada (e_m), el cual no puede ser inferior al espesor de diseño (e_d).

$$e_m \geq e_d \quad [461.9]$$

Además, el valor obtenido en cada determinación individual (e_i) debe ser, como mínimo, igual al noventa y ocho por ciento (98 %) del espesor de diseño.

$$e_i \geq 0{,}98 * e_d \quad [461.10]$$

Si se incumple alguno de estos requisitos, se debe rechazar el lote, salvo que el constructor se comprometa a compensar la deficiencia incrementando el espesor de la capa superior del pavimento en el espesor faltante, sin que el exceso de espesor por colocar de esta última genere costo alguno para INVÍAS.

En caso de rechazo, la capa de pavimento reciclado *in situ* correspondiente al lote controlado se debe levantar y corregir hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS.

461.5.2.7.5 Planicidad

La superficie acabada no puede presentar, en ningún punto, zonas de acumulación de agua ni irregularidades mayores de quince milímetros (15 mm), cuando se compruebe con una regla de tres metros (3 m), según la norma de ensayo INV E-793. La regla se debe colocar tanto paralela como perpendicularmente al eje de la vía, en los sitios que escoja el interventor, los cuales no pueden corresponder a puntos donde haya cambios de pendiente transversal, de acuerdo con el diseño.

Todas las áreas donde los defectos de terminación excedan estas tolerancias deben ser corregidas por el constructor, de acuerdo con las instrucciones del interventor y hasta ser aprobadas por este, sin que ello genere costo adicional alguno para INVÍAS.

461.5.2.7.6 Correcciones por variaciones en el diseño o por causas no imputables al constructor

Cuando sea necesario efectuar correcciones a la capa de pavimento reciclado *in situ* con productos bituminosos, por modificaciones en el diseño estructural o por fuerza mayor u otras causas inequívocamente no imputables al constructor, el interventor debe delimitar el área afectada y debe ordenar las correcciones necesarias, por cuyo trabajo debe autorizar pago al constructor, al respectivo precio unitario del contrato.

461.5.2.7.7 Medidas de deflexión

El interventor debe verificar la homogeneidad de la estructura construida al nivel de

la capa de mezcla asfáltica reciclada *in situ*, realizando medidas de deflexión con alguno de los dispositivos presentados en la norma de ensayo INV E-797, de acuerdo con el procedimiento normal aplicable a él. Los resultados de las medidas, que se deben realizar en tresbolillo cada veinte metros (20 m), no deben constituir la base para aceptación o rechazo de la capa construida, sino que deben servir a INVÍAS para verificar la homogeneidad de la estructura que se construye y realizar los ajustes que pudieran resultar necesarios al diseño estructural del pavimento.

En todo caso, se recomienda en la medida de lo posible que no se emplee la Viga Benkelman para las mediciones de las deflexiones de la capa, especialmente en niveles de tránsito altos como el NT3.

461.6 Medida

Rige lo descrito en el numeral 400.6 y en particular en el numeral 400.6.2 del artículo 400.

461.7 Forma de pago

Rige lo descrito en el numeral 400.7 y en particular en el numeral 400.7.4 del artículo 400.

El precio unitario debe incluir, también, costo del retiro provisional de la parte del material con la que se debe construir la capa superior de reciclado mientras se construye la capa inferior, cuando el diseño determine que el espesor de la capa reciclada compactada es superior a doscientos milímetros (200 mm), proceso al cual se hace referencia en el numeral 461.4.7.

Así mismo, el precio unitario debe incluir el costo de los riegos de protección mencionados en el numeral 461.4.12.

Se excluyen del precio unitario los siguientes aspectos:

- El suministro y el almacenamiento de los ligantes bituminosos, que se deben pagar de acuerdo con los artículos 410 o 411, según corresponda.
- La demolición de estructuras de servicios públicos a la cual se hace referencia en el numeral 461.4.5 y su posterior reconstrucción se deben pagar de acuerdo con la(s) especificación(es) particular(es) que se redacte(n) para estas actividades.
- La puzolana que se incluya en la mezcla para complementar la reactividad, de acuerdo con lo indicado en el numeral 461.2.3, que se debe pagar como se indique en una especificación particular.

461.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
461.1	Pavimento reciclado *in situ* con emulsión asfáltica	Metro cúbico (m^3)
461.2	Pavimento reciclado *in situ* con asfalto espumado	Metro cúbico (m^3)

Reciclado de pavimento asfáltico en planta y en caliente

Artículo 462 – 22

462.1 Descripción

Este trabajo consiste en el acopio y la utilización de materiales disgregados de capas asfálticas de pavimentos en servicio o excedentes de una mezcla asfáltica no utilizada, siempre y cuando estos no hayan sido rechazados a causa de la baja calidad de sus componentes o de la mezcla misma, la preparación de una nueva mezcla asfáltica en caliente mezclando dichos materiales con agregados pétreos de adición y con material bituminosos de adición y, de ser necesario, agentes rejuvenecedores y/o aditivos; el eventual almacenamiento, el transporte, la colocación y la compactación de la nueva mezcla, de acuerdo con los alineamientos, las cotas, las secciones y los espesores indicados en los documentos del proyecto.

La obtención del material por reciclar mediante la disgregación de una parte o de la totalidad de las capas asfálticas de un pavimento existente, según las profundidades de corte señaladas en los documentos del proyecto; la recuperación, el cargue del material disgregado, su transporte y su descargue en el sitio de acopio, se encuentran cubiertos por el artículo 460, Fresado de pavimento asfáltico.

Los tipos de mezclas asfálticas elaboradas mediante el reciclado del pavimento asfáltico en planta y en caliente se denominan de acuerdo con lo mencionado en el artículo 450, Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (Concreto asfáltico).

462.2 Materiales

462.2.1 Agregados pétreos

Los agregados pétreos para la elaboración de la mezcla reciclada tienen dos (2) procedencias: los agregados pétreos de reciclaje y los agregados pétreos de adición.

La granulometría del agregado obtenido mediante la combinación de las distintas fracciones, incluido el llenante mineral, debe estar comprendida dentro de alguna de las franjas fijadas en la Tabla 450 – 5 del artículo 450.

462.2.1.1 Agregados pétreos de reciclaje

Los agregados obtenidos del material fresado no deben mostrar signos de meteorización y su calidad debe ser similar a la exigida para los agregados de adición. Para la ejecución de los trabajos, que son objeto del presente artículo, no se pueden emplear materiales disgregados provenientes de mezclas abiertas en caliente, de mezclas discontinuas en caliente para capa de rodadura o de mezclas drenantes.

Se pueden emplear los excedentes de fabricación de una mezcla asfáltica en caliente,

como las descritas en el artículo 450, que no se hayan utilizado en la obra por constituir sobrantes o haber sido rechazados por llegar con una temperatura muy baja, pero nunca por la baja calidad de sus componentes o de la mezcla misma.

Por ningún motivo se debe permitir el empleo de agregados pétreos de reciclaje que provengan de una capa asfáltica que hubiera presentado deterioros del tipo afloramientos de asfalto (exudación).

Si se tiene previsto el empleo de agregados pétreos de reciclaje provenientes de capas asfálticas con geosintéticos incluidos, o en cuya elaboración se hubieran utilizado adiciones para modificar la reología del ligante asfáltico o el comportamiento mecánico de la mezcla, tales como caucho, fibras, etc., se debe requerir un estudio ambiental específico, debido a la posibilidad de emisión de contaminantes durante el proceso de elaboración de la nueva mezcla.

El agregado pétreo de reciclaje debe ser homogéneo, no debe contener contaminantes y debe estar caracterizado, y es necesario que se someta a un proceso previo de trituración, eliminación de contaminantes y homogeneización.

En caso que la extracción de la capa asfáltica haya sido por bloques y no por fresado, este material debe ser considerado como «material bituminoso bruto». Este debe ser sometido a un proceso previo de trituración, eliminación de contaminantes y homogeneización para considerarse como agregado pétreo de reciclaje.

462.2.1.1.1 Designación de los agregados pétreos de reciclaje

Se designa a los agregados pétreos de reciclaje a través de la siguiente expresión:

$$U - APR - D \quad [462.1]$$

Donde:

U, es la menor abertura del tamiz [en milímetros (mm)] a través del cual pasa el cien por ciento (100 %) de las partículas del agregado pétreo de reciclaje de origen (con material bituminoso de reciclaje adherido), obtenido a partir del ensayo de tamizado según la norma INV E-782 (valor máximo encontrado entre todas las muestras).

APR, abreviación de Agregados Pétreos de Reciclaje.

D, es la abertura del tamiz inmediatamente menor al tamaño máximo absoluto cuando por dicho tamiz pasa el noventa por ciento (90 %) o más de la masa del agregado pétreo de reciclaje a usar en la mezcla, sin material bituminoso de reciclaje (tamaño máximo nominal promedio), obtenido a partir del ensayo de tamizado según la norma INV E-782. Para realizar la separación del material bituminoso de reciclaje de la parte granular se deben seguir los lineamientos de la norma INV E-732.

La frecuencia de ensayo para la designación de los agregados pétreos de reciclaje debe ser la misma que la definida en el numeral 462.2.1.1.2.

Ejemplo: un agregado pétreo de reciclaje cuya *U* = 25 mm y un *D* = 9,5 mm, debe ser designado como: 25 *APR* 9,5.

462.2.1.1.2 Clasificación del lote de estudio de agregados pétreos de reciclaje

Un lote de estudio corresponde a la cantidad total de agregado pétreo de reciclaje proveniente de un mismo sitio de fresado y almacenado según lo indicado en el numeral 462.4.2.

Se deben someter como mínimo cinco (5) muestras del lote de estudio para cada ensayo exigido con el fin de garantizar una clasificación promedio del material. Si el lote de estudio excede las mil toneladas (1 000 t) el número de muestras debe aumentar en uno (1) cada mil toneladas (1 000 t).

Ejemplo: Un lote de estudio de agregado pétreo de reciclaje cuenta con tres mil quinientas toneladas (3 500 t) de material. Para la clasificación de dicho lote se deben prever las cinco (5) muestras mínimas, más dos (2) muestras complementarias dada la masa del lote, para un total de siete (7) muestras por cada ensayo requerido para su clasificación.

Esta metodología para definir la frecuencia de muestreo para los ensayos, debe ser respetada para la clasificación del lote de estudio en función de:

- Materiales ajenos
- Granulometría
- Contenido de asfalto

462.2.1.1.2.1 Clasificación de los agregados pétreos de reciclaje en función de los materiales ajenos

Para identificar los materiales ajenos en un lote de estudio, las muestras de agregados pétreos de reciclaje deben tener una masa de al menos veinte kilogramos (20 kg) y deben ser sometidas a un proceso de tamizaje sobre el tamiz de 9,5 mm (3/8 de pulgada). En caso de no contar con el tamiz de 9,5 mm (3/8 de pulgada), se puede realizar el proceso sobre un tamiz de un tamaño inferior, pero con una abertura no menor de 8 mm (5/16 de pulgada).

Durante el proceso de fresado y/o acopio de los materiales de reciclaje se pueden encontrar materiales no bituminosos, los cuales, en adelante, se denominan materiales ajenos. Estos materiales ajenos se pueden clasificar en dos (2) grupos como se expone a continuación:

- Grupo 1: productos en concreto, restos de adoquín, materiales de subcapas (no se tienen en cuenta granulares naturales), mortero y metales.
- Grupo 2: materiales sintéticos, madera y plásticos.

Luego del proceso de tamizaje se deben extraer a mano los materiales ajenos e identificados según el grupo correspondiente. A partir de la masa de los materiales ajenos extraídos con respecto a la masa de la muestra inicial, se obtiene el contenido de materiales ajenos.

Los agregados pétreos de reciclaje, en función del contenido de material ajeno, se clasifican según las indicaciones de la Tabla 462 — 1.

Tabla 462 — 1. Clasificación de agregado pétreo de reciclaje en función del contenido de material ajeno promedio

Clasificación	Contenido de materiales de Grupo 1	Contenido de materiales de Grupo 2
F_1	≤ 1 %	≤ 0,1 %
F_5	≤ 5 %	≤ 0,1 %
F_N	No caracterizado	No caracterizado

Nota 1: si los agregados pétreos de reciclaje son conformes tan solo para uno de los dos grupos, el material se debe clasificar como F_N.

Nota 2: si los agregados pétreos de reciclaje no son conformes para las clases F_1 y F_5, el material se debe clasificar como F_N.

Nota 3: todo agregado pétreo que se utilice en una estructura de pavimento debe estar clasificado como F_1.

462.2.1.1.2.2 Clasificación de los agregados pétreos de reciclaje en función de la granulometría

En función de la curva granulométrica promedio y la diferencia entre las curvas granulométricas de las muestras, el agregado pétreo de reciclaje se clasifica de acuerdo con la Tabla 462 — 2.

Tabla 462 — 2. Clasificación de agregado pétreo de reciclaje en función de la granulometría

Clasificación	Pasa tamiz 1,4*D (%)	Pasa tamiz tamaño D (%)		Pasa tamiz de 2,00 mm (nro. 10) (%)	Pasa tamiz de 0,075 mm (nro. 200) (%)
		Límites	Diferencia entre valor máximo y mínimo entre ensayos	Diferencia entre valor máximo y mínimo entre ensayos	Diferencia entre valor máximo y mínimo entre ensayos
G_0	≥ 99 %	Entre 85 % y 99 %	≤ 10 %	≤ 10 %	≤ 3 %
G_1	≥ 99 %	Entre 85 % y 99 %	≤ 10 %	≤ 15 %	≤ 4 %
G_2	≥ 99 %	Entre 85 % y 99 %	≤ 15 %	≤ 20 %	≤ 6 %
G_N	No caracterizado	No caracterizado	No caracterizado	No caracterizado	No caracterizado

Nota: si los agregados pétreos de reciclaje no son conformes para las clases G_0, G_1 y G_2, el material se debe clasificar como G_N.

462.2.1.1.2.3 Clasificación de los agregados pétreos de reciclaje en función de su resistencia

En particular, para la clasificación de los agregados pétreos de reciclaje en función de su resistencia, se debe someter como mínimo una (1) muestra del lote de estudio para cada ensayo exigido, con el fin de garantizar una clasificación. Si el lote de estudio excede las cinco mil toneladas (5 000 t) el número de muestras debe aumentar en uno (1) cada cinco mil toneladas (5 000 t), obteniendo así una frecuencia de uno (1) cada cinco mil toneladas (5 000 t).

En función de la resistencia promedio al desgaste de los materiales granulares y la angularidad del agregado fino, el agregado pétreo de reciclaje se clasifica de acuerdo con la Tabla 462 — 3.

Tabla 462 — 3. Clasificación de agregado pétreo de reciclaje en función de la resistencia

Clasificación	Desgaste en la máquina de Los Ángeles (%) (LA) INV E-218	Desgaste por abrasión Micro-Deval (%) (MD) INV E-238	LA + MD (%)	Angularidad de la fracción fina (%) INV E-239	Desgaste por pulimiento (CPA) INV E-232
R_1	≤ 25 %	≤ 20 %	≤ 35 %	≤ 35 %	> 45
R_2	Entre 25 % y 30 %	Entre 20 % y 25 %	Entre 35 % y 45 %	≤ 35 %	No caracterizado
R_N	No caracterizado	No caracterizado	No caracterizado	No caracterizado	No caracterizado

Nota: si los agregados pétreos de reciclaje no son conformes para las clases R_1 y R_2, el material se debe clasificar como R_N.

462.2.1.1.2.4 Clasificación de los agregados pétreos de reciclaje en función de su contenido de asfalto

Para realizar la clasificación del agregado pétreo de reciclaje en función de su contenido de asfalto, se debe separar el ligante del material granular, de acuerdo con las indicaciones de las normas INV E-732 e INV E-759.

El agregado pétreo de reciclaje se clasifica en función de su contenido de asfalto (norma INV E-732), según la Tabla 462 – 4.

Tabla 462 – 4. Clasificación del material bituminoso de reciclaje en función de su contenido de asfalto

Clasificación	Contenido de asfalto (%) INV E-732
	Diferencia entre valor máximo y mínimo entre ensayos
CA_0	≤ 0,75 %
CA_1	≤ 1 %
CA_2	≤ 2 %
CA_N	No caracterizado o > 2 %

462.2.1.2 Agregados pétreos de adición

El agregado pétreo de adición, incluyendo el llenante mineral, debe cumplir los requisitos para las propiedades de origen (O) y las propiedades de fabricación (F) del numeral 450.2.1 del artículo 450.

Es recomendable que el agregado de adición tenga características mineralógicas similares a las del agregado pétreo de reciclaje, con el fin de evitar que el ligante tenga diferente adhesividad con cada uno de los componentes.

462.2.2 Material bituminoso

El material bituminoso para la elaboración de la mezcla reciclada tiene dos (2) componentes: el material bituminoso de reciclaje y el material bituminoso de adición.

Una mezcla reciclada puede tener tres (3) estados de mezcla entre el material bituminoso de reciclaje y el material bituminoso de adición:

- Mezcla perfecta
- Mezcla parcial
- No mezclados (*black rock*)

Todo material bituminoso de la mezcla debe presentar un estado de mezcla perfecta o parcial.

462.2.2.1 Material bituminoso de reciclaje

El material bituminoso proveniente del agregado pétreo de reciclaje o del excedente de una mezcla nueva debe ser susceptible de mezclar, de manera homogénea, con el material bituminoso de adición.

Se permite la utilización de agentes rejuvenecedores y/o aditivos, y su uso depende de las propiedades y la reología del material bituminoso de reciclaje, las condiciones del proyecto, el lugar y la ejecución del trabajo.

Para cada ensayo exigido, se deben obtener como mínimo cinco (5) muestras del lote de estudio con el fin de garantizar una clasificación promedio del material. Si el lote de estudio excede las mil toneladas (1 000 t) el número de muestras debe aumentar en uno (1) cada mil toneladas (1 000 t).

462.2.2.1.1 Clasificación según características residuales del material bituminoso de reciclaje

Para clasificar el material bituminoso de reciclaje se debe separar el ligante del material granular, para esto se deben seguir las indicaciones de las normas INV E-732 e INV E-759.

El material bituminoso de reciclaje se debe clasificar en función de los resultados de los ensayos de penetración y punto de ablandamiento (normas INV E-706 e INV E-712), según la Tabla 462—5.

Tabla 462 — 5. Clasificación del material bituminoso de reciclaje en función de su penetración y punto de ablandamiento

Clasificación	Penetración (0,1 mm) INV E-706			Punto de ablandamiento (°C) INV E-712		
	Mínima	Diferencia entre valor máximo y mínimo entre ensayos	Valor promedio	Máxima	Diferencia entre valor máximo y mínimo entre ensayos	Valor promedio
B_0	10	≥ 10	≥ 10	77	≤ 8	≤ 75
B_1	5	10 — 15	-	77	≤ 8	No caracterizado
B_2	5	≥ 15	-	77	≥ 8	No caracterizado
B_N	No caracterizado			No caracterizado		

Nota 1: si los agregados pétreos de reciclaje no son conformes para las clases B_0, B_1 y B_2, el material se debe clasificar como B_N.

Nota 2: en caso que el material bituminoso de reciclaje se clasifique como B_N por causa del no cumplimiento de la penetración mínima y/o el punto de ablandamiento máximo, se recomienda el uso de agentes rejuvenecedores y/o aditivos (ver numeral 462.2.3).

462.2.2.2 Material bituminoso de adición

El material bituminoso de adición debe ser cemento asfáltico, del grado de penetración que sea indicado en los documentos del proyecto.

El material bituminoso de adición se debe escoger en función de:

- La reología
- La tasa de agregado pétreo de reciclaje a incorporar
- Las condiciones meteorológicas del sitio de los trabajos (ver numeral 462.4.6.4)
- La velocidad de operación a la cual debe ser sometida la mezcla bituminosa
- Las condiciones del sitio de ejecución de los trabajos

El material bituminoso de adición puede corresponder a uno de los tipos indicados en el artículo 410, o al que establezca la especificación particular del proyecto.

El material bituminoso de adición puede ser modificado con polímeros. En caso de adición de polímeros se deben cumplir las indicaciones del artículo 414.

462.2.3 Agente rejuvenecedor para reciclado

En caso de uso de agentes rejuvenecedores, se deben cumplir los requisitos de la norma de ensayo INV E-812. El agente rejuvenecedor para reciclado debe ser un material orgánico, cuyas características químicas y físicas permitan devolverle al asfalto envejecido las condiciones

necesarias para el buen comportamiento de la nueva mezcla, según lo contemplen las especificaciones particulares del proyecto. La dosificación y la dispersión homogénea del agente rejuvenecedor para reciclado deben seguir las recomendaciones establecidas en la ficha técnica suministrada por su fabricante y deben ser aprobadas por el interventor.

El constructor debe garantizar que su incorporación no produce ningún efecto nocivo a los componentes de la mezcla (agregados pétreos de adición y de reciclaje, y material bituminoso de adición y reciclaje). Cualquier efecto adverso en el comportamiento del pavimento que se derive del empleo de agentes rejuvenecedores, es de responsabilidad exclusiva del constructor, quien debe efectuar todas las reparaciones que requiera la mezcla compactada, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), de acuerdo con las instrucciones del interventor.

462.2.4 Aditivos mejoradores de adherencia

En caso de uso de aditivos, se deben cumplir los requisitos del artículo 412. La dosificación y la dispersión homogénea de los aditivos deben seguir las recomendaciones establecidas en la ficha técnica suministrada por su fabricante y deben ser aprobadas por el interventor.

El constructor debe garantizar que su incorporación no produce ningún efecto nocivo a los componentes de la mezcla (agregados pétreos de adición y de reciclaje, y material bituminoso de adición y reciclaje). Cualquier efecto adverso en el comportamiento del pavimento que se derive del empleo del aditivo, es de responsabilidad exclusiva del constructor, quien debe efectuar todas las reparaciones que requiera la mezcla compactada, sin costo adicional para INVÍAS, de acuerdo con las instrucciones del interventor.

462.2.5 Polímeros

En caso de uso de polímeros, se deben cumplir los requisitos del artículo 414. La dosificación y la dispersión homogénea de los polímeros deben seguir las recomendaciones establecidas en la ficha técnica suministrada por su fabricante y deben ser aprobadas por el interventor. Se recomienda que el control exigido de recuperación elástica por tensión a veinticinco grados Celsius (25 °C) según la norma UNE 13398, sea superior a cincuenta por ciento (50 %).

El constructor debe garantizar que su incorporación no produce ningún efecto nocivo a los componentes de la mezcla (agregados pétreos de adición y de reciclaje, y material bituminoso de adición y reciclaje). Cualquier efecto adverso en el comportamiento del pavimento que se derive del empleo del polímero, es de responsabilidad exclusiva del constructor, quien debe efectuar todas las reparaciones que requiera la mezcla compactada, sin costo adicional para INVÍAS, de acuerdo con las instrucciones del interventor.

462.3 Equipo

Al respecto, es aplicable lo que resulte pertinente de lo indicado en el numeral 400.3 del artículo 400.

El equipo requerido para el reciclado de pavimentos asfálticos en planta y en caliente es,

en esencia, el mismo que se emplea para las mezclas asfálticas en caliente, pero adaptado para la introducción de agregados pétreos de reciclaje. En la Tabla 462 — 11 se recomiendan los distintos métodos de introducción de agregados pétreos de reciclaje en función de la tasa de reciclado a usar en la mezcla. El equipo debe garantizar que los materiales hidrocarbonados no puedan tener contacto directo con la flama del tambor secador.

462.4 Ejecución de los trabajos

462.4.1 Explotación de materiales y elaboración de agregados pétreos de adición

Los agregados pétreos de adición que se requieran, para la elaboración de la mezcla reciclada, deben ser explotados y procesados conforme como se describe en el numeral 105.13.3 del artículo 105, desarrollo de los trabajos.

462.4.2 Acopio del material bituminoso bruto

En caso que la extracción de la capa asfáltica haya sido por bloques y no por fresado, este material debe ser considerado como «material bituminoso bruto» y no como agregado pétreo de reciclaje, por lo tanto no puede ser incorporado en la mezcla asfáltica sin el debido tratamiento, conforme lo establecido en el numeral 462.4.4.

Este debe tener las mismas condiciones de acopio que los agregados pétreos de reciclado según las indicaciones del numeral 462.4.3.

462.4.3 Acopio de los agregados pétreos de reciclaje

Los agregados pétreos de reciclaje pueden provenir de la misma obra o encontrarse almacenados por haber sido extraídos en otro lugar. El tiempo de almacenamiento se debe reducir al mínimo posible para evitar que absorban una cantidad de agua excesiva de la atmósfera.

Las condiciones mínimas del lugar de acopio de los agregados pétreos de reciclaje que se deben cumplir son:

- Lugar alejado de cualquier tipo de polución.
- Suelo del almacenamiento preferiblemente pavimentado, en caso contrario no se pueden utilizar los quince centímetros (15 cm) inferiores como material para reciclado.
- Las pilas de material no deben tener espesores inferiores a un metro (1 m).
- En las regiones donde la temperatura ambiente exceda de treinta grados Celsius (30 °C), los acopios de agregado pétreo de reciclaje no pueden tener una altura mayor de tres metros (3 m) para evitar su aglomeración.
- Cada lote (conjunto de pilas con un mismo origen) debe estar identificado con su ficha técnica que indique la designación y la clasificación dada según los numerales 462.2.1.1.1 y 462.2.1.1.2.
- Las pilas deben tener una separación de tres metros (3 m) entre ellas.

Adicionalmente se recomienda:

- Acopio techado que cubra la totalidad del agregado almacenado.
- Zona con óptimas condiciones de drenaje.

462.4.4 Tratamiento del material bituminoso bruto y de los agregados pétreos de reciclaje (trituración o molienda)

Es necesario triturar todos los bloques del material bituminoso bruto para ser considerado como agregado pétreo de reciclaje.

De ser necesario, los agregados pétreos de reciclaje obtenidos por fresado pueden ser triturados; el objetivo del proceso de trituración es la homogeneización del agregado pétreo de reciclaje para obtener la mezcla reciclada deseada según las condiciones dadas en el numeral 462.4.6.1.

Finalmente, el material agregado pétreo de reciclaje debe ser mezclado hasta obtener un material granular homogéneo y sin segregaciones.

462.4.5 Porcentajes máximos permitidos en masa de agregados pétreos de reciclaje

El agregado pétreo de reciclaje no debe constituir más del cuarenta por ciento (40 %) de la masa total de la mezcla.

Todo agregado pétreo que se utilice en una estructura de pavimento debe estar clasificado como F_1, según los materiales ajenos encontrados (Tabla 462 — 1). La Tabla 462 — 6 para capa de rodadura y la Tabla 462 — 7 para capa intermedia/base, presentan los porcentajes de agregados pétreos incorporables, en función de la clasificación de los agregados pétreos obtenida en el numeral 462.2.1.1.2 y 462.2.2.1.

Tabla 462 — 6. Porcentajes máximos permitidos en masa de agregados pétreos de reciclaje para mezclas en capa de rodadura

Porcentajes máximos permitidos en masa de agregados pétreos de reciclaje			**10 %**	**20 %**	**30 %**	**40 %**
Características de los componentes de los agregados pétreos para capa de rodadura	**Contenido de asfalto**		CA_2		CA_1	CA_0
	Ligante	**Características residuales del ligante**	B_N	B_1		B_0
	Granulares	**Granulometría**	G_N	G_2	G_1	G_0
		Resistencia	R_N	R_1		R_1

Tabla 462 — 7. Porcentajes máximos permitidos en masa de agregados pétreos de reciclaje para mezclas en capa intermedia/base

Porcentajes máximos permitidos en masa de agregados pétreos de reciclaje			**10 %**	**20 %**	**30 %**	**40 %**
Características de los componentes de los agregados pétreos para capa Intermedia/Base	**Contenido de asfalto**		CA_N	CA_2	CA_1	CA_0
	Ligante	**Características residuales del ligante**	B_N	B_2		B_0
	Granulares	**Granulometría**	G_N	G_2	G_1	G_0
		Resistencia	R_N	R_N		R_2 *(Nota 1)*

Nota 1: para un nivel de tránsito NT1 es posible usar la Tabla 462 – 7 para capa de rodadura.

Nota 2: para usar porcentajes diferentes a los máximos permitidos por el artículo 462 se debe hacer una especificación particular que establezca:

- Valores máximos y mínimos tolerables de las propiedades de la mezcla bituminosa para los distintos ensayos de verificación de los parámetros del comportamiento de las mezclas asfálticas recicladas descrito en el numeral 462.4.8
- El cumplimiento de los valores máximos y mínimos tolerables de las propiedades de la mezcla bituminosa convenidos para los distintos ensayos de verificación de los parámetros de comportamiento de las mezclas asfálticas recicladas descrito en el numeral 462.4.8.
- El cumplimiento de las indicaciones del numeral 450.4.2 del artículo 450.
- Un protocolo de auscultación de los tramos experimentales con un periodo de evaluación de, al menos, seis (6) años.

462.4.6 Diseño de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo en laboratorio

Al respecto, rige todo lo que resulte aplicable del numeral 400.4.2 del artículo 400.

El diseño de una mezcla reciclada en caliente tiene como eje fundamental el equilibrio entre las proporciones de:

- Agregados pétreos de adición y agregados pétreos de reciclaje.
- Material bituminoso de adición y material bituminoso de reciclaje.

En caso de utilización de agentes rejuvenecedores y/o aditivos se deben seguir las indicaciones de los numerales 462.2.3 y 462.2.4 respectivamente.

En caso de adición de polímeros se deben cumplir las indicaciones del numeral 462.2.5.

La fórmula de trabajo deber ser definida con los siguientes parámetros:

a. Recomposición de la curva granulométrica de la mezcla.
b. Determinación del contenido total de asfalto de la mezcla.
c. T_{ME}, punto de ablandamiento estimado del material bituminoso de la mezcla.
d. pen_{ME}, penetración estimada del material bituminoso de la mezcla.
e. T_{FM}, temperatura de fabricación de la mezcla.

f. T_{MBA}, temperatura de calentamiento de material bituminoso de adición.
g. T_G, temperatura de calentamiento de agregados pétreos de adición.
h. T_{APR}, temperatura de calentamiento de agregados pétreos de reciclaje.

Se deben reportar los parámetros de la mezcla óptima.

462.4.6.1 Recomposición de la curva granulométrica de mezcla

El diseñador debe escoger el tipo de mezcla deseada. La curva granulométrica de diseño debe seguir las especificaciones según la Tabla 450 — 5 del artículo 450.

El tamaño nominal del agregado pétreo de reciclaje (*D*) debe ser siempre inferior o igual al tamaño nominal de la mezcla de diseño (D_{ME}).

$$D \leq D_{ME} \quad [462.2]$$

La curva granulométrica de los agregados pétreos de reciclaje debe ser comparada con los límites superiores e inferiores de la curva granulométrica de la mezcla deseada. Sobre dicha base, se debe realizar una recomposición de la curva granulométrica de agregado pétreo de reciclaje, adicionando masas de distintas fracciones de los agregados pétreos de adición, hasta obtener la curva granulométrica de diseño.

462.4.6.2 Determinación del contenido de asfalto total de la mezcla

El contenido de asfalto total de la mezcla debe ser definido de la siguiente manera:

$$\%\ CA_{ME} = \%\ MBA + \%\ MBR \quad [462.3]$$

Donde:

$\%\ CA_{ME}$, porcentaje en masa del contenido de asfalto total de la mezcla asfáltica.

$\%\ MBA$, porcentaje en masa del material bituminoso de adición con respecto a la mezcla.

$\%\ MBR$, porcentaje en masa del material bituminoso de reciclaje con respecto a la mezcla.

Ejemplo: Para fabricar una mezcla asfáltica con:

- 5 000 g de masa total de la mezcla.
- $\%\ CA_{ME}$ = 5,2 % (260 g con respecto a la masa total de mezcla).
- contenido de agregados pétreos de reciclaje de 40 % en masa (2000 g con respecto a la masa total de mezcla) y cuyo contenido de asfaltos es de 4,0 %.

Se obtiene:

- $\%\ MBA$ = 3,6 % (180 g con respecto a la masa total de mezcla)
- $\%\ MBR$ = 1,6 % (80 g con respecto a la masa total de mezcla).

Para determinar el contenido de asfalto, se recomienda realizar un diseño preliminar de la mezcla asfáltica en caliente de gradación continua por el método Marshall (INV-E 748), variando el porcentaje en masa del contenido de asfalto total de la mezcla asfáltica, hasta encontrar el óptimo requerido. En caso que se use este método de ensayo, el diseño preliminar debe cumplir con los criterios de la Tabla 450 — 9 del artículo 450.

Se aceptan estimaciones del contenido de asfalto a partir de normas internacionales, siempre y cuando la verificación de los parámetros de comportamiento de las mezclas

asfálticas recicladas (numeral 462.4.5.2) esté conforme a los criterios de calidad para los que se fabrica la mezcla asfáltica.

462.4.6.3 Estimación del punto de ablandamiento

Se debe presentar una estimación del punto de ablandamiento del material bituminoso de la mezcla.

Esta estimación se realiza usando los resultados de los ensayos del punto de ablandamiento y penetración del material bituminoso de adición y de reciclaje, mediante las ecuaciones presentadas a continuación:

- Estimación del punto de ablandamiento del material bituminoso de la mezcla:

$$T_{ME} = a * T_A + b * T_B \quad [462.4]$$

Donde:

T_{ME}, punto de ablandamiento estimado del material bituminoso de la mezcla en grados Celsius (°C).

a, fracción en masa del material bituminoso de adición.

b, fracción en masa del material bituminoso de reciclaje.

T_A, punto de ablandamiento del material bituminoso de adición medido experimentalmente en grados Celsius (°C) (norma INV E-712).

T_B, punto de ablandamiento del material bituminoso de reciclaje medido experimentalmente en grados Celsius (°C) (norma INV E-712).

Para realizar el ensayo del punto de ablandamiento y penetración sobre el material bituminoso de reciclaje, se debe separar la parte granular del material bituminoso reciclado, siguiendo las normas de los ensayos de extracción cuantitativa del asfalto en mezclas en caliente para pavimentos (norma INV E-732) y de recuperación de asfalto de una solución utilizando el rotavapor (norma INV E-759).

462.4.6.4 Penetración del material bituminoso de la mezcla

Se debe presentar una estimación de la penetración del material bituminoso de la mezcla.

- Estimación de la penetración de material bituminoso de la mezcla:

$$log(pen_{ME}) = a\ \ log(pen_A) + b\ log\ (pen_B) \quad [462.5]$$

Donde:

pen_{ME}, penetración estimada del material bituminoso de la mezcla en cero coma un milímetro (0,1 mm).

a, fracción en masa del material bituminoso de adición.

b, fracción en masa del material bituminoso de reciclaje.

pen_A, penetración del material bituminoso de adición medido experimentalmente en cero coma un milímetro (0,1 mm) (norma INV E-724).

pen_B, penetración del material bituminoso de reciclaje medido experimentalmente en cero coma un milímetro (0,1 mm) (norma INV E-724).

Se recomienda que la penetración estimada del material bituminoso de la mezcla (pen_{ME}) resultante, corresponda con la penetración del ligante recomendado para la temperatura media anual de la región (°C) y el tránsito del proyecto según lo mencionado en la Tabla 450 — 7 del artículo 450.

En caso de que se requieran agentes rejuvenecedores y/o aditivos, la penetración del material bituminoso de la mezcla deber ser corregida según los efectos del agente y/o aditivo.

En caso de incorporación de polímeros, la penetración del material bituminoso de adición medida experimentalmente debe ser corregida según los efectos del polímero utilizado.

462.4.6.5 Temperatura de fabricación de la mezcla asfáltica

La temperatura de fabricación de la mezcla asfáltica (T_{FM}), se escoge en función de la estimación de la penetración del material bituminoso de la mezcla, según lo descrito en el numeral 462.4.6.4, como se indica en la Tabla 462 — 8.

Tabla 462 — 8. Temperatura de fabricación de la mezcla asfáltica según grado de penetración estimado

Penetración estimada del material bituminoso de la mezcla (pen_{ME})	T_{FM} (°C)
20/30	220
30/35	195
35/50	190
50/70	180
70/100	180
100/150	170

Nota: dado que se utiliza la estimación a partir de la ecuación 462.5, las penetraciones estimadas pueden tener intervalos de penetración diferentes a las dadas por el artículo 410.

La temperatura de fabricación se debe medir a la salida del mezclador.

Las mezclas que usen rejuvenecedores y/o aditivos deben seguir las temperaturas declaradas en la ficha técnica suministrada por el fabricante y cumplir lo estipulado en los numerales 462.2.3 y 462.2.4.

Las mezclas que usen polímeros deben seguir las temperaturas declaradas en la ficha técnica suministrada por el fabricante y cumplir lo estipulado en el numeral 462.2.5.

462.4.6.6 Temperaturas de calentamiento de material bituminoso de adición

En condición de laboratorio, para tomar la masa necesaria del material bituminoso de adición para la fabricación, se debe precalentar a una temperatura de ciento diez más o

menos cinco grados Celsius (110 °C ± 5 °C) y recuperar la masa necesaria, cuando la viscosidad del material permita verterla en otro recipiente.

La masa recuperada del material bituminoso de adición debe ser sometida a la temperatura de calentamiento (T_{MBA}), la cual se escoge en función de la penetración del material bituminoso de adición medido experimentalmente (norma INV E-724), como se indica en la Tabla 462 — 9.

Tabla 462 — 9. Temperaturas de calentamiento de material bituminoso de adición según el grado de penetración del material bituminoso de adición

Penetración del material bituminoso de adición (pen_A)	T_{MBA} (°C)
10/20 – 20/30	220
30/35	195
35/50	190
50/70	180
70/100	180
100/150	170

Nota 1: los materiales bituminosos de adición (asfaltos puros) que presenten penetraciones de 10/20, 20/30, 30/35 y 100/150 deben ser objeto de una especificación particular según lo indicado en el numeral 410.2.2 del artículo 410.

Nota 2: las mezclas que usen polímeros deben seguir las temperaturas declaradas en la ficha técnica suministrada por el fabricante y cumplir lo estipulado en el numeral 462.2.5.

El material bituminoso de adición que se utilice en la fabricación debe ser dispuesto a la T_{MBA} ± 5 °C durante cuatro horas (4 h) mínimo y cinco horas (5 h) máximo, antes del mezclado con los otros componentes.

462.4.6.7 Temperatura de los agregados pétreos de adición

Los agregados pétreos de adición deben ser sometidos a un premezclado a mano, de cada fracción granular por separado, para homogeneizarlos. Se debe realizar un presecado a ciento diez más o menos cinco grados Celsius (110 °C ± 5 °C) durante, al menos, veinticuatro horas (24 h).

A partir de la calibración de la curva granulométrica de la mezcla, se debe realizar el pesado de cada fracción de agregados pétreos de adición, con una precisión de, más o menos, cero coma uno por ciento (± 0,1 %) en masa. La temperatura de los agregados pétreos de adición es limitada a T_G = 230 °C. Los agregados pétreos de adición se deben calentar a la T_G ± 5 °C por lo menos ocho horas (8 h) antes del mezclado con los otros componentes.

462.4.6.8 Temperatura de los agregados pétreos de reciclaje

Los agregados pétreos de reciclaje deben ser sometidos a un premezclado a mano, a

temperatura ambiente para homogeneizarlos. Luego, se debe realizar un presecado a cincuenta más o menos cinco grados Celsius (50 °C ± 5 °C) durante, al menos, doce horas (12 h).

A partir de la calibración de la curva granulométrica de la mezcla, se debe realizar el pesado de la masa necesaria de agregados pétreos de reciclaje, con una precisión de, más o menos, cero coma uno por ciento (± 0,1 %). La temperatura de calentamiento de los agregados pétreos de reciclaje es limitada a T_{APR} = 110 °C ± 5 °C. Los agregados pétreos se deben calentar a la T_{APR} ± 5 °C durante dos coma cinco más o menos cero coma cinco horas (2,5 h ± 0,5 h) antes del mezclado con los otros componentes. Los agregados pétreos de reciclaje deben ser calentados en capas entre cuatro y seis centímetros (4 cm — 6 cm) de espesor para garantizar el calentamiento homogéneo.

462.4.7 Mezclado de componentes en laboratorio

Las mezclas que usen rejuvenecedores y/o aditivos deben seguir los procedimientos de mezclado declarados en la ficha técnica suministrada por el fabricante y cumplir lo estipulado en el numeral 462.2.4.

Las mezclas que usen polímeros deben seguir los procedimientos de mezclado declarados en la ficha técnica suministrada por el fabricante y cumplir lo estipulado en el numeral 462.2.5.

462.4.7.1 Precalentado

El mezclador debe tener una temperatura interna igual a la temperatura de fabricación T_{FM} ± 5 °C, durante al menos dos horas (2 h) antes del mezclado de los componentes de la mezcla.

462.4.7.2 Introducción de agregados pétreos de adición

Las fracciones de agregados pétreos de adición se deben introducir en orden decreciente, con respecto a los diámetros de partículas.

Ejemplo: para una mezcla de diseño estándar, se debe introducir, en primer lugar las gravas, en segundo lugar las arenas y por último el llenante mineral.

462.4.7.3 Introducción de agregados pétreos de reciclaje

Luego de agregar al mezcladorlos agregados pétreos de adición, se deben introducir los agregados pétreos de reciclaje. Una vez los agregados pétreos de reciclaje sean introducidos en el mezclador, no se debe postergar el proceso de mezclado.

462.4.7.4 Mezclado en seco

Inmediatamente se debe realizar un mezclado en seco. El mezclado en seco debe tener una duración de treinta más o menos cinco segundos (30 s ± 5 s) como mínimo. El mezclado en seco puede tener una duración de noventa más o menos cinco segundos (90 s ± 5 s) como máximo.

Una vez terminado el mezclado en seco, se debe esperar durante, al menos, veinte segundos (20 s) para garantizar el depósito de finos dentro del mezclador.

Las mezclas que usen rejuvenecedores y/o aditivos deben seguir los tiempos según la

ficha técnica suministrada por el fabricante y cumplir los estipulado en los numerales 462.2.3 y 462.2.4.

Las mezclas que usen polímeros deben seguir los tiempos según la ficha técnica suministrada por el fabricante y cumplir los estipulado en el numeral 462.2.5.

462.4.7.5 Introducción del material bituminoso de adición

Se debe introducir la cantidad en masa, de material bituminoso de adición, necesaria para alcanzar el contenido de asfalto total, de la mezcla, previsto (ver numeral 462.4.6.2). La masa del material bituminoso de adición introducido se debe medir con una precisión del uno por ciento (1 %).

462.4.7.6 Mezclado de componentes

El mezclado de los componentes se debe realizar durante ciento ochenta más o menos cinco segundos (180 s ± 5 s). Una vez terminado este proceso, se debe medir la temperatura de la mezcla. El tiempo máximo para la recuperación de la mezcla asfáltica fabricada es de una hora (1 h).

Las mezclas que usen rejuvenecedores y/o aditivos deben seguir los tiempos según la ficha técnica suministrada por el fabricante y cumplir los estipulado en los numerales 462.2.3 y 462.2.4.

Las mezclas que usen polímeros deben seguir los tiempos según la ficha técnica suministrada por el fabricante y cumplir los estipulado en el numeral 462.2.5.

462.4.8 Verificación de los parámetros de comportamiento de mezclas con reciclado

Las mezclas asfálticas con contenido en masa de agregado pétreo de reciclaje inferiores o iguales a diez por ciento (10 %) en capa de rodadura y veinte por ciento (20 %) en capa intermedia/base, deben cumplir, tan solo, las indicaciones de la Tabla 450 — 10 del artículo 450.

Las mezclas asfálticas con contenido en masa de agregado pétreo de reciclaje superiores a diez por ciento (10 %) en capa de rodadura y veinte por ciento (20 %) en capa intermedia/base, deben cumplir, tanto las indicaciones de la Tabla 462 — 10 (para toda mezcla asfáltica), como las solicitadas en la Tabla 450 — 10 del artículo 450 (según el tipo de mezcla).

La verificación de los parámetros del comportamiento de las mezclas asfálticas con reciclado, se designa teniendo en cuenta cuatro niveles de comportamiento:

- Nivel 1: Compactación + sensibilidad al agua.
- Nivel 2: Nivel 1 + Ahuellamiento: Resistencia al ahuellamiento y/o Resistencia a la deformación plástica.
- Nivel 3: Nivel 2 + Módulos de rigidez: Módulo complejo.
- Nivel 4: Nivel 3 + Fatiga: Leyes de fatiga.

El constructor debe reportar el nivel de comportamiento de cada mezcla asfáltica del proyecto.

Las probetas se deben elaborar con la mezcla definida como óptima, con las mismas

condiciones de compactación. Se recomienda que para los niveles de exigencia 2, 3 y 4, las probetas a utilizar en los ensayos de verificación de mezclas asfálticas con reciclado, sean extraídas de placas compactadas. Se permite la elaboración de probetas con compactador de placa según lo estipulado por la norma UNE-EN 12697-33. Se da la posibilidad fabricar placas compactadas usando otros métodos alternos de compactación, siempre que representen las condiciones reales de la mezcla según las condiciones del lugar de ejecución del trabajo.

Tabla 462 — 10. Verificación los parámetros de comportamiento de mezclas asfálticas recicladas

Propiedad	Norma de ensayo	Criterio	Condiciones recomendadas del ensayo	Unidades	Valor recomendado (Nota 5)	Aplicabilidad
Compactación y sensibilidad al agua						
Compactación	UNE-EN 12697-31	Gráfico promedio de porcentaje de vacíos en función de giros	Temperatura de fabricación de la mezcla. (T_{FM}).	%	Reportar	Todos los tipos de mezclas
Susceptibilidad al agua	INV E-725	Resistencia retenida	25°C, condición seca y húmeda	%	≥ 80	Todos los tipos de mezclas
Ahuellamiento (Nota 1)						
Resistencia al ahuellamiento	UNE-EN 12697-22	Profundidad promedio del ahuellamiento	60 °C – 30 000 ciclos	%	≤ 10	Todos los tipos de mezclas
Módulos de rigidez						
Módulo complejo	UNE-EN 12697-26 (Anexo D: tracción/ compresión directa)	Valor absoluto del módulo complejo |E^*|	20 °C, 10 Hz	MPa	≥ 6 000	Todos los tipos de mezclas para capas de base
				MPa	≥ 3 500	Todos los tipos de mezclas para capas de rodadura e intermedia
			Temperatura y frecuencia según la Nota 3 y la Nota 4	MPa	Reportar (Nota 2)	Todos los tipos de mezclas

Propiedad	Norma de ensayo	Criterio	Condiciones recomendadas del ensayo	Unidades	Valor recomendado (Nota 5)	Aplicabilidad
Fatiga						
Leyes de fatiga	INV E-808 INV E-784 UNE EN 12697-24	Deformación a un millón de ciclos ε_6	20 °C, frecuencia entre 10 Hz y 20 Hz	µm	≥ 80	Capas de base
					≥ 100	Capas de rodadura e intermedia
			Temperatura y frecuencia según la Nota 3 y la Nota 4	µm	Reportar (Nota 2)	Todos los tipos de mezclas
		Pendiente -1/b de la recta de fatiga	20 °C, frecuencia entre 10 Hz y 20 Hz	-	Reportar (Nota 2)	Todos los tipos de mezclas
			Temperatura y frecuencia según la Nota 3 y la Nota 4	-	Reportar (Nota 2)	Todos los tipos de mezclas

Nota 1: para el control de ahuellamiento se puede emplear el método de ensayo resistencia a la deformación plástica de acuerdo con la norma INV E-756 según lo exigido en el artículo 450.

Nota 2: los documentos del proyecto deben establecer los valores mínimos que se deben cumplir.

Nota 3: la temperatura de ejecución del ensayo debe estar en función de la temperatura promedio del lugar de ejecución del trabajo.

Nota 4: la frecuencia de ejecución del ensayo debe estar en función de la velocidad de operación promedio del lugar de ejecución del trabajo.

Nota 5: las mezclas de tipo MAM y sometidas a tráficos NT3, deben cumplir todo lo estipulado en la Tabla 462 — 10 y la Tabla 450 — 10 del artículo 450.

Toda verificación de parámetros del comportamiento de mezclas asfálticas con reciclado, es válida por una duración de dos (2) años. Si el origen de los componentes (lote de estudio de agregados pétreos de reciclaje, agregados pétreos de adición, bitumen de adición y/o aditivos) y el proceso de fabricación no son variados, los resultados de una verificación de los parámetros de comportamiento de una mezcla asfáltica reciclada son válidos durante cinco (5) años.

462.4.9 Trabajos

462.4.9.1 Fresado

Los trabajos de fresado se deben realizar conforme al artículo 460.

462.4.9.2 Preparación de la superficie existente

La mezcla reciclada en planta y en caliente, se puede colocar en el mismo tramo de vía

donde se extrajeron los agregados pétreos de reciclaje o en uno diferente, según lo contemplen los documentos del proyecto.

Cualquiera sea el caso, la superficie sobre la cual se va a colocar la mezcla reciclada debe tener la densidad apropiada y las cotas y las secciones indicadas en los documentos del proyecto.

Cuando la mezcla se vaya a colocar en la misma vía de la cual se extrajeron los agregados pétreos de reciclaje, se deben efectuar los bacheos previos en las zonas que determine el interventor. Las excavaciones correspondientes se deben realizar según se indica en el artículo 465 y se deben rellenar, de acuerdo con la profundidad, los materiales y las mezclas apropiados, conforme se indica en los artículos correspondientes de las presentes especificaciones o en las especificaciones particulares de los documentos del proyecto.

En caso de que la mezcla reciclada se vaya a colocar directamente sobre la base granular del mismo pavimento del cual se extrajeron los materiales por reciclar, la base debe ser recompactada hasta obtener una densidad igual o superior al cien por ciento (100 %) de la máxima obtenida en el ensayo modificado de compactación (norma INV E-142), y conformada de manera que satisfaga las secciones transversales del proyecto.

Cuando la mezcla se vaya a colocar como parte de la construcción de un pavimento nuevo, ella no se puede extender hasta que se compruebe que, la capa sobre la cual se va a apoyar tenga la densidad apropiada y su superficie tenga las cotas indicadas en los documentos del proyecto. Todas las irregularidades que excedan las tolerancias establecidas en la especificación respectiva deben ser corregidas previamente, de acuerdo con lo establecido en ella.

Si la extensión de la mezcla requiere riegos previos de imprimación o de liga, ellos se deben realizar conforme lo establecen los artículos 420 y 421, respectivamente. Antes de aplicar la mezcla, se debe verificar que haya ocurrido el curado del riego previo de liga o imprimación y no deben quedar restos de fluidificante ni de agua en la superficie. Si hubiera transcurrido mucho tiempo desde la aplicación del riego, se debe comprobar que su capacidad de liga con la mezcla no se haya disminuido en forma perjudicial; si ello ha sucedido, el constructor debe efectuar un riego adicional, en la cuantía que fije el interventor. Si la pérdida de efectividad del riego anterior es imputable al constructor, el nuevo riego lo debe realizar sin costo alguno para INVÍAS.

462.4.9.3 Fase de experimentación

Rige lo descrito en el numeral 400.4.3 del artículo 400.

462.4.9.4 Aprovisionamiento de los agregados pétreos nuevos

Para el aprovisionamiento de los agregados nuevos, se debe aplicar lo descrito en el numeral 450.4.5 del artículo 450.

462.4.10 Fabricación en planta

462.4.10.1 Planta asfaltadora y manejo de componentes

Las plantas asfaltadoras pueden ser continuas o discontinuas.

La planta asfáltica debe tener el diseño apropiado para el reciclado de pavimentos en caliente o debe tener las modificaciones técnicas necesarias para permitir la elaboración de estas mezclas, de manera que los componentes de la mezcla (agregados pétreos de adición y de reciclaje, y material bituminoso de adición y reciclaje) no se vean sobrecalentados, ni sufran deterioro.

Los materiales hidrocarbonados no pueden tener contacto directo con la flama del tambor secador. Por esta razón, los agregados pétreos de reciclaje deben ser introducidos bajo el uso de diferentes técnicas. En función del porcentaje de agregado pétreo de reciclaje se recomiendan las técnicas indicadas en la Tabla 462 — 11.

Tabla 462 — 11. Porcentajes en masa de agregados pétreos de reciclaje recomendados según técnicas de introducción de agregados pétreos de reciclaje

Tipo de instalación	Agregados pétreos introducidos (%)	Técnicas
Continua	0 – 20	Tambor secador de corriente paralela Tambor secador con mezclador separado
	20 – 40	Tambor secador de tubos concéntricos Tambor secador con anillo de reciclaje a favor de corriente Doble tambor con mezclador continuo
Discontinua	0 – 20	Tambor secador y torre discontinua con un punto de depósito en mezclador
	20 – 40	Tambor secador y torre discontinua con dos puntos de depósito en mezclador Doble tambor con torre discontinua

La temperatura del tambor debe ser fijada según el tipo de flama y tipo de instalación. El tambor secador debe garantizar una temperatura de secado de los agregados pétreos de adición que permita evacuar totalmente su humedad.

La polución provocada al nivel del tambor se debe extraer y llevar al colector de polvo para recuperar las partículas finas sueltas.

La temperatura de fabricación de la muestra debe ser registrada a la salida del mezclador.

Se deben rechazar todas las mezclas heterogéneas, carbonizadas o sobrecalentadas, las mezclas con espuma o las que presenten indicios de humedad o contaminación por combustible. En este último caso, se deben retirar los agregados de las tolvas en caliente, si se está empleando una planta de tipo discontinuo. También se deben rechazar aquellas mezclas en las cuales la envuelta no sea perfecta.

462.4.11 Transporte de la mezcla

En relación con el transporte de la mezcla desde la planta hasta el sitio de las obras, rige

lo descrito en el numeral 450.4.7 del artículo 450, para el transporte de las mezclas asfálticas en caliente de gradación continua.

Entre la central y la obra, los itinerarios adoptados para los camiones deben estar sumidos bajo vigilancia del interventor. El constructor es responsable de las degradaciones provocadas en las vías públicas, inmuebles o cualquier propiedad privada. Igualmente es responsable del aseo durante y después de los trabajos.

En caso de sobre carga, el interventor puede rechazar el material.

462.4.12 Transferencia de la mezcla

Si se dispone del equipo de transferencia (*shuttle buggy*), se debe aplicar lo descrito en el numeral 450.4.8 del artículo 450.

462.4.13 Extensión de la mezcla

Se debe aplicar lo descrito en el numeral 450.4.9 del artículo 450.

462.4.14 Compactación de la mezcla

Resultan aplicables todas las instrucciones del numeral 450.4.10 del artículo 450.

462.4.15 Juntas de trabajo

Rige todo lo descrito en el numeral 450.4.11 del artículo 450.

462.4.16 Pavimento sobre puentes y viaductos

Se deben seguir las instrucciones del numeral 450.4.12 del artículo 450.

462.4.17 Bacheos con mezcla reciclada en caliente

Cuando se empleen mezclas recicladas en planta y en caliente, para rellenar parte o la totalidad de las excavaciones realizadas para la reparación de un pavimento existente, se deben aplicar los criterios indicados en el numeral 450.4.13 del artículo 450.

462.4.18 Limitaciones en la ejecución

Se aplica lo descrito en el numeral 450.4.15 del artículo 450.

462.4.19 Apertura al tránsito

Al respecto, se aplica lo descrito en el numeral 450.4.14 del artículo 450.

462.4.20 Manejo ambiental

Además de lo pertinente que se haya especificado en el presente artículo, rige el artículo 106, Aspectos Ambientales, así como todo lo que resulte aplicable del numeral 400.4.7 del artículo 400.

462.4.21 Reparaciones

Rige lo establecido en el numeral 450.4.17 del artículo 450.

462.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

462.5.1 Controles

Rige lo que resulte aplicable del numeral 400.5.1 del artículo 400.

462.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

462.5.2.1 Calidad del material bituminoso de adición

Los requisitos de calidad, controles y criterios de aceptación para el material bituminosos de adición son los establecidos en el artículo 410.

462.5.2.2 Calidad del agente rejuvenecedor para reciclado y de los aditivos mejoradores de adherencia

En caso de que se requieran agentes rejuvenecedores y/o aditivos, se debe cumplir lo establecido en los numerales 462.2.3 y 462.2.4 respectivamente.

462.5.2.3 Calidad del polímero

En caso de adición de polímeros, se debe cumplir lo establecido en el numeral 462.2.5 y la calidad debe ser definida según lo estipulado en el artículo 414. Se recomienda que el control exigido de recuperación elástica por tensión a veinticinco grados Celsius (25 °C) según la norma UNE 13398, sea superior a cincuenta por ciento (50 %).

462.5.2.4 Calidad de los agregados pétreos y de la llenante mineral de adición

Los agregados pétreos de adición y el llenante mineral deben ser sometidos a las mismas pruebas de verificación mencionadas en el numeral 450.5.2.2 del artículo 450. Los resultados de estas pruebas deben satisfacer las exigencias indicadas para dichos materiales en el numeral 450.2.1 del mismo artículo, so pena de rechazo de los materiales defectuosos.

462.5.2.5 Calidad del agregado pétreo de reciclaje

La calidad del agregado se debe evaluar según las características del numeral 462.2.1.1 del presente artículo, las cuales deben ser declaradas por el proveedor.

462.5.2.6 Composición de la mezcla

Resulta aplicable todo lo exigido en el numeral 450.5.2.3 del artículo 450.

462.5.2.7 Calidad de la mezcla

Rige lo establecido en el numeral 450.5.2.4 del artículo 450.

462.5.2.8 Calidad del producto terminado

Rige lo establecido en el numeral 450.5.2.5 del artículo 450.

462.6 Medida

Rige lo descrito en el numeral 400.6 y en particular en el numeral 400.6.2 del artículo 400. Para bacheos, se debe aplicar lo especificado en el numeral 400.6.3 del mismo artículo.

462.7 Forma de pago

Rige lo descrito en el numeral 400.7 y en particular en el numeral 400.7.4 del artículo 400.

Se excluyen del precio unitario, el suministro y el almacenamiento del producto asfáltico para la mezcla, los cuales se deben pagar de acuerdo con la especificación referente a dicho producto.

462.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
462.1	Mezcla asfáltica reciclada en caliente del tipo _____	Metro cúbico (m^3)
462.2	Mezcla asfáltica reciclada en caliente del tipo _____ para bacheo	Metro cúbico (m_3)

Nota: se debe elaborar un ítem de pago diferente para cada tipo de mezcla asfáltica reciclada en caliente que forme parte del contrato. Cada una de ellas se debe identificar agregando una cifra al esquema numerado del ítem. Por ejemplo, si el contrato contempla dos mezclas recicladas en caliente, una del tipo MDC-19 y otra del tipo MSC-25, sus ítems de pago se deben identificar así:

Ítem	Descripción	Unidad
462.1.1	Mezcla asfáltica reciclada en caliente del tipo MDC-19	Metro cúbico (m3)
462.1.2	Mezcla asfáltica reciclada en caliente del tipo MSC-25	Metro cúbico (m3)

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

Geotextiles para repavimentación

Artículo 464 – 22

464.1 Descripción

Este trabajo consiste en el suministro e instalación de geotextiles no tejidos y un ligante asfáltico para formar estructuras continuas y flexibles. Se deben usar para retardar la aparición o calcado de fisuras en capas de rodadura con mezclas asfálticas en caliente o como membrana amortiguadora de esfuerzos. El desarrollo de esta membrana se debe ejecutar sobre una superficie previamente preparada, de acuerdo con los parámetros de esta especificación y de conformidad con los alineamientos, cotas y secciones indicados en los documentos del proyecto o a criterio del interventor.

464.2 Materiales

464.2.1 Geotextil

Se deben utilizar geotextiles elaborados a partir de polímeros sintéticos de cadena larga, compuestos con un porcentaje mínimo de noventa y cinco por ciento (95 %) en masa de poliolefinas o poliéster y deben ser del tipo no tejido, punzonado por agujas. Deben tener la capacidad de absorber la cantidad especificada de ligante asfáltico y poseer las propiedades mecánicas que se indican en la Tabla 464 – 1.

Las propiedades de resistencia del geotextil deben depender de los requerimientos de supervivencia y de las condiciones y procedimientos de instalación. Las propiedades corresponden a condiciones normales de instalación y deben ser medidas en el sentido más débil del geotextil; es decir, los resultados de las pruebas promedio de cualquier rollo de un lote muestreado para las pruebas de conformidad o de garantía de calidad deben cumplir o superar los valores especificados.

Las propiedades de los geosintéticos se expresan en general en términos de Valores Mínimos Promedio por Rollo (VMPR). El VMPR es una herramienta de control de calidad que le permite a los fabricantes establecer los valores en sus certificados, de manera que el comprador tenga un nivel de confianza del noventa y siete coma siete por ciento (97,7 %) de que las propiedades, medidas sobre el producto que compra, cumplen con los valores certificados. Para datos que tengan una distribución normal, el VMPR se calcula como el valor típico menos dos (2) veces la desviación estándar, cuando se especifican valores mínimos; o más dos (2) veces la desviación estándar, cuando se especifican valores máximos.

Los valores promedio de los resultados de los ensayos practicados a cualquier rollo deben satisfacer los requisitos establecidos en este artículo.

Tabla 464 – 1. Propiedades mecánicas del geotextil para pavimentación en términos de VMPR

Propiedad	Norma de ensayo ASTM	Norma de ensayo NTC	VMPR
Resistencia a la tensión Grab (N) , valor mínimo	D4632	NTC 1998	450
Elongación a la rotura (%), mínimo	D4632	NTC 1998	50
Retención asfáltica en términos de asfalto residual (l/m^2), mínimo (Nota 2)	D6140	NTC 4342	0,9
Masa por unidad de área (g/m^2), mínimo	D5261	NTC 1999	140
Punto de fusión (°C) , mínimo - Pavimentación con asfaltos convencionales y temperatura de instalación < 150 °C - Pavimentación con asfaltos modificados con polímeros o temperatura de instalación > 150 °C	D276	-	150 250

Nota 1: el promedio de los resultados de los ensayos practicados a cualquier rollo del lote que se esté analizando, debe ser mayor o igual al VMPR presentado en esta especificación.

Nota 2: la retención asfáltica debe ser suministrada por el fabricante y verificada por el interventor, junto con la indicación de la cantidad de cemento asfáltico requerida para saturar el geotextil.

El fabricante del geotextil debe contar con un proceso de producción que tenga su sistema de gestión de la calidad certificado bajo la NTC-ISO 9001. El laboratorio, propio o externo, que se use para realizar los ensayos de control de la calidad de la producción, debe estar acreditado bajo la NTC-ISO/IEC 17025 o con una acreditación GAI-LAP del Instituto de Acreditación de Geosintéticos (GAI).

El fabricante debe suministrar el programa de control de calidad y los datos de soporte, donde se indiquen los requisitos de ensayos, los métodos de ensayo, la frecuencia de los ensayos, los criterios de aceptación en la fabricación y el tamaño del lote para evaluación de cada producto.

464.2.2 Ligante asfáltico

El ligante asfáltico debe ser una emulsión de rompimiento rápido tipo CRR-60 o una emulsión de rompimiento rápido modificada con polímeros tipo CRR-60m, que cumplan lo especificado en los artículos 411, Suministro de emulsión asfáltica y 415, Suministro de emulsión asfáltica catiónica modificada con polímeros, respectivamente.

464.3 Equipo

Se aplica lo que resulte pertinente de lo descrito en el numeral 400.3 del artículo 400, Disposiciones generales para la ejecución de riegos de imprimación, liga y curado, tratamientos superficiales, sellos de arena-asfalto, lechadas asfálticas, mezclas asfálticas en frío y en caliente y reciclado de pavimentos asfálticos.

Para la aplicación del riego del producto asfáltico y la colocación del geotextil se deben requerir, básicamente, equipos para el barrido de la superficie, distribuidor del material asfáltico, equipo para la instalación del geotextil, herramientas menores y, eventualmente, un compactador neumático liviano.

464.3.1 Equipo de barrido

Se debe disponer de barredoras mecánicas de cepillo. En caso de que las autoridades ambientales no permitan su utilización, se pueden usar escobas manuales, previa autorización del interventor.

464.3.2 Equipo para la aplicación del ligante asfáltico

El carrotanque irrigador debe cumplir exigencias mínimas que garanticen la aplicación uniforme y constante del producto asfáltico, a la temperatura apropiada, sin que lo afecten la carga, la pendiente de la vía o la dirección del vehículo. Sus dispositivos de irrigación deben proporcionar una distribución transversal adecuada del ligante. El vehículo debe estar provisto de un velocímetro calibrado en metros por segundo (m/s), o pies por segundo (pie/s), visible al conductor, para mantener la velocidad constante y necesaria que permita la aplicación uniforme del asfalto en sentido longitudinal.

El carrotanque debe aplicar el producto asfáltico a presión y para ello debe disponer de una bomba de impulsión, accionada por motor y provista de un indicador de presión. También, debe estar provisto de un termómetro para el ligante, cuyo elemento sensible no puede encontrarse cerca de un elemento calentador.

Para áreas inaccesibles al equipo irrigador y para retoques y aplicaciones mínimas, se debe usar una caldera regadora portátil, con sus elementos de irrigación a presión, o una extensión del carrotanque con una boquilla de expansión que permita un riego uniforme. Por ningún motivo se debe permitir el empleo de regaderas u otros dispositivos de aplicación manual por gravedad.

464.3.3 Equipo para la instalación del geotextil

El equipo mecánico o manual de instalación del geotextil debe ser capaz de disponerlo uniformemente, cuidando de producir la mínima cantidad de arrugas.

Se puede requerir, en ciertos trabajos, un compactador neumático liviano para homogeneizar y reforzar la adherencia del geotextil con el riego de ligante asfáltico.

464.3.4 Herramientas menores

Se deben suministrar escobas de cerdas rígidas o rodillos de manejo manual para uniformizar la superficie del geotextil; tijeras o cuchillas para cortarlo y cepillos para aplicar el ligante asfáltico a los traslapos del geotextil.

464.4 Ejecución de los trabajos

464.4.1 Preparación de la superficie existente

La superficie se debe limpiar de polvo, barro seco, suciedad y cualquier material suelto que pueda ser perjudicial para el trabajo, empleando barredoras o sopladoras mecánicas en sitios accesibles a ellas, si su uso está autorizado por las autoridades ambientales competentes, y escobas manuales donde aquellas no puedan acceder o cuando el uso de equipos mecánicos no sea autorizado.

Después de terminar el proceso de limpieza, las grietas que excedan seis milímetros (6 mm)

de ancho, deben ser sopladas y selladas de acuerdo con lo establecido en el artículo 466, Sello de grietas en pavimentos asfálticos y lo indicado en los documentos del proyecto.

464.4.2 Tasa de aplicación del ligante asfáltico

La cantidad de ligante asfáltico a utilizar, depende de la porosidad relativa de la capa antigua y del geotextil a emplear en el proceso de repavimentación. La cantidad de ligante asfáltico residual debe ser la suficiente para satisfacer los requerimientos de la saturación del geotextil y para adherir el geotextil y la nueva capa asfáltica a la superficie antigua. Esta cantidad debe ser definida por el constructor con base en las recomendaciones de fabricante del geotextil y los resultados de pruebas en el sitio, verificada y/o establecida por el interventor.

464.4.3 Aplicación del ligante asfáltico

Antes de la aplicación del ligante, se debe marcar una línea guía en la calzada para controlar el paso del distribuidor y se debe señalar la longitud de la carretera que queda cubierta, de acuerdo con la cantidad de cemento asfáltico o emulsión disponible en el distribuidor.

La dosificación elegida del ligante se debe aplicar de manera uniforme a una temperatura que corresponda a una viscosidad Saybolt-Furol comprendida entre veinticinco y cien segundos (25 sSF y 100 sSF), evitando duplicaciones de dotación en las juntas transversales de trabajo, para lo cual se deben colocar fajas de papel grueso, de ancho no menor a un metro (1 m), bajo los difusores, en aquellas zonas donde comience o se interrumpa la aplicación.

Al comienzo de cada jornada de trabajo se debe verificar la uniformidad del riego. Si fuere necesario, se deben calentar las boquillas de irrigación antes de cada descarga. La bomba y la barra de distribución se deben limpiar al final de la jornada.

Durante la aplicación del ligante, se deben proteger todos los elementos que señale el interventor, tales como bordillos, vallas o árboles. En trabajos de prueba o de limpieza de los equipos, no se debe permitir descargar el material asfáltico en zanjas o zonas próximas a la carretera.

No se debe consentir ningún tipo de tránsito sobre el ligante aplicado.

464.4.4 Colocación del geotextil

El geotextil se debe colocar sin arrugas, inmediatamente después de la aplicación del ligante asfáltico y antes de que la emulsión asfáltica rompa totalmente y no se logre la adecuada saturación del geotextil.

La aplicación del geotextil se debe realizar mecánicamente mediante equipos especiales para la colocación de los rollos.

A continuación, los cuidados principales para el tratamiento de las arrugas que se puedan producir:

- Las arrugas y dobleces de más de veinticinco milímetros (25 mm) se deben rasgar y aplanar siempre en el sentido del avance

de los equipos de pavimentación, para evitar levantamientos.

- En el caso de que la arruga o doblez sobrepase los cincuenta milímetros (50 mm), se debe rasgar, cortar la cantidad que sobrepase los cincuenta milímetros (50 mm) y aplanar, como en el caso anterior.
- El traslapo del geotextil, en reparación de arrugas, debe contemplar el uso de ligante adicional para saturar las dos (2) capas de geotextil.
- Los traslapos entre rollos adyacentes deben tener la menor dimensión posible y los traslapos en cualquier dirección, no deben exceder de quince centímetros (15 cm). En las zonas de traslapos, se debe hacer una aplicación adicional de ligante asfáltico para garantizar la saturación total del geotextil.
- Para lograr un mayor contacto del geotextil con el ligante y eliminar en mayor proporción las arrugas del geotextil, se puede utilizar un compactador neumático liviano. Una pasada sobre el geotextil, transitando a baja velocidad, puede ser suficiente.

464.4.5 Colocación de la capa asfáltica nueva

Una vez instalado el geotextil, se debe colocar la nueva capa asfáltica en el menor tiempo posible. La aplicación del riego de ligante asfáltico y la colocación del geotextil deben estar coordinadas con la puesta en obra de la capa superpuesta a este, de manera que el ligante no haya perdido su efectividad como elemento de unión. Cuando el interventor lo estime necesario, se debe aplicar un riego de liga, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), si la pérdida de efectividad del riego anterior es imputable al constructor.

La dosificación de este riego de liga se debe establecer en obra con base en los resultados de las pruebas que allí se efectúen; esta dosificación debe contar con la aquiescencia del interventor.

Para evitar que el geotextil instalado se desplace y se dañe, las maniobras de los equipos de construcción se deben realizar a la menor velocidad y con el mayor cuidado posible.

La colocación de la carpeta asfáltica nueva se debe realizar conforme con las especificaciones y características particulares de cada proyecto, según lo establecido en el artículo 450, Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (Concreto asfáltico).

464.4.6 Plan de Manejo de Transito (PMT)

El constructor debe contar con un PMT e instalar todos los elementos de señalización preventiva en la zona de los trabajos, de acuerdo con lo establecido en el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte, los cuales deben garantizar la seguridad permanente tanto del personal y de los equipos de construcción, como de los usuarios y transeúntes, durante las veinticuatro horas (24 h) del día.

Para actividades que no impliquen el cierre total de la vía, el interventor debe dar su visto bueno previo a la presentación de un PMT. Para casos que impliquen el cerramiento total de la vía, se deben tramitar los permisos correspondientes ante la autoridad competen-

te y se debe presentar el PMT aprobado por el interventor.

No se debe permitir el tránsito de vehículos sobre la superficie con el geotextil ya instalado.

464.4.7 Limitaciones en la ejecución

Por ningún motivo se debe admitir la aplicación del riego de ligante asfáltico y la colocación del geotextil cuando la temperatura ambiente a la sombra y la de la superficie sean inferiores a cinco grados Celsius (5 °C) o haya lluvia o fundado temor de que ella ocurra.

Los trabajos de instalación de geotextiles para repavimentación se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que resulte satisfactorio para aquel. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe admitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

464.4.8 Manejo ambiental

Al respecto, rige el artículo 106, Aspectos ambientales, así como todo lo que resulte aplicable del numeral 400.4.7 del artículo 400.

464.4.9 Reparaciones

Todos los defectos que se presenten durante la ejecución de los trabajos, tales como juntas irregulares, defectos en la aplicación del ligante o en la colocación del geotextil, irregularidades del alineamiento, etc., así como los que se deriven de un incorrecto control del tránsito recién terminados los trabajos, deben ser corregidos por el constructor, de acuerdo con las instrucciones del interventor, sin costo adicional para INVÍAS.

464.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

464.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles:

- Comprobar el estado y funcionamiento de todo el equipo.
- Verificar la preparación de la superficie existente, según lo establecido en los documentos del proyecto y lo indicado en el numeral 464.4.1.
- Constatar la correcta dosificación de la cantidad de ligante asfáltico según lo establecido en los documentos del proyecto y lo definido en la obra con base en los resultados de las pruebas iniciales mencionadas en el numeral 464.4.2.
- Probar la viscosidad del ligante en el momento de colocación del geotextil, de acuerdo con lo descrito en el numeral 464.4.3.
- Verificar la correcta colocación del geotextil, los tratamientos de las arrugas y los traslapos entre los rollos de geotextil, de acuerdo con lo descrito en el numeral 464.4.4 de esta especificación.
- Supervisar la correcta aplicación del procedimiento constructivo aceptado.

- Comprobar que los materiales a utilizar cumplan con los requisitos de calidad exigidos por la presente especificación.
- Vigilar las condiciones climáticas durante los procesos de aplicación del ligante asfáltico y la instalación del geotextil.
- Efectuar los ensayos de control sobre el ligante asfáltico y el geotextil.
- Constatar que cada rollo de geotextil tenga en forma clara la información del fabricante, el número del lote de fábrica y la referencia del producto, así como la composición química del mismo.
- Comprobar que, durante el transporte y el almacenamiento, los geotextiles tengan los empaques que los protejan de la acción de los rayos ultravioleta, agua, barro, polvo y otros materiales que puedan afectar sus propiedades.
- Medir, para efectos de pago, las cantidades de obra ejecutadas a satisfacción.
- El plan de calidad y el plan de inspección, medición y ensayo son de obligatorio cumplimiento tal como se encuentra expresado en el numeral 103.2 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor.

464.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

464.5.2.1 Calidad del material asfáltico

Los requisitos de calidad, controles y criterios de aceptación para la emulsión asfáltica, se encuentran establecidos en los artículos 411 o 415.

464.5.2.2 Dosificación del ligante asfáltico

Para la comprobación de la dosificación del ligante asfáltico, se considera como lote, aceptado o rechazado en su integridad, la menor área que resulte de aplicar los tres (3) siguientes criterios:

- Quinientos metros (500 m) de calzada con geotextil.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m^2) de calzada con geotextil.
- La superficie construida en un día de trabajo.

La dosificación del ligante asfaltico se debe comprobar mediante la norma de ensayo INV E-818 en no menos de cinco (5) puntos del área considerada como lote, ubicados al azar, según la norma de ensayo INV E- 730, pero de manera que se realice al menos una prueba por hectómetro.

La tasa media de aplicación de ligante residual (TML) por lote, no puede variar en más de quince por ciento (15 %) de la aprobada por el interventor (TEL), según lo establecido en el numeral 464.4.2 de esta especificación, de acuerdo con la ecuación [464.1].

$$0{,}85\,TEL \leq TML \leq 1{,}15\,TEL \quad \textbf{[464.1]}$$

El interventor debe abstenerse de aceptar áreas regadas donde la dosificación media de ligante esté por fuera del rango especificado. Tampoco se debe aceptar un lote donde más de un punto de ensayo presente un resultado por fuera del límite citado. El interventor debe determinar las medidas por adoptar cuando se presenten estos incumplimientos.

El costo de los materiales, equipos y operaciones requeridos para la corrección de defectos o excesos en el riego asfáltico, debe ser asumido por el constructor.

464.5.2.3 Calidad del geotextil

Por cada lote de rollos que llegue a la obra, el constructor debe entregar al interventor una certificación expedida por el fabricante del geotextil, en la que se establezca el nombre del producto, la composición química relevante de los filamentos o cintas y toda la información que describa al geotextil, así como los resultados de los ensayos de calidad efectuados sobre muestras representativas de la entrega, los cuales deben satisfacer todas las condiciones establecidas en la Tabla 464 – 1.

El interventor se debe abstener de aceptar el empleo de suministros de geotextil que no se encuentren respaldados por la certificación del fabricante. Sin embargo, dicha constancia no evita, en ningún caso, la ejecución de ensayos de comprobación por parte del interventor, ni implica necesariamente la aceptación de la entrega.

El fabricante es responsable de establecer y mantener un programa de control de calidad, el cual debe ser informado al interventor mediante un documento que lo describa. La certificación del fabricante debe hacer constar que el geotextil suministrado ofrece los VMPR, de acuerdo con los establecidos en su hoja de especificaciones de producto, obtenidos bajo el programa de control de calidad del fabricante. La certificación del fabricante debe estar amparada por un sistema de gestión de la calidad certificado bajo la NTC-ISO 9001 vigente, y debe estar escrita en español o inglés.

Además, se debe escoger al azar un número de rollos equivalente a la raíz cúbica del número total de rollos que conformen el lote. Se deben evaluar rollos estándar con un área entre cuatrocientos y seiscientos metros cuadrados (400 m^2 – 600 m^2) cada uno. En el caso de rollos con áreas diferentes, el total de metros cuadrados se debe convertir a unidades de rollos equivalentes de quinientos metros cuadrados (500 m^2).

De cada rollo se deben descartar las dos (2) primeras vueltas de geotextil para el muestreo. Posteriormente, se debe tomar una muestra, como mínimo de un metro (1 m) por el ancho correspondiente al rollo, verificando que esté totalmente seca y limpia. El número de especímenes se debe determinar de conformidad con las normas NTC 2437 (ASTM D4354) y NTC 4805 (ASTM D4759).

Las muestras, debidamente identificadas (número de lote, referencia del producto, etc.), se deben empacar y enviar a un laboratorio distinto al del fabricante o proveedor, para que les sean realizadas las pruebas especificadas en la Tabla 464 – 1.

En relación con los resultados de las pruebas, no se debe admitir ninguna tolerancia sobre los límites establecidos en la Tabla 464 – 1. Por ningún motivo se pueden aceptar geotextiles rasgados, agujereados o usados.

464.6 Medida

La unidad de medida debe ser el metro cuadrado (m^2), aproximado al entero, de ligante y geotextil colocado y avalado por el interventor, de acuerdo con lo exigido por la presente especificación. El área se debe determinar multiplicando la longitud real, medida a lo largo

del eje del trabajo, por el ancho especificado en los documentos del proyecto o según lo indicado y aprobado por el interventor. No se debe medir ningún área por fuera de tales límites, ni se deben considerar, para efecto del pago, los traslapos.

El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

464.7 Forma de pago

El pago se debe hacer al respectivo precio unitario del contrato, por metro cuadrado (m^2), para toda obra ejecutada de acuerdo con la presente especificación y avalada por el interventor.

El precio unitario debe incluir el suministro, el almacenamiento y el transporte del geotextil; el barrido y el soplado de la superficie sobre la que se coloca el geotextil; los costos de las pruebas iniciales; el suministro, el almacenamiento, el transporte y la aplicación del ligante asfáltico; la colocación del geotextil; la protección de todos los elementos aledaños a la zona de los trabajos y que sean susceptibles de ser manchados por los riegos de asfalto; los costos de los desvíos que fuese necesario construir con motivo de la ejecución de las obras; la señalización preventiva de la vía y el ordenamiento de todo tipo de tránsito durante la ejecución de los trabajos y el período posterior en que se deba impedir o controlar, de acuerdo con los documentos del proyecto y aprobados por el interventor; así como toda labor, mano de obra, equipo o material necesarios para la correcta ejecución de los trabajos especificados.

El precio unitario debe incluir, también, los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

El sellado previo de fisuras y grietas se debe pagar según el artículo 466.

La colocación de la carpeta asfáltica se debe pagar según el artículo 450.

464.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
464.1	Geotextil para repavimentación	Metro cuadrado (m^2)

Excavación para reparación de pavimento asfáltico existente

Artículo 465 – 22

465.1 Descripción

Este trabajo se refiere a la excavación de zonas deterioradas de un pavimento asfáltico, de acuerdo con los documentos técnicos del proyecto, previa verificación y aprobación del interventor; incluye, también, la remoción, cargue, transporte, descargue y disposición de los materiales excavados, y la compactación del fondo de las excavaciones realizadas.

465.2 Materiales

No se necesitan materiales para la ejecución de los trabajos objeto del presente artículo.

465.3 Equipo

Además de lo que se indica a continuación, se debe considerar lo aplicable del numeral 400.3 del artículo 400, Disposiciones generales para la ejecución de riegos de imprimación, liga y curado, tratamientos superficiales, sellos de arena-asfalto, lechadas asfálticas, mezclas asfálticas en frío y en caliente y reciclado de pavimentos asfálticos.

465.3.1 Máquina cortadora de pavimento

Para la ejecución de los cortes de las áreas por excavar, se requieren máquinas cortadoras de pavimento con discos diamantados o de algún otro elemento abrasivo que permita obtener resultados equivalentes. El diámetro de los discos debe ser el necesario para alcanzar la profundidad de las capas asfálticas por cortar y su potencia debe garantizar la operación en una sola pasada, sin generar desprendimientos en las zonas de corte. El número de equipos debe ser el necesario para realizar las excavaciones en cumplimiento del programa de trabajo.

465.3.2 Equipo para excavación y remoción

El constructor puede hacer uso de equipos tales como martillos neumáticos, herramientas manuales, retroexcavadoras o cualquier otro equipo que se ajuste a las dimensiones y profundidades de las áreas a reparar.

No se debe permitir el uso de equipos que debido a sus propias dimensiones de los elementos de corte excedan las áreas o las profundidades a reparar.

465.3.3 Equipos para cargar, transportar y disponer los materiales excavados

Se requieren cargador, vehículos de transporte de materiales, eventual tractor con hoja topadora y compactador para la disposición y compactación de los escombros en el sitio de disposición autorizado.

465.3.4 Otros elementos

Se necesitan elementos adecuados para la compactación del fondo de la excavación y las herramientas auxiliares necesarias para la correcta ejecución del trabajo especificado.

No se debe aceptar el empleo de equipos que puedan causar daño al pavimento fuera de la zona por reparar.

465.4 Ejecución de los trabajos

465.4.1 Demarcación de las áreas por excavar

Antes de dar inicio a los trabajos de corte, el interventor, o el constructor bajo la supervisión de aquel, deben marcar las áreas por someter a reparación, las cuales deben abarcar todas las zonas dañadas del pavimento en reparación.

La demarcación se debe efectuar haciendo uso de figuras geométricas, cuadradas o rectangulares, cuyas caras longitudinales y transversales deben ser, respectivamente, paralelas y perpendiculares al eje de la vía.

Efectuada la demarcación y antes de iniciar los trabajos de excavación para reparación del pavimento existente, el constructor debe diseñar un plan para la ejecución de las excavaciones y el posterior relleno de las mismas, que minimice las molestias a los usuarios y suprima los peligros para todo tipo de tránsito que haga uso de la vía. Dicho plan debe ser evaluado por el interventor, quien es el encargado de vigilar su cumplimiento una vez que le brinde su aprobación, la cual es indispensable para el inicio de los trabajos de corte y excavación.

465.4.2 Corte

Las capas asfálticas de las áreas delimitadas deben ser cortadas con la máquina cortadora de pavimento, garantizando que las paredes excavadas sean uniformes y verticales.

465.4.3 Excavación

Una vez conformados los bordes de la excavación a través de las capas asfálticas, el constructor debe excavar con el equipo aprobado hasta la profundidad señalada por el interventor y remover el material excavado, de manera que el fondo de la excavación sea plano, uniforme, firme y libre de materiales arcillosos o con altos contenidos de materia orgánica que puedan contaminar los materiales de relleno de subbase o base granular antes de la compactación.

Las paredes de la excavación deben mantener la verticalidad obtenida durante el proceso de corte.

465.4.4 Compactación del fondo de la excavación

El fondo de la excavación debe ser compactado en un espesor no menor de quince centímetros (15 cm), de acuerdo con los niveles de densidad que se indican en el numeral 465.5.2.2.

465.4.5 Cargue, transporte, descargue y disposición de los materiales excavados

El constructor debe retirar todos los materiales excavados, los cuales deben ser cargados en volquetas cubriéndolos con lonas u otros

protectores adecuados, debidamente asegurados a la carrocería y transportados a los sitios de disposición indicados en los documentos del proyecto aprobados por el interventor. Los materiales deben ser transportados el mismo día en que sean excavados.

El volumen de material cargado en cada volqueta debe ser tal, que no se exceda los límites de peso por eje y total establecidos por el Ministerio de Transporte para circulación por las carreteras nacionales.

Los materiales deben quedar en el sitio de disposición autorizado, de tal manera que cumplan todas las reglamentaciones legales vigentes al respecto, en especial las referentes a la protección del medio ambiente, asegurando que no generen inestabilidad del terreno ni obstrucciones en el drenaje.

465.4.6 Plan de Manejo de Tránsito (PMT)

El constructor debe contar con un PMT e instalar todos los elementos de señalización preventiva en la zona de los trabajos, de acuerdo con lo establecido en el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte, los cuales deben garantizar la seguridad permanente tanto del personal y de los equipos de construcción, como de los usuarios y transeúntes, durante las veinticuatro horas (24 h) del día.

Para actividades que no impliquen el cierre total de la vía, el interventor debe dar su visto bueno previo a la presentación de un PMT. Para casos que impliquen el cerramiento total de la vía, se deben tramitar los permisos correspondientes ante la autoridad competente y se debe presentar el PMT aprobado por el interventor.

Es responsabilidad del constructor todo daño o perjuicio que se produzca a terceros por su descuido o negligencia durante la ejecución de las reparaciones.

El interventor debe ordenar el relleno completo y adecuado de la excavación, en el menor tiempo en que ello resulte técnicamente factible.

465.4.7 Manejo ambiental

Los trabajos de excavación para la reparación de un pavimento asfáltico existente, se deben acometer considerando la protección del medio ambiente y todas las disposiciones legales vigentes sobre el particular.

Cuando el trabajo se realice en cercanías de áreas habitadas, se debe hacer en horas y con equipos que produzcan la menor contaminación acústica, según la reglamentación vigente.

En adición a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las labores requeridas en la excavación para reparación de pavimentos asfálticos existentes, se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en las normas y disposiciones válidas sobre la conservación del ambiente y los recursos naturales.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación, deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades se deben incluir en los costos del

proyecto; por tanto, no deben ser objeto de reconocimiento directo en el contrato.

Por ningún motivo se debe permitir que los escombros de la excavación sean depositados en la zona del derecho de vía, en cursos o láminas de agua o en áreas ecológicamente sensibles.

465.4.8 Reparaciones adicionales

Si los equipos o los procedimientos empleados por el constructor producen daños en las zonas adyacentes a las demarcadas, deben ser reparados por el constructor, de acuerdo con las instrucciones del interventor y a plena satisfacción de este, sin costo alguno para INVÍAS.

465.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

465.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos, deben adelantarse los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y funcionamiento de todo el equipo.
- Comprobar la verticalidad de las paredes de la excavación y la adecuada compactación de su fondo.
- Constatar que la disposición de los materiales excavados se realice de acuerdo con las normas y reglamentos vigentes.
- Verificar que las medidas de señalización y control de todo tipo de tránsito durante la ejecución de los trabajos garanticen la seguridad de los usuarios en la vía.
- Comprobar el cumplimiento de todas las medidas ambientales y de seguridad requeridas.
- El plan de calidad y el plan de inspección, medición y ensayo deben ser de obligatorio cumplimiento, tal como se encuentra expresado en el numeral 103.2 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor.

465.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

465.5.2.1 Acabado de la excavación

Las excavaciones solamente se deben aceptar si la verticalidad de las paredes y su paralelismo y perpendicularidad con respecto del eje de la vía, son aprobadas por el interventor.

465.5.2.2 Compactación del fondo de la excavación

El interventor debe decidir el número de pruebas de control de compactación por efectuar, en función del tamaño del área excavada. Al efecto, la densidad se puede comprobar por cualquier método aplicable de los descritos en las normas de ensayo INV E-161, E-162 y E-164.

Ningún ensayo puede dar lugar a un porcentaje de compactación inferior al cien por ciento (100 %) con respecto de la densidad máxima del ensayo modificado de compactación (norma de ensayo INV E-142), si la superficie expuesta corresponde a una base granular, o al noventa y cinco por ciento (95 %) respecto del mismo ensayo, cuando se trate de una subbase granular o una subrasante arenosa; si

se trata de una subrasante arcillosa, la densidad de referencia es el cien por ciento (100 %) del ensayo normal de compactación (norma de ensayo INV E-141).

El incumplimiento de este requisito implica el rechazo de los trabajos. En este caso, el constructor debe recompactar el fondo de la excavación hasta obtener los niveles mencionados en el párrafo anterior.

Si al realizar las excavaciones que son objeto de este artículo, se encuentran en su fondo capas estabilizadas o capas asfálticas de un pavimento antiguo y el interventor considera que ellas no deben ser removidas, no debe haber lugar a la aplicación de la exigencia sobre compactación mencionada en este inciso.

465.6 Medida

La unidad de medida de la excavación para reparación del pavimento asfáltico existente debe ser el metro cúbico (m^3), aproximado a la décima de metro cúbico, de excavación realizada de acuerdo con esta especificación, aceptada por el interventor.

Si las capas asfálticas se han cortado con una máquina fresadora, su volumen removido debe ser objeto de medida y pago con cargo al artículo 460, Fresado de pavimento asfáltico.

El volumen se debe medir multiplicando cada una de las áreas aprobadas por el interventor por la profundidad media de cada excavación. No se debe incluir en la medida ningún volumen por fuera de estos límites.

El resultado de la medida debe reportarse con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

465.7 Forma de pago

El pago se debe hacer al precio unitario del contrato, por toda obra ejecutada de acuerdo con esta especificación y aceptada por el interventor. El precio unitario debe cubrir todos los costos relacionados con el corte y escarificación del pavimento asfáltico en el espesor ordenado por el interventor: la excavación, remoción, cargue, transporte, depósito y correcta disposición, incluida la eventual compactación de los materiales excavados en los sitios de disposición autorizados; la compactación del fondo de las excavaciones, la señalización y el control de todo tipo de tránsito durante la ejecución de la excavación y el período adicional que determine el interventor y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución de los trabajados especificados.

Si el corte y la remoción de las capas asfálticas se realizan con una máquina fresadora, el precio unitario pactado en el presente artículo solo debe cubrir la excavación de las capas subyacentes.

Se debe incluir, dentro del precio unitario, los posibles costos inherentes a los derechos de disposición y/o conformación de materiales sobrantes, los cuales incluyen todos los costos inherentes a las posibles obras requeridas en los sitios de disposición.

El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

Los costos del relleno de las excavaciones, a su vez, se deben pagar de acuerdo con los materiales empleados para ello, según se indica en los artículos correspondientes.

465.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
465.1	Excavación para reparación del pavimento asfáltico existente, incluyendo el corte y la remoción de las capas asfálticas y de las subyacentes	Metro cúbico (m^3)
465.2	Excavación para reparación del pavimento asfáltico existente excluyendo el corte y la remoción de las capas asfálticas	Metro cúbico (m^3)

Sello de grietas en pavimentos asfálticos

Artículo 466 – 22

466.1 Descripción

Este trabajo consiste en la conformación (ruteo) y la limpieza de las grietas lineales aisladas de un pavimento de mezcla bituminosa y su sellado empleando un ligante asfáltico, de acuerdo con lo establecido en los planos y demás documentos del proyecto y las instrucciones del interventor.

Este artículo no aplica al sellado de aquellas áreas donde las grietas se encuentran formando bloques interconectados como las de tipo piel de cocodrilo, generadas por la fatiga del pavimento.

466.2 Materiales

Los materiales utilizados para el sello de grietas deben ser del tipo de aplicación en caliente, que cumplan los requisitos físicos de calidad indicados en el artículo 410, Suministro de cemento asfáltico y la ASTM D6690, o emulsiones asfálticas modificadas con polímeros, que cumplan los requisitos del artículo 415, Suministro de emulsión asfáltica catiónica modificada con polímeros. Los ensayos respectivos se deben efectuar conforme lo establece la ASTM D5329.

466.3 Equipo

Para la aplicación en caliente, el constructor debe poner a disposición de los trabajos el equipo necesario para su correcta ejecución, incluyendo una caldera de doble fondo para el calentamiento del producto sellante, un compresor de aire, lanzas de aire comprimido caliente, elementos para la conformación (ruteo) y sello de las grietas, vehículos de transporte y herramientas adicionales tales como escobas, palas, etc. El equipo debe ser mantenido en óptimas condiciones de operación durante el tiempo que duren los trabajos y debe ser operado por personal capacitado.

La caldera debe ser de doble fondo y el espacio entre los dos (2) fondos debe estar lleno de aceite para la transferencia de calor e impedir que la llama entre en contacto directo con el recipiente que contiene el producto sellante. El aceite debe tener un punto de inflamación no menor de doscientos ochenta grados Celsius (280 °C). La caldera debe disponer de un dispositivo de control automático de temperatura y un equipo de agitación que prevenga variaciones localizadas de la temperatura del sellante. Estar dotada, además, de dos (2) termómetros para controlar la temperatura del sellante y la del aceite; igualmente, debe estar montada sobre llantas neumáticas y debe tener una placa metálica bajo el fogón, para proteger el pavimento.

El equipo mecánico para la conformación de las grietas (ruteadora), debe ser de cuchillas múltiples rotatorias de carburo montadas alrededor de un volante, sostenidas en su

lugar por pasadores de acero endurecido. El equipo debe ser capaz de producir el contorno especificado de manera fácil y en una sola pasada y debe ser accionado por un motor de, cuando menos, quince kilovatios (15 kW) de potencia.

El compresor debe tener trampas capaces de mantener el aire comprimido libre de agua y aceite y debe producir una corriente continua de aire limpio y seco a una presión no inferior a seiscientos kilopascales (600 kPa) y en un volumen no menor de cuatro coma cinco metros cúbicos por minuto (4,5 m^3/min).

La lanza de aire comprimido debe ser capaz de suministrar una corriente continua de aire a alta presión a una temperatura de mil grados Celsius (1 000 °C) y a una velocidad de descarga de mil metros por segundo (1 000 m/s), sin llama en el orificio de salida.

El equipo de aplicación del producto sellante debe trabajar a presión y tener la capacidad suficiente para inyectar en flujo continuo el volumen requerido de sellante, hasta la profundidad adecuada. Debe estar equipado con una boquilla cuya forma se ajuste dentro de las grietas por sellar y debe disponer de un termómetro para verificar la temperatura de aplicación.

La aplicación en frío se debe realizar mediante dispositivos de alimentación por gravedad, como los recipientes de vertido, o a través de mangueras de presión, siguiendo las instrucciones que proporcione el fabricante, previa verificación y aprobación de la interventoría.

Si el equipo utilizado presenta deficiencias o no produce los resultados esperados, el interventor debe ordenar la suspensión inmediata de los trabajos hasta que el constructor corrija las deficiencias, lo reemplace o sustituya al operador, según corresponda.

466.4 Ejecución de los trabajos

466.4.1 Transporte y almacenamiento

El transporte y el almacenamiento de todos los productos requeridos para la ejecución de los trabajos objeto de este artículo, son de responsabilidad exclusiva del constructor, quien debe realizarlos de acuerdo con las recomendaciones de los fabricantes de dichos productos y de manera que no se produzcan alteraciones que ocasionen deficiencias en la calidad de la obra. El transporte se debe ajustar, en todo lo que corresponda, a la reglamentación vigente en cuanto a cargas y dimensiones y a protección ambiental.

466.4.2 Labores previas

Antes de iniciar los trabajos de sello de grietas, el constructor debe instalar señales de prevención, dispositivos de seguridad y garantizar el personal idóneo para el control de tráfico, de acuerdo con lo establecido en el numeral 466.4.5

466.4.3 Preparación de las grietas

Todas las grietas por sellar que indique el interventor y que tengan un ancho mayor de seis milímetros (6 mm) y menor o igual a veinte milímetros (20 mm), deben conformarse mecánicamente en un ancho y una profundidad de veinte milímetros (20 mm). La ruteadora debe exhibir, en todo momento, la capacidad de conformar el depósito de diseño en una

sola pasada. El constructor debe cambiar las cortadoras, siempre que se presente alguna evidencia de que la configuración especificada para el depósito del sello no se está logrando de manera expedita en una sola pasada.

La operación debe ser correcta, con el fin de cortar las paredes débiles y oxidadas de la grieta, dejando el pavimento con la resistencia necesaria para asegurar la adhesión del sello a largo plazo y creando el depósito de dimensiones adecuadas que permita colocar suficiente cantidad de sello.

Una vez elaborado, el depósito debe presentar paredes verticales y un perfil horizontal uniforme y debe ser limpiado con aire comprimido para remover partículas de polvo, materiales sueltos y humedad que impidan la adhesión del producto sellante.

Cuando se utilicen materiales para el sello de tipo de aplicación en caliente, antes de aplicar el sellante, los bordes expuestos de la capa asfáltica recién cortada deben ser tratados con la lanza de aire comprimido caliente hasta que la grieta se encuentre completamente seca y ligeramente oscurecida.

Cuando se utilice una emulsión asfáltica en frío para el sello de las grietas, antes de su aplicación se debe aplicar un rociado ligero de agua en las caras interiores de la grieta, para evitar el rompimiento prematuro de la emulsión.

Las grietas cuyo ancho sea superior a veinte milímetros (20 mm) no requieren conformación, pero deben ser limpiadas de todo material suelto y extraño en una profundidad, cuando menos, igual a su ancho.

Siempre que en el interior de una grieta se encuentren atrapados materiales incompresibles, ellos deben ser removidos cuidadosamente.

Por ningún motivo se debe permitir el empleo de barras, cinceles o equipos neumáticos de percusión que puedan afectar la mezcla asfáltica, como tampoco solventes que puedan disolver el asfalto, degradar o transportar los elementos contaminantes hacia el fondo de la grieta e impedir la adecuada adherencia del material sellante.

Antes de proceder al sellado, todo material suelto que quede en la superficie del pavimento, como resultado de las operaciones de conformación o de limpieza de las grietas, debe ser removido mediante barrido o soplado con aire comprimido, aprobado por el interventor y que no produzca molestias a los usuarios ni a los vecinos de la vía.

466.4.4 Sellado de las grietas

El material sellante debe ser colocado dentro de la grieta en un término no mayor de dos minutos (2 min) desde que la lanza de aire caliente haya pasado por las grietas y sus superficies aledañas. Este tiempo es crítico y, por lo tanto, entre más breve sea, mejor ejecutado debe quedar el trabajo .

El sellante debe ser calentado y aplicado dentro de los rangos de temperatura especificados, en acuerdo con las recomendaciones del fabricante. La temperatura del sellante en el instante de su descarga en el depósito debe ser tal, que le permita fluir libremente a través de la grieta. El sellado de las grietas no puede

comenzar mientras no se haya determinado que el producto ha alcanzado la temperatura correcta de colocación. El sellante se debe aplicar desde el fondo de la grieta hacia la superficie.

La operación de sellado debe ser limpia, rellenando únicamente las áreas requeridas, sin dejar manchas en el pavimento fuera de la grieta, evitando derrames y pérdidas de material.

Ningún sellante que se haya calentado en exceso de diez grados Celsius (10 °C) o más, por encima de la temperatura de calentamiento seguro especificada por el fabricante, puede ser empleado para los trabajos de que es objeto el presente artículo.

Cuando se utilicen emulsiones modificadas con polímeros para el sello de grietas, se deben aplicar siguiendo las instrucciones que proporcione el fabricante, previa verificación y aprobación de la interventoría.

Toda cantidad de sellante aplicada en exceso debe removerse inmediatamente se termine la aplicación, utilizando elementos enrasadores provistos de allanadores de caucho o de neopreno.

Una vez concluido el sellado, la superficie de rodamiento debe presentar una textura uniforme, sin rebordes que impidan el libre escurrimiento del agua superficial sobre la carpeta.

466.4.5 Plan de Manejo de Transito (PMT)

El constructor debe contar con un PMT e instalar todos los elementos de señalización preventiva en la zona de los trabajos, de acuerdo con lo establecido en el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte, los cuales deben garantizar la seguridad permanente tanto del personal y de los equipos de construcción, como de los usuarios y transeúntes, durante las veinticuatro horas (24 h) del día.

Para actividades que no impliquen el cierre total de la vía, el interventor debe dar su visto bueno previo a la presentación de un PMT. Para casos que impliquen el cerramiento total de la vía, se deben tramitar los permisos correspondientes ante la autoridad competente y se debe presentar el PMT aprobado por el interventor.

No se debe permitir la circulación del tránsito automotor mientras el sellante no haya curado, para evitar que pueda ser desprendido. En sitios tales como intersecciones, donde el control del tránsito no resulte práctico, el constructor debe prevenir el levantamiento del sellante o la formación de huellas en él, aplicando arena u otro producto secante aprobado por el interventor. Esta aplicación no se puede realizar hasta que el sellante haya enfriado lo suficiente como para impedir la inclusión del producto de protección dentro del sellante.

466.4.6 Limitaciones en la ejecución

No se debe admitir la realización de los trabajos objeto del presente artículo cuando la temperatura ambiente a la sombra y la de la superficie del pavimento sean inferiores a cinco grados Celsius (5 °C), la superficie se encuentre húmeda o haya lluvia o fundados temores de que ella ocurra.

Los trabajos se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVÍAS o se deban evitar horas pico del tránsito, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que resulte satisfactorio para aquel. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe consentir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

466.4.7 Manejo ambiental

En adición a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las labores requeridas para el sello de grietas en pavimentos asfálticos, se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en las normas y disposiciones vigentes sobre la conservación del ambiente y los recursos naturales.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades se deben incluir en los costos del proyecto; por tanto, no deben ser objeto de reconocimiento directo en el contrato.

Durante los trabajos de sello de grietas, el constructor debe tomar todas las precauciones necesarias para evitar la contaminación de aire, suelos, aguas superficiales o subterráneas y la flora, conforme con lo señalado en la reglamentación ambiental vigente. En particular, debe:

- Evitar la colocación de la caldera en vecindades de algún curso de agua o de sistemas de alcantarillado.
- Impedir el calentamiento excesivo del producto sellante.
- Dotar a sus operarios de los elementos que los protejan contra quemaduras y aspiración de vapores tóxicos.

Al término de cada jornada de trabajo o antes si así lo requiere el interventor, debe limpiar y remover todos los escombros generados por la operación de sellado de grietas en el área de trabajo. Igual disposición se debe aplicar al término definitivo de los trabajos.

El constructor debe abstenerse de depositar sobrantes de los trabajos en la zona de derecho de vía o en cualquier otro lugar donde se puedan producir algún perjuicio ambiental.

466.4.8 Conservación de los trabajos

Es responsabilidad del constructor la conservación del sello de grietas hasta que el trabajo sea aprobado por el interventor.

466.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

466.5.1 Controles

Se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Verificar el correcto estado y funcionamiento de los equipos dispuestos para los trabajos.
- Comprobar que los recipientes con el

sellante vengan acompañados de documentos que certifiquen el nombre del fabricante, el nombre comercial del producto, el número del lote de fabricación y las temperaturas de aplicación y de calentamiento seguro.

- Ejecutar los ensayos para verificar la conformidad del producto con lo establecido en el numeral 466.2, cada vez que el interventor lo estime conveniente.
- Constatar la correcta ejecución de los trabajos especificados.
- Medir, para efectos de pago, las cantidades de obra correctamente ejecutadas.
- El plan de calidad y el plan de inspección, medición y ensayo son de obligatorio cumplimiento tal como se encuentra expresado en el numeral 103.2 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor.

466.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias.

Se deben adelantar las siguientes actividades:

- Comprobar que las temperaturas de calentamiento y aplicación del sellante sean las apropiadas e impedir la utilización de todo sellante cuya temperatura haya excedido en más de diez grados Celsius (10 °C) la de calentamiento seguro.
- Verificar la correcta ejecución del depósito para el sellante.
- Constatar el adecuado calentamiento de la grieta antes de aplicar el sellante y controlar el tiempo entre el calentamiento y la aplicación.
- Confirmar que el acabado final de la superficie de rodamiento a causa de los trabajos especificados, no presente afloramientos del producto sellante o cualquier otro defecto que afecte adversamente la calidad de la circulación o el buen comportamiento del pavimento.
- Revisar que la superficie del pavimento quede limpia y que los excedentes del producto hayan sido retirados y dispuestos de conformidad con las normas vigentes sobre la materia.

El interventor se debe abstener de aceptar los trabajos realizados si, al efectuar las verificaciones a las cuales hace referencia este inciso, determina algún incumplimiento por parte del constructor.

466.6 Medida

La unidad de medida del sello de grietas debe ser el metro (m), aproximado al entero, de grieta sellada para cualquier ancho y profundidad de ella, en acuerdo con los documentos del proyecto y aceptada por el interventor.

El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

466.7 Forma de pago

El pago se debe hacer al precio unitario del contrato, por la longitud de grietas correctamente sellada de acuerdo con la presente especificación y aceptada por el interventor.

El precio unitario debe cubrir todos los costos de conformación (ruteo), limpieza y calenta-

miento de las grietas, los de adquisición, manejo, almacenamiento, suministro en el sitio, calentamiento y aplicación del producto sellante en el sitio de colocación final. Además, debe cubrir los costos por concepto de desperdicios, por limpieza de la superficie luego de los trabajos; control del tránsito antes, durante y después de la ejecución de los trabajos; y, en general, todo costo necesario para el correcto cumplimiento de esta especificación.

El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

466.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
466.1	Sello de grietas en pavimento asfáltico sin ruteo	Metro (m)
466.2	Sello de grietas en pavimento asfáltico con ruteo	Metro (m)

Mezclas asfálticas en caliente con cemento asfáltico modificado con Grano de Caucho Reciclado (GCR)

Artículo 467 - 22

467.1 Descripción

Este trabajo consiste en la elaboración, el transporte, la colocación y la compactación de una o más capas de mezcla asfáltica, preparada y colocada en caliente (concreto asfáltico), de acuerdo con esta especificación y de conformidad con los alineamientos, las cotas, las secciones y los espesores indicados en los documentos del proyecto.

La presente especificación hace referencia a las mezclas asfálticas en caliente en donde se haya efectuado la incorporación de Grano de Caucho Reciclado (GCR) como un agente modificador del asfalto. El GCR obtenido del proceso de reencauchado de las llantas o de su troceado mediante acción mecánica, puede ser utilizado en las mezclas asfálticas como un agente modificador del asfalto.

El empleo del GCR en las mezclas asfálticas en caliente solo produce resultados de buena calidad si se parte de materiales bien estudiados y métodos de diseño y construcción adecuados.

La utilización de GCR por el proceso húmedo proporciona un asfalto modificado que puede ser empleado en la elaboración de mezclas asfálticas tal como se ha especificado para este tipo de producto.

467.2 Materiales

467.2.1 Cemento asfáltico modificado con GCR

El material bituminoso empleado para elaborar la mezcla asfáltica en caliente debe ser el cemento asfáltico modificado con GCR que corresponda a los tipos I, II o III del artículo 413, Suministro de cemento asfáltico modificado con grano de caucho reciclado. El tipo por utilizar corresponde al definido en los documentos del proyecto, tomando como base las guías climatológicas de la norma ASTM D6114, adaptadas a condiciones nacionales, tal como se menciona a continuación en la Tabla 467 – 1:

Tabla 467 – 1. Tipo de asfalto por emplear en mezclas con asfaltos modificados con GCR

Nivel de tránsito NT2 / NT3		
Temperatura media anual de la región (°C)		
> 24	15 - 24	< 15
Tipo I	Tipo II	Tipo III

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

Las características y especificaciones complementarias para el cemento asfáltico modificado con GCR se encuentran igualmente establecidas en el artículo 413 de las presentes especificaciones.

467.2.2 Grano de Caucho Reciclado (GCR)

El GCR debe presentar las características que se mencionan en la Tabla 413 – 1 del artículo 413, de las presentes especificaciones, y su granulometría se debe acomodar dentro de alguna de las presentadas en la Tabla 413 – 2 del mismo artículo.

Cuando el porcentaje de GCR sea igual o superior al 15% (fracción en masa) del asfalto por vía húmeda, el proceso de modificación se denomina de alta viscosidad y debe cumplir con los requisitos físicos de la Tabla 413 – 3 (asfalto – caucho fresco).

Cuando el porcentaje de GCR sea inferior al 15% (fracción en masa) del asfalto por vía húmeda, el proceso de modificación se denomina de baja viscosidad y debe cumplir con los requisitos físicos de la norma AASHTO M320.

467.2.3 Agregados pétreos y llenante mineral

Los agregados pétreos y el llenante mineral deben satisfacer los requisitos del artículo 450, Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (concreto asfáltico), numerales 450.2.1.1, 450.2.1.2 y 450.2.1.3.

Para el caso de la proporción del llenante mineral de aporte que tenga características rigidizantes (cemento hidráulico o ceniza volante), su proporción respecto a la masa del llenante total no puede superar los valores límites de la Tabla 450 – 4.

La granulometría de los agregados puede ser cualquiera de las definidas en la Tabla 467 – 2, o aquella granulometría de aceptación internacional (ver Anexo A) que demuestre un correcto desempeño para este tipo de mezcla en su fabricación, extendido, compactación y puesta en servicio.

Tabla 467 – 2. Franjas granulométricas para mezclas asfálticas con GCR

Tipo de mezcla	Tamiz (mm / U.S. Standard)								
	25,0	19,0	12,5	9,5	4,75	2,36	0,60	0,30	0,075
	1 Pulgada	3/4 Pulgada	1/2 Pulgada	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 8	Nro. 30	Nro. 50	Nro. 200
	Pasa tamiz (%)								
M-GCR-25	100	90 - 100	65 - 85	50 - 70	30 - 45	16 - 28	6 - 16	4 - 12	2 - 6
M-GCR-19		100	90 - 100	70 - 90	35 - 50	20 - 32	8 - 18	5 - 14	2 - 6
M-GCR-12			100	90 - 100	50 - 65	28 - 40	12 - 22	6 - 16	3 - 7
Tolerancias en la fórmula de trabajo (±)	4 %					3 %			2 %

Cuando se trabaje con mezclas discontinuas en caliente, se deben satisfacer los requisitos del artículo 452, Mezcla discontinua en caliente para capa de rodadura (microaglomerado en caliente), numeral 452.2.1.

El tipo de mezcla asfáltica en caliente por

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

emplear debe depender del tipo y del espesor compacto de la capa asfáltica conforme con lo indicado en los documentos del proyecto y siguiendo los criterios de la Tabla 467-3.

Tabla 467 – 3. Tipo de gradación por utilizar en función del tipo y espesor compacto de la capa

Tipo de capa	Espesor compactado (mm)	Tipo de mezcla
RODADURA	35 - 45	M-GCR-12
	45 - 60	M-GCR-12 M-GCR-19
	> 60	M-GCR-19 M-GCR-25
INTERMEDIA	> 60	M-GCR-25

467.3 Equipo

Al respecto, se debe considerar lo que resulte aplicable de lo indicado en el numeral 400.3 del artículo 400, Disposiciones generales para la ejecución de riegos de imprimación, liga y curado, tratamientos superficiales, sellos de arena-asfalto, lechadas asfálticas, mezclas asfálticas en frío y en caliente y reciclado de pavimentos asfálticos. En relación con el detalle del equipo necesario para la ejecución de los trabajos, adicionalmente se debe tener en cuenta lo que se indica a continuación.

Los carrotanques empleados para el transporte del cemento asfáltico deben estar dotados de sistemas de calentamiento, de agitación y de medios neumáticos o mecánicos adaptables, apropiados para el trasvase rápido de su contenido a los tanques de almacenamiento o inyección directa a la planta de producción de la mezcla. El trasvase desde el carrotanque al tanque de almacenamiento se debe realizar siempre por tubería directa, aunque, por lo general, se recomienda que el material bituminoso no sea almacenado. En caso de ser depositado en tanques, debe mantenerse en agitación constante, con el fin de evitar la separación entre el GCR y el ligante, y previendo que no se presenten zonas dentro del tanque donde el producto no se encuentre en agitación constante o que se genere turbulencia. Para estas condiciones es importante tener en cuenta que el número total de ciclos de calentamiento en un asfalto modificado con GCR no debe ser mayor de dos (2); entendiéndose como un ciclo de calentamiento aquel en el cual, durante el almacenamiento del asfalto, la temperatura llegase a estar por debajo de ciento cuarenta grados Celsius (140 °C) y llevada posteriormente por encima de este valor para un futuro uso.

En caso de superar este número de ciclos el interventor puede permitir el uso del material bituminoso luego de que se verifique su viscosidad por medio del viscosímetro rotacional, el cual debe estar dentro de los límites fijados en el artículo 413; para tal fin se debe disponer de un adecuado equipo en campo que permita esta medición.

Para la compactación se deben utilizar compactadores de rodillos metálicos autopropulsados, con o sin vibración y

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

dotados de inversores de marcha suave. No se recomienda usar compactador de neumáticos para evitar que la mezcla se adhiera a estos. En caso de utilizar equipos vibratorios se recomienda ejecutar un número mínimo de pasadas para evitar fracturación y/o debilitamiento de los agregados pétreos.

El equipo de compactación por emplear en cada caso va a depender del tipo de capa asfáltica y su espesor, y debe contar con la aprobación del interventor, con base en los resultados obtenidos en la fase de experimentación.

467.4 Ejecución de los trabajos

Al respecto, se aplica todo lo que resulte pertinente del numeral 450.4 del artículo 450. Adicionalmente se debe tender en cuenta lo que se indica a continuación.

467.4.1 Diseño de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo

467.4.1.1 Generalidades

Rige todo lo que resulte aplicable en los numerales 400.4.2, 400.4.3 y 400.4.4 del artículo 400.

467.4.1.2 Diseño de la mezcla

Para la elaboración de mezcla asfáltica con un asfalto modificado con GCR la temperatura de mezclado de los agregados pétreos y el asfalto-caucho corresponde a la que indique el proveedor del material bituminoso en el reporte de calidad. Las mezclas en caliente objeto del presente artículo se deben diseñar siguiendo los pasos descritos en la Tabla 467 – 4, adicionando lo correspondiente a las curvas reológicas del asfalto modificado con GCR.

Tabla 467 – 4. Pasos por seguir para el diseño de mezclas asfálticas con GCR

Pasos	Descripción	Numeral
Diseño preliminar	- Estabilidad - Flujo - Propiedades volumétricas (Marshall)	467.4.1.2.1
Determinación intervalo óptimo	- Resistencia al ahuellamiento	467.4.1.2.2
Verificación del diseño	- Evaluación adherencia - Módulo resiliente - Resistencia a la fatiga	467.4.1.2.3
Ajuste de la fórmula de trabajo	- Por resultados de las pruebas realizadas durante la fase de experimentación - Por variación de la procedencia o de las características de alguno de los componentes de la mezcla o cuando se rebasan las tolerancias granulométricas	467.4.1.2.4

467.4.1.2.1 Diseño preliminar

La elaboración del diseño se inicia con el método descrito en la norma INV E-824 empleando el equipo Marshall. Los criterios para la definición del porcentaje óptimo de asfalto hipotético de la mezcla son los indicados en la Tabla 467 – 5.

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

Tabla 467 – 5. Criterios para el diseño preliminar de mezclas asfálticas con GCR

Característica		Criterio categorías NT2 / NT3	Norma de ensayo INV
Compactación (golpes / cara)		75	INV E-824
Contenido de asfalto-caucho (%)		6,0 - 9,0	
Estabilidad mínima (N)		8 250	
Flujo (mm)		2,5 - 5,5	
Vacíos con aire (%)		3,0 - 5,0	INV E-799
Vacíos en agregados minerales (%)	M-GCR-25	> 14	
	M-GCR-19	> 15	
	M-GCR-12	> 16	
Vacíos llenos de asfalto - VFA (%)		Reportar	
Relación filler/ligante (p/p)		Reportar	
Espesor promedio mínimo de película de asfalto (µm)		7,5	INV E-741

467.4.1.2.2 Determinación del intervalo óptimo

El contenido óptimo de ligante se define por medio de la resistencia a la deformación plástica en pista de ensayo de laboratorio, preparando un mínimo de dos (2) probetas para tres (3) contenidos de asfalto, tomando el valor óptimo preliminar y una variación en él de más o menos cero coma tres por ciento (± 0,3 %) para evaluar el cumplimiento en el intervalo de la fórmula de trabajo a entregar. Los requisitos de cumplimiento en la resistencia al ahuellamiento se muestran en la Tabla 467 – 6.

Tabla 467 – 6. Verificación de resistencia a la deformación de mezclas asfálticas con GCR

Propiedad	Valor del criterio	Norma de ensayo
Resistencia a la deformación plástica: velocidad máxima de deformación en el intervalo de tiempo de 105 a 120 minutos (µm/min)		INV E-756
Temperatura media anual del aire > 24 °C	12	
Temperatura media anual del aire ≤ 24 °C	15	

Para el control de la resistencia de la mezcla a la deformación plástica se pueden emplear otros métodos de pista de ensayo de laboratorio contemplados en la norma europea EN-12697-22, caso en el cual los criterios de aceptación se deben definir con base en especificaciones internacionales de comprobada aceptación. En cualquiera de los casos las probetas que se sometan a este ensayo deben ser elaboradas con una mezcla sometida a envejecimiento previo (corto plazo) según la norma de ensayo AASHTO R-30.

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

Si la mezcla no cumple con el requisito de resistencia a la deformación, se debe rediseñar con una nueva combinación de agregados y la incorporación de llenante mineral de aporte, que puede ser cemento hidráulico o cal hidratada.

467.4.1.2.3 Verificación del diseño

El diseño previo que cumpla los requisitos de la Tabla 467 – 5 y la Tabla 467 – 6 se debe someter a las pruebas de verificación relacionadas en la Tabla 467 – 7 y cumplir los requisitos allí establecidos. Las probetas se deben elaborar con la mezcla definida como óptima mencionada en el numeral anterior.

Tabla 467 – 7. Verificación del diseño de mezclas asfálticas con GCR

Propiedad	Valor del criterio	Norma de ensayo INV
Adherencia: mínima resistencia conservada (%)	80	E-725
Módulo resiliente (MPa)	Los documentos del proyecto definen los valores a cumplir	E-749
Resistencia a la fatiga		E-784 E-808

Los ensayos de módulo resiliente y resistencia a la fatiga se deben realizar bajo condiciones de densidad, temperatura y frecuencia representativas de las condiciones reales de operación del pavimento, las cuales deben estar estipuladas en los documentos técnicos del proyecto. Estos ensayos pueden ejecutarse según los procedimientos definidos en la norma europea EN-12697-24/26. En cualquiera de los casos las probetas que se lleven a estos ensayos deben ser elaboradas con una mezcla sometida a envejecimiento previo (corto plazo) según la norma de ensayo AASHTO R-30. Aunque los resultados de estos ensayos no tienen por finalidad la aceptación o el rechazo de la mezcla por parte del interventor, el constructor debe asegurar que los módulos dinámicos y leyes de fatiga de las mezclas que elabore sean adecuadas para las necesidades de tránsito del proyecto donde se va a utilizar, por cuanto es de su entera y única responsabilidad cualquier deterioro prematuro atribuible exclusivamente a la fatiga de las capas asfálticas, durante el periodo de garantía de estabilidad de la obra.

467.4.1.2.4 Ajuste de la fórmula de trabajo

La fórmula de trabajo establecida en el laboratorio se puede ajustar con los resultados de las pruebas realizadas durante la fase de experimentación. Igualmente, si durante la ejecución de las obras varían la procedencia o las características de alguno de los componentes de la mezcla o se rebasan las tolerancias granulométricas establecidas en este artículo, se debe requerir el estudio de una nueva fórmula de trabajo.

467.4.2 Preparación de la superficie existente

Rige lo indicado en el numeral 450.4.3 del artículo 450.

467.4.3 Fase de experimentación

Rige lo indicado en el numeral 400.4.3 del artículo 400.

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

467.4.4 Aprovisionamiento de los agregados

Rige lo indicado en el numeral 450.4.5 del artículo 450.

467.4.5 Fabricación de la mezcla asfáltica

Rige lo indicado en el numeral 450.4.6 del artículo 450.

467.4.6 Transporte de la mezcla

Rige lo indicado en el numeral 450.4.7 del artículo 450.

467.4.7 Transferencia de la mezcla

Rige lo indicado en el numeral 450.4.8 del artículo 450.

467.4.8 Extensión de la mezcla

Rige lo indicado en el numeral 450.4.9 del artículo 450.

467.4.9 Compactación de la mezcla asfáltica

La compactación de la mezcla se debe realizar de acuerdo con el plan propuesto por el constructor y aprobado por el interventor, durante la fase de experimentación. Debe comenzar, una vez extendida la mezcla, a la temperatura más alta posible con que ella pueda soportar la carga a que se somete, sin que se produzcan agrietamientos o desplazamientos indebidos. Se recomienda establecer una temperatura de ciento treinta y cinco grados Celsius (135 °C) como la mínima para realizar una adecuada compactación de la mezcla asfáltica.

La compactación se debe hacer con requisitos adecuados que permitan alcanzar los niveles de densidad requeridos y se deben seleccionar de tal forma que no se fracture el agregado y/o desplace la mezcla, y que tengan la capacidad de cambiar de dirección con suavidad sobre la mezcla ya compactada. La densidad final de la mezcla debe estar en el noventa y cinco por ciento (95 %) del valor medido en el ensayo de gravedad específica máxima teórica (G_{mm}).

Para los cilindros vibratorios el número de pasadas debe ser el mínimo posible, de tal forma que no se altere la resistencia de los agregados, ni se generen fracturas en los mismos.

467.4.10 Juntas de trabajo

Rige lo indicado en el numeral 450.4.11 del artículo 450.

467.4.11 Pavimento sobre puentes, viaductos, obras de urbanismo y estructuras de redes de servicios

Rige lo indicado en el numeral 450.4.12 del artículo 450.

467.4.12 Apertura al tránsito

No se debe permitir el tránsito público, hasta que la mezcla compactada pueda soportar el paso de los vehículos sin que se produzcan desplazamientos. Durante las primeras cuarenta y ocho horas (48 h) a partir de la apertura, se debe limitar la velocidad para impedir que se produzcan marcas o irregularidades causadas por aceleraciones, frenadas o giros bruscos sobre la capa.

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

467.4.13 Limitaciones en la ejecución

Rige lo indicado en el numeral 450.4.15 del artículo 450.

467.4.14 Manejo ambiental

Al respecto, rige el artículo 106, Aspectos ambientales, así como todo lo que resulte aplicable del numeral 400.4.7 del artículo 400.

467.4.15 Reparaciones

Rige lo indicado en el numeral 450.4.17 del artículo 450.

467.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

Al respecto, se aplica todo lo que resulte pertinente del numeral 450.5 del artículo 450. Adicionalmente se debe tener en cuenta lo que se indica a continuación.

467.5.1 Controles

Rige lo que resulte aplicable del numeral 400.5.1 del artículo 400.

El plan de calidad y el plan de inspección, medición y ensayo son de obligatorio cumplimiento tal como se encuentra expresado en el numeral 103.2 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor.

467.5.2 Controles específicos para el recibo y tolerancias

Los requisitos que se exigen en esta sección sobre la calidad de los materiales son un conjunto de propiedades que buscan garantizar un adecuado desempeño con el tiempo de las estructuras construidas. La evaluación de los materiales no se centra en un único parámetro sino en el conjunto de los mismos; por tal motivo, la aprobación de los materiales a ser empleados debe ser sustentada mediante un informe técnico desarrollado por un especialista en el tema, donde se consigne cual debe ser el desempeño de las capas construidas relacionando los resultados obtenidos de la caracterización de los materiales con sus posibles cambios en el proceso de construcción, al igual que la durabilidad y el desempeño en el periodo de diseño, proponiendo las estrategias necesarias a nivel constructivo para garantizar el cumplimiento de las exigencias del diseño.

467.5.2.1 Calidad del cemento asfáltico modificado con GCR

Los requisitos de calidad, controles y criterios de aceptación para el cemento asfáltico modificado con GCR corresponden a los establecidos en el artículo 413.

467.5.2.2 Calidad de los agregados pétreos y del llenante mineral

Rige lo indicado en el numeral 450.5.2.2 del artículo 450.

467.5.2.3 Composición de la mezcla

A la salida del mezclador o del silo de almacenamiento, sobre cada vehículo de transporte, se debe controlar el aspecto de la mezcla y se debe medir su temperatura. Se deben rechazar todas las mezclas segregadas, carbonizadas o sobrecalentadas, así como las mezclas con espuma, aquellas cuya envuelta no sea homogénea y las que presenten indicios de humedad o de contaminación por combustibles. En este último caso y cuando la planta sea del tipo

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

discontinuo, se deben retirar los agregados de las correspondientes tolvas en caliente.

Se deben realizar los siguientes controles cuantitativamente:

467.5.2.4 Calidad de la mezcla asfáltica

Para el control de la producción de la mezcla asfáltica se deben realizar ensayos de granulometría, contenido de asfalto-caucho, estabilidad, flujo, vacíos con aire y densidad máxima medida (G_{mm}), de acuerdo con la Tabla 467 – 5.

Adicionalmente se debe verificar que se cumpla con el contenido de GCR mínimo requerido en el asfalto y evaluar la resistencia a la deformación plástica y resistencia a la humedad al menos una vez por semana.

El interventor puede solicitar la evaluación del módulo resiliente y de la resistencia a la fatiga para verificar su concordancia con las hipótesis de diseño y conformidad del producto durante la ejecución de la obra.

467.5.2.4.1 Contenido de asfalto

Rige lo indicado en el numeral 450.5.2.3.1 del artículo 450.

467.5.2.4.2 Granulometría de los agregados

Sobre las muestras utilizadas para hallar el contenido de asfalto, se debe determinar la composición granulométrica de los agregados, según la norma de ensayo INV E-782. La curva granulométrica de cada ensayo individual debe ser sensiblemente paralela a los límites de la franja adoptada, ajustándose a la fórmula de trabajo con las tolerancias que se indican en la Tabla 467 – 2, pero sin permitir que la curva se salga de la franja.

En caso de que los valores obtenidos excedan las tolerancias, pero no salgan de la franja, el constructor debe preparar en el laboratorio una mezcla con la gradación defectuosa y el porcentaje medio de asfalto de la mezcla elaborada con este agregado. Esta muestra se debe someter a todas las pruebas de valoración descritas en el numeral 467.4.1 de esta especificación. Si los requisitos allí indicados no se cumplen en su totalidad, se debe rechazar el lote.

En caso de rechazo, la capa de mezcla asfáltica con asfalto modificado con GCR correspondiente al lote controlado se debe retirar, preferiblemente mediante fresado, y ser repuesta por otra de calidad satisfactoria hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material retirado, en caso de rechazo, es de propiedad del constructor.

467.5.2.4.3 Vacíos con aire de probetas compactadas

Con un mínimo de dos (2) muestras de la mezcla elaborada correspondiente a un lote, se deben compactar probetas (dos (2) por muestra) para verificar en el laboratorio su gravedad específica bulk (normas INV E-733 o INV E-802), y su estabilidad y flujo en el ensayo Marshall (normas INV E-748 o INV E-800, según corresponda). La compactación se debe hacer aplicando el número de golpes indicado en la Tabla 467 - 5.

Así mismo, sobre una muestra representativa de la mezcla del lote, se debe determinar la gravedad específica máxima (G_{mm}), mediante las normas de ensayo INV E-735 o INV E-803.

Para cada una de las probetas se debe calcular los vacíos con aire mediante la norma de ensayo INV E-736, a partir de su gravedad específica bulk y de la gravedad específica

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

máxima de la muestra representativa del lote. El valor promedio de los vacíos con aire de las cuatro (4) probetas se debe encontrar en el rango establecido en la Tabla 467 – 5, sin que ningún valor individual se pueda alejar en más de cero coma cinco por ciento (0,5 %) de los límites del rango.

El incumplimiento de alguna de estas exigencias implica el rechazo del lote representado por las muestras, sin que sea necesario hacer verificaciones de estabilidad y flujo. En este caso, la capa de mezcla en caliente correspondiente al lote controlado se debe retirar preferiblemente mediante fresado, y ser repuesta por otra de calidad satisfactoria hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado en caso de rechazo es de propiedad del constructor. Si el requisito de vacíos con aire se cumple, se debe determinar la estabilidad y el flujo de las cuatro (4) probetas.

467.5.2.4.4 Estabilidad

La estabilidad media de las cuatro (4) probetas (Em) debe ser, como mínimo, igual al noventa por ciento (90 %) de la estabilidad de la mezcla de la fórmula de trabajo (Et).

$$E_m \geq 0{,}90 * E_t \qquad [467.1]$$

Ningún valor individual (E_i) puede exceder en más de veinticinco por ciento (25 %) el valor de estabilidad de la fórmula de trabajo (E_t), ni encontrarse por debajo del valor mínimo establecido en la Tabla 467 — 5.

$$1{,}25 * E_t \geq E_i \geq \text{valor mínimo de la Tabla 467 — 5} \qquad [467.2]$$

Además, la estabilidad de cada probeta (E_i) debe ser igual o superior al ochenta por ciento (80 %) del valor medio de estabilidad (E_m), admitiéndose solo un (1) valor individual por debajo de ese límite.

$$E_i \geq 0{,}80 * E_m \qquad [467.3]$$

El incumplimiento de al menos una de estas exigencias implica el rechazo del lote representado por las muestras. En este caso, la capa de mezcla en caliente correspondiente al lote controlado se debe retirar, preferiblemente mediante fresado, y ser repuesta por otra de calidad satisfactoria hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material retirado, en caso de rechazo, es de propiedad del constructor.

467.5.2.4.5 Flujo

El flujo medio de las probetas sometidas al ensayo de estabilidad (F_m), se debe encontrar entre el ochenta por ciento (80 %) y el ciento veinte por ciento (120 %) del valor obtenido en la mezcla aprobada como fórmula de trabajo (F_t), pero no se debe permitir que su valor se encuentre por fuera de los límites establecidos en la Tabla 467 — 5.

$$0{,}80 * F_t \leq F_m \leq 1{,}20 * F_t \qquad [467.4]$$

Si el flujo medio se encuentra dentro del rango establecido en la Tabla 467 — 5, pero no satisface la exigencia recién indicada en relación con el valor obtenido al determinar la fórmula de trabajo, el interventor debe decidir y establecer, al compararlo con las estabilidades, si el lote debe ser rechazado o aceptado.

467.5.2.4.6 Susceptibilidad a la humedad

Rige lo indicado en el numeral 450.5.2.4.5 del artículo 450.

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

467.5.2.4.7 Contenido de agua

Rige lo indicado en el numeral 450.5.2.4.6 del artículo 450.

467.5.2.5 Calidad del producto terminado

467.5.2.5.1 Tamaño del lote

Rige lo indicado en el numeral 450.5.2.5.1 del artículo 450.

467.5.2.5.2 Aspectos generales

Rige lo indicado en el numeral 450.5.2.5.2 del artículo 450.

467.5.2.5.3 Compactación

La determinación de la densidad de la capa compactada se debe realizar, como mínimo, en cinco (5) sitios por lote. Los sitios para la toma de muestras o las mediciones in situ se deben elegir al azar, según la norma de ensayo INV E-730, pero de manera que se realice al menos una (1) prueba por hectómetro.

Para el control de la compactación de una capa de mezcla en caliente de gradación continua, se debe calcular su grado de compactación, a partir de los resultados de los ensayos de densidad en el terreno (ρ_i) y de los ensayos de gravedad específica máxima (G_{mm}) de laboratorio, mediante la siguiente expresión:

$$GC_i = \frac{\rho_i}{G_{mm}} \times 100 \qquad [467.5]$$

Donde:

GC_i, valor individual del grado de compactación, en porcentaje.

ρ_i, valor individual de la densidad en el terreno, determinado por alguno de los métodos descritos en las normas INV E-733, INV E-734, INV E- 746, INV E-787 o INV E-802.

G_{mm}, valor de la gravedad específica máxima de la mezcla, determinada mediante las normas de ensayo INV E-735 o INV E-803 sobre una muestra representativa del lote, según el numeral 450.5.2.4.1.

ρ_w, densidad del agua a veinticinco grados Celsius (25 °C) (77 °F), expresada en las mismas unidades que ρ_i (997,0 kg/m3 o 0,997 g/cm3).

Para el control de la compactación se deben aplicar los siguientes criterios:

GC_l (90) ≥ $GC_{mín}$ se acepta el lote **[467.6]**

GC_l (90) < $GC_{mín}$ se rechaza el lote **[467.7]**

Donde:

GC_l (90), límite inferior del intervalo de confianza en el que, con una probabilidad del noventa por ciento (90 %), se encuentra el valor promedio del grado de compactación del lote, en porcentaje; se debe calcular según el numeral 107.3.1.3 del artículo 107, Control y aceptación de los trabajos, a partir de los valores individuales del grado de compactación (GC_l).

$GC_{mín}$, grado de compactación mínimo. Correspondiente al noventa y cinco por ciento (95 %) del valor medido en el ensayo de gravedad específica máxima teórica (G_{mm}).

La toma de muestras testigo se debe realizar de acuerdo con la norma INV E-758.

Solo se debe aceptar la determinación de la densidad de la capa compactada por medio

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

de densímetros nucleares (norma de ensayo INV E-746) si se garantiza, sin lugar a ninguna duda, que la medición del aparato abarca, única y exclusivamente, el espesor total de la capa que se está verificando.

En caso de rechazo, la capa de mezcla densa en caliente correspondiente al lote controlado se debe retirar preferiblemente mediante fresado, y ser repuesta por otra de calidad satisfactoria hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado en caso de rechazo es de propiedad del constructor.

467.5.2.5.3.1 Espesor

Sobre la base del lote escogido para el control de la compactación y en los mismos puntos de verificación, se debe determinar el espesor promedio de la capa compactada (e_m), el cual no puede ser inferior al espesor de diseño (e_d).

$$e_m \geq e_d \qquad [467.8]$$

Además, el valor obtenido en cada determinación individual (ei) debe ser, como mínimo, igual al noventa por ciento (90 %) del espesor de diseño.

$$e_i \geq 0{,}90 * e_d \qquad [467.9]$$

Si alguno de estos requisitos se incumple, se debe proceder como se indica a continuación. Todas las labores de corrección las debe ejecutar el constructor, sin cargo adicional para INVÍAS.

467.5.2.5.3.2 Para capas de rodadura

Rige lo indicado en el numeral 450.5.2.5.4.1 del artículo 450.

467.5.2.5.3.3 Para capas intermedias

Si el espesor promedio del lote es inferior al noventa por ciento del espesor de diseño (e_m < 0,90 * e_d), la capa que constituye el lote se debe rechazar y se debe levantar mediante fresado, y debe ser repuesta en el espesor adecuado, hasta ser aprobada por el interventor, sin costo alguno para INVÍAS.

Si el espesor promedio del lote es igual o mayor al noventa por ciento del espesor de diseño ($e_m \geq 0{,}90 * e_d$) y no existen deficiencias de lisura en la capa terminada, se debe autorizar compensar la deficiencia de espesor con el espesor adicional correspondiente en la capa de rodadura, sin costo adicional para INVÍAS.

Si la deficiencia ocurre en una capa elaborada con una mezcla de alto módulo, la compensación a que se hace referencia en el párrafo anterior no se debe realizar en un espesor igual al de la misma, sino el que resulte al verificar el dimensionamiento de la estructura, con el mismo método empleado en el diseño original. Si el constructor no acoge por escrito estas determinaciones, la capa que constituye el lote se debe rechazar y se debe levantar mediante fresado, y debe ser repuesta en el espesor adecuado, hasta ser aprobada por el interventor, sin costo alguno para INVÍAS.

467.5.2.5.4 Segregación térmica

Rige lo indicado en el numeral 450.5.2.5.5 del artículo 450.

467.5.2.5.5 Planicidad

Rige lo indicado en el numeral 450.5.2.5.6 del artículo 450.

467.5.2.5.6 Textura

Rige lo indicado en el numeral 450.5.2.5.7 del artículo 450.

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

467.5.2.5.7 Resistencia al deslizamiento

Rige lo indicado en el numeral 450.5.2.4.8 del artículo 450, para NT1 y NT2.

467.5.2.5.8 Regularidad superficial

Rige lo indicado en el numeral 450.5.2.5.9 del artículo 450, para NT1 y NT2.

467.5.2.5.9 Correcciones por variaciones por causas no imputables al constructor

Rige lo indicado en el numeral 450.5.2.5.11 del artículo 450.

467.5.2.5.10 Medidas de deflexión

Rige lo indicado en el numeral 450.5.2.5.12 del artículo 450.

467.6 Medida

Rige lo descrito en el artículo 400 y en particular lo indicado en el numeral 400.6.2.

467.7 Forma de pago

Rige lo descrito en el artículo 400 y en particular lo indicado en el numeral 400.7.3.

Se excluye del precio unitario el suministro del cemento asfáltico modificado con GCR, que se pagará de acuerdo con el artículo 413.

467.8 Ítem de pago

ítem	Descripción	Unidad
467.1	Mezcla asfáltica con asfalto modificado con GCR (M-GCR-25)	Metro cúbico (m^3)
467.2	Mezcla asfáltica con asfalto modificado con GCR (M-GCR-19)	Metro cúbico (m^3)
467.3	Mezcla asfáltica con asfalto modificado con GCR (M-GCR-12)	Metro cúbico (m^3)

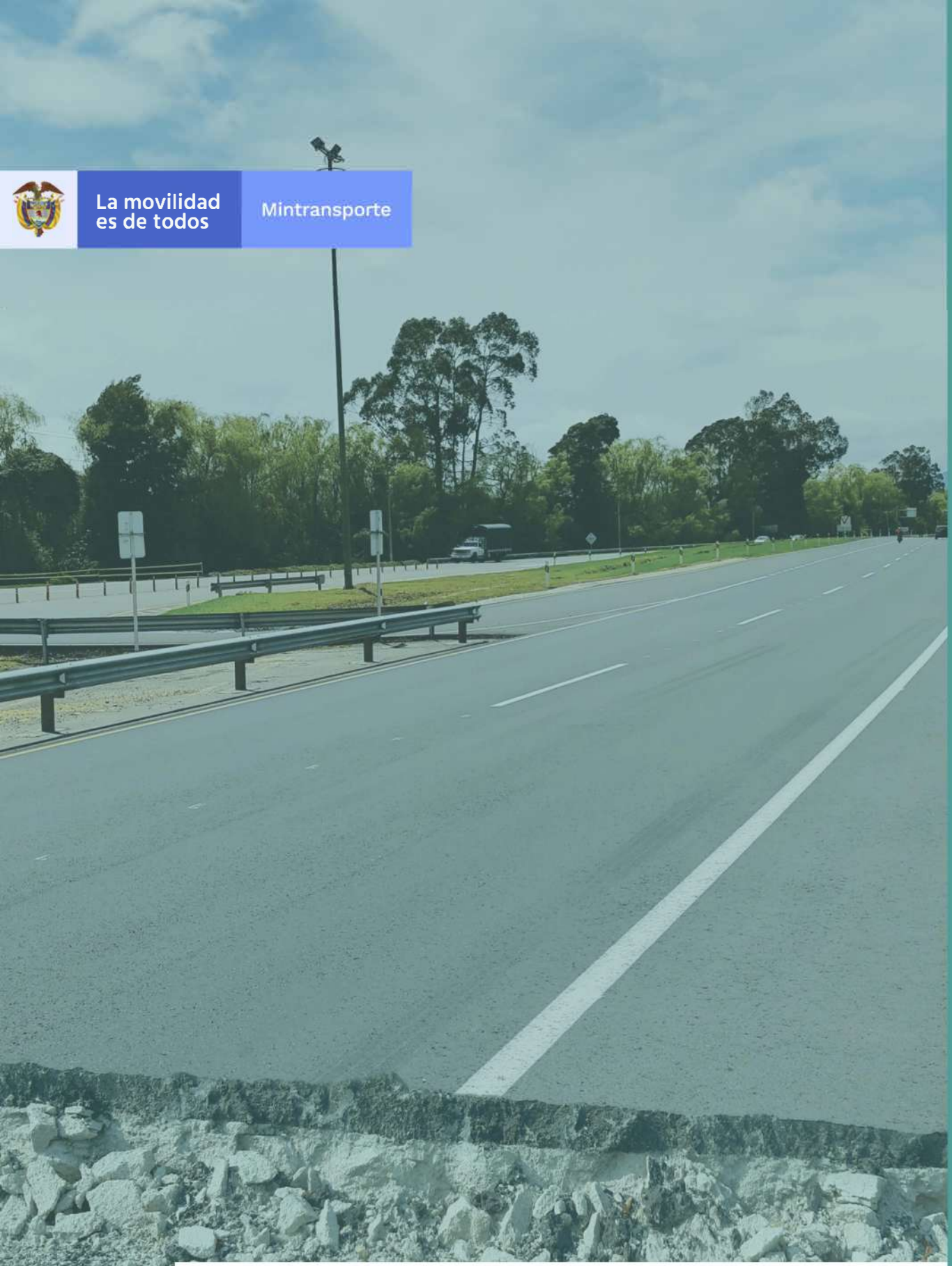
ANEXO A

FRANJAS GRANULOMÉTRICAS ALTERNATIVAS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS CON GCR

Tipo de mezcla	Tamiz (mm / U.S. Standard)						
	25,0	19,0	12,5	9,5	4,75	2,36	0,075
	1 Pulgada	3/4 Pulgada	1/2 Pulgada	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 8	Nro. 200
	Pasa tamiz (%)						
TIPO I	100	90 - 100	77 - 93	59 - 76	28 - 49	14 - 27	2 - 8
TIPO II		100	84 - 100	77 - 93	28 - 49	14 - 27	2 - 8
Tolerancias en la fórmula de trabajo (±)	4 %					3 %	1 %

Fuente: CALTRANS – STATE OF CALIFORNIA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (2010)

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022



La movilidad es de todos

Mintransporte

UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

INVIAS
INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

La movilidad es de todos

Mintransporte

CAPÍTULO 5

Especificaciones generales de construcción de carreteras 2022

UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

INVIAS
INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

5

Pavimentos de concreto

Pavimento de concreto hidráulico

Artículo 500 – 22

500.1 Descripción

Este artículo se refiere a la construcción de una capa de rodadura de concreto hidráulico, incluyendo la producción de materiales, el diseño, la elaboración y el transporte de la mezcla de concreto, procedimientos de acabado superficial, protección y curado del concreto, corte y sellado de juntas, apertura al tránsito y otras actividades necesarias para la correcta construcción de una capa de rodadura de concreto, con sus respectivos procedimientos de control de materiales, construcción y pavimento terminado. La capa de rodadura en concreto hidráulico se debe construir de acuerdo con los alineamientos, las cotas, las secciones, los espesores y demás parámetros indicados en su diseño y en los documentos del proyecto.

500.1.1 Tipos de pavimento de concreto hidráulico

Los procedimientos establecidos en este artículo son aplicables a los siguientes tipos de pavimentos de concreto hidráulico, de conformidad con las definiciones establecidas en el numeral 500.9.

- Pavimento de concreto convencional con juntas.
- Pavimento con juntas y losas reforzadas.
- Sobrelosas sobre pavimento de concreto, adheridas.
- Sobrelosas sobre pavimento de concreto, no adheridas.
- Sobrelosas sobre pavimento asfáltico, adheridas.
- Sobrelosas sobre pavimento asfáltico, no adheridas.
- Sobrelosas sobre pavimento compuesto, adheridas.
- Sobrelosas sobre pavimento compuesto, no adheridas.
- Pavimento continuamente reforzado (con limitaciones).

500.1.2 Restricciones

Por tratarse de modalidades de pavimentos de concreto hidráulico con diferencias sustanciales en su metodología de construcción, este artículo no es aplicable para los siguientes tipos de pavimentos de concreto:

- Pavimentos de concreto estampados.
- Pavimentos de concreto ultradelgados.
- Pavimentos de concreto compactado con rodillo (CCR).
- Pavimentos de concreto prensado.
- Pavimentos de losas prefabricadas de concreto.
- Pavimentos de concreto postensados.

500.2 Materiales

500.2.1 Concreto

Está conformado por una mezcla homogénea de agregados, material cementante, adiciones suplementarias, agua, aditivos y eventualmente adiciones complementarias, materiales que deben cumplir los requisitos básicos que se mencionan a continuación.

500.2.1.1 Cemento hidráulico

Rige lo establecido en el numeral 630.2.1.1 del artículo 630, Concreto estructural.

500.2.1.2 Adiciones suplementarias

Rige lo establecido en el numeral 630.2.1.2 del artículo 630.

500.2.1.3 Agregados

Rige lo establecido en el numeral 630.2.1.3 del artículo 630.

500.2.1.3.1 Agregado fino

Rige lo establecido en el numeral 630.2.1.3.1 del artículo 630.

500.2.1.3.2 Agregado grueso

Se denomina agregado grueso a la porción del agregado retenida en el tamiz de 4,75 mm (nro. 4). Dicho agregado debe estar compuesto de grava, grava triturada, roca triturada o concreto triturado fabricado con cemento hidráulico, que cumpla lo especificado en el numeral 630.2.1.3 del artículo 630; sus fragmentos deben ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables. No se permite la utilización de agregado grueso proveniente de escorias de alto horno. Debe estar exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan afectar adversamente la calidad de la mezcla.

Su gradación se debe ajustar a alguna de las señaladas en la Tabla 500 — 1. Siempre que el tamaño máximo nominal sea mayor de veinticinco milímetros (25,0 mm) (1 pulgada), gradaciones AG-1 y AG-2, el agregado grueso se debe suministrar en las dos fracciones que indica la Tabla 500 — 1.

Tabla 500 — 1. Granulometrías para el agregado grueso en losas de concreto hidráulico

Tipo de gradación			Tamiz (mm / *U.S. Standard*)								
			63,0	50,0	37,5	25,0	19,0	12,5	9,5	4,75	2,36
INVÍAS		**ASTM C33**	2 ½ Pulgadas	2 Pulgadas	1 ½ Pulgadas	1 Pulgada	3/4 Pulgada	1/2 Pulgada	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 8
			Pasa tamiz (%)								
AG-1	Fracción 1: 2 pulgadas a 1 pulgada	3	100	90 — 100	35 — 70	0 — 15	-	0 — 5	-	-	-
	Fracción 2: 1 pulgada a nro.4	57	-	-	100	95 — 100	-	25 — 60	-	0 — 10	0 — 5
AG-2	Fracción 1: 1 ½ pulgadas a ¾ pulgada	4	-	100	90 — 100	20 — 55	0 — 15	-	0 — 5	-	-
	Fracción 2: ¾ pulgada a nro. 4	67	-	-	-	100	90 — 100	-	20 — 55	0 — 10	0 — 5
AG-3	1 pulgada a nro. 4	57	-	-	100	95 — 100	-	25 — 60	-	0 — 10	0 — 5
AG-4	2 pulgadas a nro. 4	357	100	95 — 100	-	35 — 70	-	10 — 30	-	0 — 5	-
AG-5	1 ½ pulgadas a nro. 4	467	-	100	95 — 100	-	35 — 70	-	10 — 30	0 — 5	-
AG-6	1 pulgada a ½ pulgada	5	-	-	100	90 — 100	20 — 55	0 — 10	0 — 5	-	-
AG-7	1 pulgada a 3/8 pulgada	56	-	-	100	90 — 100	40 — 85	10 — 40	0 — 15	0 — 5	-
AG-8	¾ pulgada a 3/8 pulgada	6	-	-	-	100	90 — 100	20 — 55	0 — 15	0 — 5	-

El tamaño máximo nominal del agregado no debe superar un tercio (1/3) del espesor de diseño de la capa de rodadura. El agregado grueso debe cumplir, además, los requisitos de calidad señalados en la Tabla 500 — 2.

Siempre que se requiera la mezcla de dos (2) o más agregados gruesos para obtener la granulometría de diseño, los requisitos indicados en la Tabla 500 — 2 para dureza, durabilidad y contenido de sulfatos deben ser

satisfactorios de manera independiente por cada uno de ellos. La limpieza y las propiedades geométricas se miden sobre muestras del agregado combinado en las proporciones definidas en la fórmula de trabajo.

La curva granulométrica obtenida al mezclar los agregados grueso y fino en el diseño y construcción del concreto debe ser continua y asemejarse a las teóricas obtenidas al aplicar las fórmulas de Fuller o Bolomey, o por cualquier otro método validado por alguna institución técnica nacional o internacional, y aprobado por el interventor.

En caso de no cumplir los requisitos propuestos por algunas de las metodologías de dosificación, se pueden realizar optimizaciones granulométricas con base en métodos de empaquetamiento granular. El constructor debe revisar la propuesta con aprobación del interventor, mediante la elaboración de mezclas de prueba, con el fin de comprobar que las características proporcionadas en el diseño cumplan los requisitos del concreto, tanto en estado fresco como en estado endurecido para el proyecto en particular.

Se pueden considerar otros métodos para la dosificación del concreto, además de los basados en el contenido de cemento, ya que estos no son los únicos usados. Además de esto, en caso de no cumplir los requisitos de esas metodologías, se acepta la optimización granulométrica, por medio de métodos de empaquetamiento granular. Sin embargo, estos deben ser verificados y aprobados, para garantizar la calidad requerida.

Tabla 500 — 2. Requisitos del agregado grueso para losas de concreto hidráulico

Característica	Norma de ensayo INV	Requisito
Dureza (O)		
Desgaste en la máquina de Los Ángeles, máximo (%): - 500 revoluciones - 100 revoluciones	E-218	 40 8
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%).	E-238	30
Resistencia mecánica por el método del 10 % de finos: - Valor en seco, mínimo (kN) - Relación húmedo/seco, mínimo (%)	E-224	 90 75
Durabilidad (O)		
Pérdidas en el ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%): - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	E-220	 12 18
Limpieza (F)		
Terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%).	E-211	3
Partículas livianas, máximo (%).	E-221	0,5

Característica	Norma de ensayo INV	Requisito
Geometría de las partículas (F)		
Partículas fracturadas mecánicamente (una cara), mínimo (%).	E-227	60
Índice de alargamiento, máximo (%).	E-230	25
Índice de aplanamiento, máximo (%).	E-230	25
Características químicas (O)		
Proporción de sulfatos del material combinado, expresado como $SO_4^=$, máximo (%).	E-233	1,0

500.2.1.4 Agua

Rige lo establecido en el numeral 630.2.1.4 del artículo 630.

500.2.1.5 Aditivos y adiciones complementarias

Rige lo establecido en el numeral 630.2.1.5 del artículo 630.

500.2.2 Aceros utilizados en losas de concreto hidráulico

En los documentos del proyecto se debe indicar el acero necesario para la construcción de la capa de rodadura, bien sea para los elementos de amarre o transferencia en las juntas o como refuerzo de las losas, cuando sea especificado. Las barras de acero, cuando estas se requieran según el proyecto, deben cumplir la NTC 161 (ASTM A615).

Si la losa de concreto tiene presencia de acero, se deben tomar todas las medidas necesarias para evitar la corrosión, tales como (i) limitar el contenido total de cloruros en la mezcla de concreto, según las tablas de tipo de exposición y requisitos dados en el numeral 630.2.6.1 del artículo 630; (ii) en vez de acero (barras, mallas, fibras) utilizar otros materiales que no sean afectados por los cloruros, entre otras medidas.

500.2.2.1 Sistemas de transferencia

Cuando sea especificado, en las juntas transversales que muestren los documentos del proyecto, se deben colocar pasadores como mecanismo para garantizar la transferencia efectiva de carga entre las losas adyacentes.

Cualquier sistema de transferencia de carga con dovelas utilizado en las losas de concreto debe tener la suficiente resistencia a la corrosión para soportar el ambiente en el que se utilice durante la vida útil prevista de la estructura del pavimento. Por esta razón, las barras de transferencia deben llevar una película de anticorrosivo (base del tipo epoxi-zinc o equivalente avalada por el interventor) en la totalidad de la dovela, de acuerdo con la especificación AASHTO M 254. No es necesario cubrir los extremos de los tacos. Las barras deben tener las siguientes características:

- Acero redondo y liso.
- Con límite de fluencia (*fy*) mínimo de cuatrocientos veinte megapascales (420 MPa).
- Ambos extremos de los pasadores deben ser lisos y estar libres de rebabas cortantes, o de cualquier imperfección o deformación

que restrinja su deslizamiento libre dentro del concreto.

Existen aplicaciones especiales de barras de transferencia que requieren otros aditamentos, como por ejemplo las juntas de expansión o aislamiento con transferencia de carga, los cuales requieren la utilización de elementos especiales como cápsulas en sus extremos u otros accesorios.

Se pueden utilizar, además, otros sistemas para la transferencia de carga como las dovelas diamantadas, compuestos de Fibras de Refuerzo con Polímeros (FRP) u otro sistema que cumpla el diseño del proyecto, y con el manual técnico de su proveedor certificado para su instalación. En cualquier caso, el sistema de transferencia seleccionado debe ser verificado antes de su instalación y aprobado por el interventor.

Cuando se escojan las barras de acero como sistema de transferencia de carga, el constructor debe proporcionar todas las memorias de cálculo donde se contemplen diámetro, longitud, resistencia, separación entre estas, empotramiento mínimo en cada losa y la separación entre la primera barra y la junta longitudinal adyacente.

500.2.2.1.1 Ubicación de las barras de transferencia

Los elementos de las juntas de las losas de concreto hidráulico se deben colocar, de acuerdo con los documentos del proyecto.

Los pasadores se colocan paralelos entre sí y al eje de la calzada, en la ubicación que se tenga prevista para la junta transversal, de acuerdo con lo que establezcan los documentos del proyecto. Se debe dejar una referencia precisa que defina dicha posición a la hora de completar la junta.

Durante la colocación del concreto, se debe asegurar y verificar que la máxima desviación, tanto en planta como en elevación, de la posición del eje de un pasador respecto de la teórica no sea superior de diez milímetros (10 mm), de igual manera, la desviación angular respecto a la dirección teórica del eje de cada pasador, medida por la posición de sus extremos, no debe ser mayor de diez milímetros (10 mm) si se insertan por vibración o si se colocan previamente al mismo.

Salvo que los pasadores se introduzcan por vibración en las losas mediante máquinas adecuadas para ello, se deben disponer, con anterioridad al vertido del concreto, sobre canastas de varillas metálicas suficientemente estables y con uniones soldadas que se fijen a la base de un modo firme. El desplazamiento del extremo del pasador no debe ser superior a cero como cinco por ciento (0,5 %) de su longitud.

500.2.2.1.2 Alineación de las barras de transferencia

Antes de la colocación del concreto, las barras de transferencia deben estar alineadas entre sí y deben ser paralelas a la junta longitudinal. Una vez endurecido el concreto, la alineación de estas se debe verificar, mediante ensayos no destructivos tales como escáneres o radares.

Si se advierten desviaciones superiores a las consideradas aceptables anteriormente mencionadas, el constructor debe realizar, a sus

expensas, los trabajos de corrección de las varillas desviadas, por medio de la implementación de un diseño de reparación para lograr lo que se establece en los documentos del proyecto. Se debe demostrar que cada barra cumpla las tolerancias anteriormente dichas, y su aceptación debe ser aprobada por el interventor.

500.2.2.1.3 Condiciones de colocación

500.2.2.1.3.1 Colocación de antiadherentes

Para prevenir la adherencia de las barras de transferencia con el concreto y permitir su libre movimiento, estas deben estar ligeramente lubricadas con un antiadherente aprobado por el interventor en la totalidad de su longitud inmediatamente antes de su instalación y previa aprobación del interventor. Así mismo, se debe garantizar que no haya exceso de material antiadherente que pueda generar vacíos alrededor de la dovela, comprometiendo la eficiente transferencia de la carga. No se permite solo el engrase de la mitad o un porcentaje de la barra.

500.2.2.1.3.2 Sistemas automáticos y manuales de colocación de barras de amarre

Se pueden emplear insertadores automáticos de barras pasajuntas (DBI), los cuales van incorporados a la pavimentadora, y se encargan de alimentar, depositar e insertar las barras de transferencia de carga en las juntas transversales. Estos deben ser programados para que la ubicación de las barras pasajuntas concuerden con las establecidas en los documentos del proyecto. O se pueden colocar manualmente, de acuerdo con las especificaciones del proyecto, cumpliendo las ubicaciones y las cotas establecidas en los documentos del proyecto.

500.2.2.2 Barras de amarre

En las juntas que muestren los documentos del proyecto y/o en los sitios en que indique el interventor, se deben colocar barras de amarre, con el propósito de evitar el desplazamiento de las losas y la abertura de las juntas.

En general, las barras de amarre no deben ser dobladas y enderezadas. Sin embargo, si por razones constructivas es absolutamente indispensable doblarlas y enderezarlas con expresa autorización del interventor, se debe utilizar un acero con límite de fluencia (*fy*) de doscientos ochenta megapascales (280 MPa). En este caso, el constructor debe rediseñar el sistema de barras de amarre para acomodarlo a la nueva resistencia y ductilidad, rediseño que debe ser verificado y aprobado por el interventor.

500.2.2.2.1 Características de las barras de amarre

Las barras deben ser corrugadas, con límite de fluencia (*fy*) de cuatrocientos veinte megapascales (420 MPa).

500.2.2.2.2 Ubicación de las barras de amarre

Cuando el proyecto contemple la colocación de barras de amarre, estas se deben instalar en forma perpendicular a la junta longitudinal, con la separación mostrada en los documentos del proyecto. Deben quedar aproximadamente a la mitad del espesor de la losa y en forma paralela a la superficie del pavimento, con una mitad a cada lado de la junta.

500.2.2.2.3 Sistemas de colocación de barras de amarre

500.2.2.2.3.1 Manual

Cuando la pavimentación se realice entre formaletas fijas, las varillas se insertan manualmente dentro de estas, de manera que una mitad de ellas penetre dentro de la franja de concreto recién colocada.

Si la obra se realiza con pavimentadora de formaleta deslizante, las varillas se introducen manualmente en la mitad del espesor de las losas en estado fresco, a las separaciones previstas en los documentos del proyecto.

Si las barras de amarre se colocan en losas endurecidas, se deben efectuar barrenos horizontales a la mitad del espesor de las losas y con una profundidad igual a la mitad de la longitud de las varillas, las cuales se insertan manualmente y se anclan con la resina polimérica mencionada en el numeral 630.2.5 del artículo 630.

500.2.2.2.3.2 Canastas

Las canastas usadas para los pasadores deben cumplir lo establecido en el ACI 302, en cuanto a material, dimensiones, ubicación y engrase, todo lo cual debe ser aprobado por el interventor.

500.2.2.3 Refuerzo de las losas

Los documentos del proyecto pueden requerir la colocación de una o dos parrillas de refuerzo en todas o algunas de las losas del proyecto, bien sea como parte integral del diseño o como sistema para controlar la aparición o el ensanche de grietas. Como guía general, se requiere la colocación de, al menos, una parrilla de refuerzo en las losas que tengan las siguientes características:

- Longitud de la losa (paralela al sentido del tránsito) superior a cinco coma cinco (5,5) veces el radio relativo de rigidez (relación entre la rigidez de la losa y la rigidez del soporte).
- Losas con relación largo/ancho mayor que uno coma veinticinco (1,25).
- Losas de forma irregular (diferente de la rectangular o cuadrada).
- Losas con aberturas en su interior para acomodar elementos tales como pozos de inspección o sumideros.
- Losas en las cuales no coinciden las juntas con las losas adyacentes.
- Losas en los aproches con los puentes.

El acero de refuerzo de las losas debe estar constituido por barras corrugadas con límite de fluencia (*fy*) de cuatrocientos veinte megapascales (420 MPa). Todos los detalles del refuerzo, como cuantía, distribución, localización, etc., deben quedar claramente definidos en los documentos del proyecto.

Para el refuerzo secundario se puede calcular la dosificación de macro fibras sintéticas estructurales, que cumplan la norma ASTM C1116, para el tipo III (*Syntetic Fiber-Reinforced Concrete o Shotcrete*), las cuales proveen el mismo nivel de resistencia posagrietamiento residual que un acero de refuerzo. Para contracción, los esfuerzos de tensión de acero (*fst*), deben ser calculados. Empleando factores de conversión se debe llevar este esfuerzo a flexión. Si el diseño ha sido desarrollado y el acero de refuerzo es conocido, el área de

acero (*As*) puede ser usada directamente para calcular los esfuerzos de tensión en el acero. Para esfuerzos por temperatura, el esfuerzo de flexión puede ser calculado basado en el espesor y el gradiente de temperatura, así como las propiedades del concreto. Se requieren datos del ensayo bajo la norma ASTM C1609, para determinar la dosis requerida de fibra sintética estructural que pueda proveer la misma capacidad de momento posagrietamiento que el original acero de refuerzo. Se debe presentar el diseño y para su implementación, el interventor debe aprobarlo.

500.2.2.3.1 Condiciones del refuerzo de las losas de concreto

En las losas de concreto de tipo armado con juntas, las armaduras, se deben disponer en los sitios y con la forma establecidos en los documentos del proyecto, sujetándolas, de ser preciso, para impedir cualquier movimiento durante la colocación del concreto. Se prohíbe cualquier tipo de carga externa sobre las mallas, y se deben encontrar libres de suciedad, óxido no adherente, aceite, grasa y otros materiales que pueden afectar la adherencia del acero con el concreto. Se pueden usar fibras de acero como mecanismo de refuerzo. Esto se debe especificar en el diseño y se debe cumplir con la norma ASTM A820.

Si la unión de las varillas no se hace mediante soldadura a tope, las varillas longitudinales se deben traslapar en dos (2) mallas y las transversales en una (1). Al lado de cada junta, las armaduras se interrumpen a cien milímetros (100 mm) de ella.

Es indispensable que la armadura se coloque paralela a la superficie del pavimento, por lo que las secciones de malla no se deben suministrar en rollos.

Las varillas transversales van encima de las longitudinales y el recubrimiento de estas, cuando se trate de la armadura superior, se debe encontrar entre sesenta y ochenta milímetros (60 mm — 80 mm).

500.2.3 Productos para el curado del concreto

Rige lo establecido en el numeral 630.2.3 del artículo 630.

500.2.4 Materiales de separación

En caso de que los documentos del proyecto lo dispongan, se emplean elementos de separación entre las losas y su capa de apoyo, cuya función es evitar la adherencia entre el concreto de las losas y el material de base o evitar el reflejo de fisuras de la base en las losas de concreto, o barreras de vapor para impedir la migración de vapor de agua o fluidos que puedan ser perjudiciales al concreto o al acero.

La implementación de estos elementos de separación es recomendable cuando las losas de concreto se apoyan sobre bases de concreto sin juntas o con juntas que no coincidan con las de las losas del pavimento.

Los materiales pueden ser:

- Plásticos
- Membranas
- Antiadherentes
- Emulsiones

- Mezclas asfálticas
- Papel
- Barreras de vapor
- Cualquier otro material que cumpla la finalidad de separar la losa de concreto de la superficie de apoyo

Sea cual sea el material escogido, este debe ser aprobado por el interventor.

500.2.5 Productos para juntas

500.2.5.1 Material de sello

El material de sello puede ser: sellos asfálticos aplicados en caliente, elastómeros (siliconas, poliuretanos o material equivalente), o sellos preformados. En los documentos del proyecto se debe especificar el tipo de material de sello por emplear en las juntas de las losas. Este debe cumplir con las especificaciones de la Tabla 500 — 3.

Tabla 500 — 3. Especificaciones para el material de sello de juntas en losas de concreto hidráulico

Tipo de sello	Especificación
Sellos elastoméricos	ASTM D5893 Tabla 500 — 4 para sellos de poliuretano EN 14188-2
Sellos asfálticos aplicados en caliente	ASTM D6690
Sellos preformados	ASTM D3575

Los sellos de poliuretano para juntas deben cumplir los requisitos establecidos en la EN 14188-2, o los requisitos de desempeño según la Tabla 500 — 4, y su cumplimiento debe ser verificado por el interventor.

Tabla 500 — 4. Requisitos para sellos de poliuretano

Propiedad	Norma de ensayo	Requisito para sellos de poliuretano estándar (Nota 1)	Requisitos para sellos de poliuretano para concreto húmedo o con menos de 28 días de curado (Nota 2)
Contenido de sólidos (%)	-	mín. 98	mín. 98
Gravedad específica	-	mín. 1,30	mín. 1,30
Dureza (Escala durómetro A)	ASTM C661	40 ± 5	40 ± 5
Formación de piel *Skin Time* (horas)	ASTM C679	máx. 2	máx. 2
Adherencia al concreto (kN/m)	ASTM C794	mín. 5,4	mín. 5,4
Adherencia al concreto luego de inmersión (kN/m)	ASTM C794	N/A	mín. 4,9

Propiedad	Norma de ensayo	Requisito para sellos de poliuretano estándar (Nota 1)	Requisitos para sellos de poliuretano para concreto húmedo o con menos de 28 días de curado (Nota 2)
Adherencia al concreto húmedo o verde (kN/m)	ASTM C794	N/A	> 2,6
Envejecimiento acelerado	ASTM C793	Pasa	Pasa
Resistencia a la tensión (kPa)	ASTM D412	mín. 1 720	mín. 1 720
Elongación (%)	ASTM D412	min 600	min 600
Inclinación permitida de aplicación (%)	-	máx. 5	máx. 5
Resistencia al rasgado (kPa)	ASTM D412	mín. 240	mín. 240
Capacidad de movimiento (%). (Nota 3)	ASTM C719	mín. ± 35	mín. ± 35

Nota 1: se deben cumplir estos requisitos cuando el concreto tenga una edad igual o mayor a veintiocho días (28 d) y se encuentre seco.

Nota 2: se deben cumplir estos requisitos cuando el concreto tenga una edad menor a veintiocho días (28 d) o se encuentre húmedo, pero suficientemente seco.

Nota 3: de acuerdo con los requerimientos del proyecto y con base en las directrices del diseñador del pavimento.

Los sellos preformados deben cumplir los requisitos establecidos en la Tabla 500 — 5.

Tabla 500 — 5. Requisitos para sellos preformados

Propiedad	Norma de ensayo	Requisito
Elongación a rotura (%)	ASTM D3575 Sufijo T	mín. 357
Resistencia a la tensión (kPa)	ASTM D3575 Sufijo T	mín. 372
Compresión Set (%)	ASTM D3575 Sufijo B 50 %, ½ hora	mín. 40
Compresión Set (%)	ASTM D3575 Sufijo B 50 %, 24 horas	mín. 13
Resistencia al desgarro (N/mm)	ASTM D3575 Sufijo G	mín. 2,2
Densidad (kg/m^3)	ASTM D3575 Sufijo W	32
Absorción de agua, siete días (7 d)	DIN 53428	1 % en volumen máximo
Dureza Shore	ASTM D2240	00 – 48

500.2.5.2 Tirilla o cordón de respaldo

La tirilla de respaldo sirve de soporte para la colocación del material sellado y debe cumplir las siguientes características:

- El cordón de respaldo debe quedar comprimido en la cavidad en el sitio especificado en el diseño.
- Con el fin de mantener el factor de forma del elastómero y evitar su ingreso a la parte inferior de la cavidad, el diámetro del cordón debe ser superior por lo menos en un veinticinco por ciento (25 %) al ancho de la cavidad de sellado.
- El cordón de respaldo debe ser de un material que no se adhiera a las paredes de la cavidad de la junta y que durante la aplicación no se degrade con las temperaturas del material sellante. Este material del cordón debe cumplir la especificación ASTM D5249.

500.2.5.3 Material preformado para juntas de expansión

El material de relleno para juntas de expansión debe ser suministrado en piezas de la altura y el largo requeridos para la junta. Previa autorización del interventor, se pueden utilizar ocasionalmente dos piezas para completar el largo (nunca la altura), caso en el cual los dos extremos que se juntan deben quedar adecuadamente asegurados, para garantizar la conservación de la forma requerida, sin moverse. Los materiales por emplear deben cumplir alguna de las especificaciones ASTM D994 y ASTM D3575, junto con los requerimientos definidos en la Tabla 500 — 6.

Se permite el uso de materiales y nuevas tecnologías avaladas por la ASSHTO tales como espumas de poliuretano de alta densidad, para el sello para juntas de expansión que tengan certificaciones de departamentos de transporte de los Estados Unidos y que cumplan con:

Tabla 500 — 6. Requisitos para espumas de poliuretano de alta densidad para juntas de expansión

Propiedad	Norma de ensayo ASTM	Requisito
Elongación a rotura (%)	D3574	mín. 150
Resistencia a la tensión (MPa)	D3574	mín. 0,124 (18 psi)
Capacidad térmica de movimiento a quinientos (500) ciclos (%)	E1399	+ 60 y - 60

500.2.6 Resina polimérica y material para reparación parcial de pavimentos

Rige lo establecido en el numeral 630.2.5 del artículo 630.

500.2.7 Requisitos de durabilidad y resistencia

El diseño de la mezcla debe cumplir todos los requisitos de durabilidad y resistencia. Para ello, se deben tomar como requisitos límites

los parámetros más conservadores entre los obtenidos por:

- Durabilidad
- Resistencia

500.2.7.1 Durabilidad

Rige lo establecido en el numeral 630.2.6.1 del artículo 630.

500.2.7.2 Resistencia

Se debe proveer la resistencia del concreto solicitada en los documentos y las especificaciones del proyecto. Esta no debe ser menor de veintiocho megapascales (28 MPa), y debe cumplir los especificado en la Tabla 500 — 8.

500.3 Equipo

El constructor debe poner al servicio de los trabajos contratados todo el equipo necesario para manejar los materiales y las mezclas, y para ejecutar todas las partes de la capa de rodadura de concreto hidráulico, conforme se establece en el presente artículo.

Para definir el equipo de construcción de la capa de rodadura, el constructor debe tener en cuenta todos los aspectos relacionados con la logística de producción, transporte y colocación y las condiciones del proyecto, tales como el perfil de la vía y el espacio disponible. La selección del equipo más adecuado en términos de calidad y rendimiento debe considerar, entre otros, los siguientes aspectos:

- Perfil especificado para la vía.
- Ancho de calzada.
- Ancho de vaciado.
- Espesor de las losas de concreto.
- Condiciones del entorno.
- Rendimiento requerido.

Todo el equipo debe ser situado en el lugar de los trabajos con anticipación suficiente al inicio de las operaciones de pavimentación, con el fin de que el interventor lo pueda revisar con todo detalle y aprobar su utilización.

En todos los casos, el equipo se debe ajustar a lo dispuesto en la legislación vigente en las materias ambiental, de seguridad, de salud y de transporte, y se debe cumplir además lo establecido en la NSR en lo relacionado con calidad, mezclado y colocación, y con la normativa NTC 3318/ASTM C94.

500.3.1 Equipo para la elaboración de agregados y la producción del concreto

Rige lo establecido en el numeral 630.3.1 y 630.3.2 del artículo 630.

500.3.2 Equipo para el transporte del concreto al sitio de las obras

Rige lo establecido en el numeral 630.3.3 del artículo 630.

500.3.3 Equipos para la colocación del concreto

La mezcla de concreto se debe extender y consolidar por los medios apropiados para garantizar la homogeneidad de la mezcla colocada, al tiempo que se evita la segregación y la aparición de vacíos, se alcanza el espesor y la densidad adecuados, así como el

contenido de aire especificado. La colocación se puede realizar mediante extendido entre formaletas fijas, con equipos de formaletas deslizantes o equipos láser.

El constructor debe proponer los equipos de colocación del concreto adecuados para las diferentes situaciones, teniendo en cuenta las características del proyecto, el tipo de concreto, las condiciones logísticas del tramo a colocar, etc. Estos sistemas de colocación deben ser aprobados por el interventor.

En ningún caso se permite el extendido y la nivelación manual del concreto mediante el uso de regla, codal o boquillera.

Tabla 500 — 7. Equipos mínimos propuestos para la colocación del concreto

Tipo de tránsito	Equipos
NT1	Formaleta fija: la formaleta fija debe ser de un material capaz de soportar el empuje del concreto y el peso del equipo usado durante las operaciones de pavimentación sin deformarse ni pandearse.
	Flota motorizada de magnesio o de aleación equivalente.
	Regla vibratoria tipo cercha.
	Rodillo extendedor sencillo. Se debe garantizar que el diámetro del rodillo sea proporcional al ancho del carril para evitar el pandeo (flecha o catenaria).
	Rodillo extendedor de tres tubos con o sin juego de vibradores.
	En el caso de no contar con juego de vibradores externos o adosados al equipo, se debe garantizar la cantidad suficiente de vibradores manuales externos para asegurar la adecuada vibración del tramo a pavimentar.
NT2	Formaleta fija: la formaleta fija debe ser de un material capaz de soportar el empuje del concreto y el peso del equipo usado durante las operaciones de pavimentación, sin deformarse ni pandearse.
	Cercha con rodillo transversal que circula sobre rieles.
	Rodillo extendedor de tres tubos con o sin juego de vibradores.
	En el caso de no contar con juego de vibradores externos o adosados al equipo, se debe garantizar la cantidad suficiente de vibradores manuales externos para asegurar la adecuada vibración del tramo a pavimentar.
NT3	Pavimentadora de formaleta o cimbra deslizante. - Con o sin sistema de instalación de dovelas de transferencia de carga (*Dowel Bar Insert* – DBI), como alternativa a la instalación manual de canastillas de transferencia de carga. - Con o sin sistema de instalación de barras de amarre. - Con o sin sistema de frotado automático (fratasado automático).
	Regla vibratoria o rodillo extendedor de tres tubos con o sin juegos de vibradores cuando la construcción deba ser complementada en áreas pequeñas.
	Cercha con rodillo transversal que circula sobre rieles (en tramos planos).
	Texturizador automático como alternativa al texturizador manual.
	Equipo de aplicación de membrana de curado automático como alternativa a los aspersores motorizados.

Tipo de tránsito	Equipos
NT1, NT2 y NT3	Kit de pavimentación (para NT1, NT2 y NT3): - Enrasador o regla articulada de chequeo con rótula y extensiones suficientes para abarcar el ancho de pavimentación. La sección mínima de este elemento es de diez centímetros (10 cm) por cinco centímetros (5 cm) (4 pulgadas por 2 pulgadas), longitud o ancho mínimo de tres metros (3 m). *Super flat pavers straigthedges* o *bump cutter*. - Flotador o flota de magnesio o de material equivalente, longitud o ancho mínimo 3 m, con rótula y extensiones suficientes para abarcar el ancho de pavimentación. - Tela o costal de microtexturizado de fique, yute o material equivalente. Debe ser de una sola pieza continua sin costuras intermedias para abarcar el ancho de pavimentación. Se debe pasar húmedo y limpiar periódicamente durante el proceso. - Cepillo o peine de macrotexturizado (con extensiones suficientes para abarcar el ancho de pavimentación). La separación de los dientes puede ser continua o discontinua y la aplicación del macrotexturizado puede ser transversal o longitudinal dependiendo de las especificaciones del diseñador. - Aspersores motorizados para la aplicación del retardante de evaporación. - Aspersores motorizados para la aplicación de la membrana de curado. - Cortadora manual o autopropulsada con disco diamantado y refrigeración por agua. - Hidrolavadora para garantizar que en término de 3 horas después de realizado el corte inicial, la masilla generada por el corte sea retirada de la caja de corte. - Soplador o compresor para la limpieza de la caja de corte, previo a la aplicación de la tirilla de respaldo o soporte del elastómero del sello. - Aplicador para garantizar la profundidad de la tirilla de respaldo del sello. - Aplicador del elastómero (poliuretano o silicona).

El constructor debe garantizar la calibración periódica de los equipos, de acuerdo con el plan de mantenimiento y la calibración de estos, fijado en el plan de calidad del proyecto. Las calibraciones deben ser realizadas por laboratorios de calibración que cuenten con la acreditación por parte del Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC) para la unidad de medida por verificar, garantizando que las mediciones realizadas por la empresa sean trazables al Sistema Internacional de Unidades (SI).

Estos equipos deben ser probados y aprobados en el tramo de prueba especificado en el numeral 500.4.5.

500.4 Ejecución de los trabajos

500.4.1 Consideraciones constructivas con relación al diseño de la capa de rodadura

El alcance de los diseños de la capa de rodadura de concreto hidráulico debe incluir los siguientes elementos, los cuales también deben ser verificados por el constructor, y aprobados por el interventor para poder iniciar la construcción de las losas de concreto:

- Método de diseño utilizado
  - Memoria de diseño
    - Criterios utilizados
    - Variables
    - Cálculos

- Tolerancias de los elementos terminados
  - Espesores
  - Dimensiones de las losas de acuerdo con los documentos del proyecto
  - Dimensiones de las cavidades
  - Ubicación de elementos de transferencia y amarre
  - Otras tolerancias

- Espesores de las capas del pavimento
  - Espesores de las capas de base o de estructuras existentes
  - Espesores de las losas de concreto

- Sistema de transferencia
  - Tipo y características del sistema de transferencia
    - Barras (acero, barras de polímero reforzado con fibras, otros materiales)
    - Dovelas diamantadas
    - Platinas
  - Resistencia de los elementos de transferencia
  - Calidad de los extremos de corte de las barras
    - Sin rebabas
    - Corte liso
  - Dimensiones
    - Barras (diámetro de las barras, longitud de las barras, separación entre barras, separación entre junta y primera barra)
    - Dovelas y platinas (espesor, dimensiones, separación entre dovela o platina, separación entre junta y primera dovela, elementos necesarios para la colocación y funcionamiento)
  - Ubicación en las losas
  - Sistema de antiadherencia y consideraciones para el uso
  - Longitud de engrase de la barra
  - Consideraciones para la colocación
    - Uso de canastas
    - Uso de sistemas automáticos de inserción
  - Sistemas especiales de transferencia
    - Uso de cápsulas y soportes

- Sistema de amarre
  - Tipo y características del sistema de amarre
    - Barras (acero, poliméricas, fibras de vidrio u otro material)
  - Resistencia de los elementos de amarre
  - Dimensiones
    - Diámetro de las barras
    - Longitud de las barras
    - Separación entre barras
    - Separación entre junta y primera barra
  - Ubicación en las losas
  - Consideraciones para la colocación
    - Inserción manual
    - Uso de canastas
    - Uso de sistemas automáticos de inserción

- Producción del concreto
  - Resistencia a la flexión
  - Resistencia a la compresión
  - Consideraciones
    - Módulo de elasticidad
    - Peso unitario
    - Requisitos de durabilidad
    - Valor máximo de contracción del concreto
    - Relaciones agua/material cementante
  - Diseños de mezclas
    - Consideraciones para el uso de cada diseño de mezcla
    - Consideraciones especiales para ajustes del diseño de mezcla
  - Ensayos que se deben realizar al concreto
    - En estado fresco (asentamiento, temperatura, peso unitario)
    - En estado endurecido (resistencia a la flexión, resistencia a la compresión,

durabilidad, variaciones dimensionales, contracción durante el fraguado, contracción por secado de la mezcla endurecida)
  - Rangos de temperatura aceptables y consideraciones en caso de temperaturas por fuera del rango

- Transporte del concreto
  - Tipos de transportes y consideraciones para la selección
  - Características de cada sistema de transporte
  - Limitaciones

- Descarga del concreto
  - Distancia máxima de caída libre del concreto
  - Consideraciones en caso de distancias mayores

- Colocación
  - Consideraciones para la colocación del concreto
  - Secuencia recomendada de colocación
  - Consideraciones para la selección del equipo de colocación
    - Asentamientos asociados a cada diseño de mezcla de acuerdo con el sistema de colocación

- Acabado superficial
  - Procedimientos establecidos para el acabado superficial
    - Chequeo superficial (condiciones para el chequeo, equipos a utilizar, tolerancias)
    - Flotado superficial (sentido y secuencia de flotado, momento de flotado)
    - Microtextura (material a utilizar, sentido de paso del equipo, momento del paso del equipo)
    - Rebordeo de juntas longitudinales (consideraciones para el rebordeo)
    - Macrotextura
      - Tipo de cepillado a utilizar (material de las cerdas, ancho de la cerda, profundidad de cepillado)
      - Momento del cepillado

- Protección y curado del concreto
  - Sistemas de protección
    - Cubiertas
    - Barreras
    - Sistemas de curado (riegos de agua, membranas de curado, materiales absorbentes, plásticos, retardantes de evaporación)
  - Tiempos y características de protección
    - Previa (cubiertas, barreras, cambios en diseños de mezclas)
    - Durante (retardantes de evaporación)
    - Después (curado de zonas en el retiro de formaletas)

- Tipos de juntas
  - Ubicación y detalle de las juntas de contracción
  - Ubicación y detalle de las juntas de expansión
  - Detalle de las juntas de construcción y situaciones en que se deben utilizar

- Modulación de las losas
  - Criterios utilizados para la modulación
    - Longitud máxima
    - Radio relativo de rigidez
    - Factor de esbeltez
    - Indicación de losas regulares e irregulares
    - Condiciones para el refuerzo de losas
    - Situaciones especiales
  - Planos con ubicación, detalles de la distribución y tipos de juntas

- Corte de juntas
  - Diseño de la sección de la cavidad
    - Ancho de cortes
    - Profundidades de corte
  - Plano con la secuencia de corte de juntas

- Sello de juntas
  - Materiales por utilizar
  - Factores de forma

- Apertura al tránsito
  - Criterios de apertura
  - Tipo de tránsito considerado para la apertura
  - Consideraciones
    - Tiempo
    - Resistencia del concreto
    - Elementos asociados a la estructura del pavimento

500.4.2 Explotación de materiales y elaboración de agregados

Rige lo establecido en el artículo 105, Desarrollo de los trabajos, en lo referente a la explotación y el procesamiento de materiales.

500.4.3 Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo

La dosificación del concreto determina las proporciones en que se deben combinar los diferentes materiales componentes como son: agregados, material cementante, adiciones suplementarias, agua, aditivos y eventualmente adiciones complementarias, de tal modo que se obtenga un concreto que cumpla con la resistencia, el asentamiento, la manejabilidad, la durabilidad y demás exigencias requeridas por las especificaciones particulares del proyecto y las presentes especificaciones.

Con suficiente antelación al inicio de los trabajos, el constructor debe suministrar al interventor, para su verificación, muestras representativas de los agregados, material cementante, adiciones suplementarias y complementarias, agua y aditivos, avaladas por los resultados de ensayos de laboratorio que garanticen la conveniencia de emplearlos en el diseño de la mezcla.

Una vez el interventor realice las comprobaciones que considere necesarias y dé su aprobación a los materiales con base en el cumplimiento de los requisitos de la presente especificación, el constructor debe diseñar la mezcla mediante un método validado por alguna institución técnica nacional o internacional, y definir una fórmula de trabajo, la cual debe someter a consideración del interventor.

Dicha fórmula debe señalar:

- El tipo de material cementante.
- Las proporciones en que se deben mezclar los agregados disponibles y la gradación media a que da lugar dicha mezcla, por los tamices correspondientes a la granulometría aceptada, así como la franja de tolerancia dentro de la cual es válida la fórmula propuesta.
- Las dosificaciones de agregados, material cementante, adiciones, agua y aditivos, se deben hacer en peso por volumen unitario de concreto (usualmente un metro cúbico (1 m^3) de concreto, o fracción de este). La cantidad de agua y los aditivos líquidos se puede dar por peso o por volumen. Para todo efecto se deben seguir los lineamientos de la NTC 3318.
- Módulo de finura del agregado fino.
- El contenido de aire (si se ha especificado).

- La resistencia a compresión de la mezcla a veintiocho días (28 d) de curado, y las edades adicionales que se especifiquen en el concreto a usar. Se mide según la norma INV E-410/NTC 673.
- Módulo de rotura de la mezcla a veintiocho días (28 d) de curado, y las edades adicionales que se especifiquen para el concreto a usar. Se mide según la norma INV E-414/NTC 2871.
- La consistencia se debe medir mediante el asentamiento INV E-404 o NTC 396. Cuando se requiera, se puede medir según el ensayo de flujo libre, norma NTC 5222 (aplicable para mezclas de más de 230 mm). Se pueden utilizar medios electrónicos para medir la consistencia del concreto siempre que se realicen correlaciones con los ensayos INV E-404/NTC 396 o NTC 5222, la que sea aplicable, y debe ser aprobado por el interventor. El constructor debe determinar la consistencia de cada concreto, teniendo en cuenta las condiciones específicas del proyecto (sistema de colocación, condiciones ambientales, tipo de estructura, materiales componentes, entre otras) y este debe ser aprobado por el interventor.

La fórmula de trabajo se debe reconsiderar cada vez que varíe alguno de los parámetros anteriormente mencionados de los siguientes factores:

- El tipo o clase del material cementante.
- El tipo, absorción y tamaño máximo del agregado grueso.
- El módulo de finura del agregado fino en más de dos décimas (0,2).
- La gradación del agregado combinado en una magnitud tal, que ella se salga de la tolerancia fijada.
- La naturaleza y la proporción de los aditivos.
- El método de colocación del concreto.
- La procedencia del agua.
- Las tolerancias granulométricas indicadas en la Tabla 500 — 10.

En caso de variar cualquier otro parámetro, el interventor puede exigir la modificación de la fórmula de trabajo para que esta se ajuste a la variación de los parámetros realizada.

El constructor debe considerar que el concreto sea dosificado y elaborado para asegurar su resistencia promedio suficientemente superior a la especificada en los documentos del proyecto, de manera que se minimice la frecuencia de los resultados de pruebas por debajo del valor especificado. Para esto se deben cumplir los lineamientos de calidad, mezclado y colocación de la NSR. Con este fin, el constructor debe tener en cuenta que la magnitud en que el promedio de resistencia de la mezcla deba exceder la especificada en el diseño depende de la desviación estándar de la resistencia durante la etapa de producción y de la precisión con la que dicho valor pueda ser estimado, a partir de datos históricos sobre mezclas iguales o similares.

Al efectuar las mezclas de prueba en el laboratorio para el diseño de la mezcla, las muestras para los ensayos de resistencia deben ser elaboradas y curadas de acuerdo con la norma INV E-402/NTC 1377 y ensayadas, según la norma de ensayo INV E-410/NTC 673 e INV E-414/NTC 2871. Se deben elaborar curvas que muestren la variación de la resistencia a veintiocho días (28 d) (o a la edad definida para el concreto usado) en función de la relación agua/material cementante (a/mc) y del contenido de material cementante.

Estas curvas se deben basar en no menos de tres (3) puntos y preferiblemente cinco (5), que representen mezclas de prueba que den lugar a resistencias por encima y por debajo de la requerida. Cada punto debe representar el promedio de, por lo menos, dos (2) cilindros estandarizados de ciento cincuenta milímetros (150 mm) de diámetro por trecientos milímetros (300 mm) de altura o dos (2) vigas estandarizadas de ciento cincuenta milímetros (150 mm) de ancho por ciento cincuenta milímetros (150 mm) de alto y quinientos milímetros (500 mm) de longitud, ensayados a veintiocho días (28 d) (o a la edad definida para el concreto usado).

Los valores de la relación a/mc máxima y del contenido mínimo de material cementante admisibles por resistencia para el concreto a ser empleado en las losas de concreto, son los que permitan obtener una resistencia promedio por encima de la de diseño.

En todos los casos, la relación a/mc y el contenido de material cementante deben cumplir los valores máximo y mínimo, respectivamente, permitidos por las consideraciones de durabilidad correspondientes al concreto a usar definida en los documentos del proyecto. Cuando el diseño se realice por prescripción, este debe cumplir los requerimientos establecidos en el artículo 630. Si se realiza por desempeño, tanto la relación a/mc como el contenido de material cementante no deben ser diferentes a los obtenidos en la mezcla de prueba, la cual debe cumplir los parámetros de diseño por desempeño.

El interventor debe aprobar el diseño de mezcla propuesto. Sin embargo, esto no implica necesariamente la aceptación posterior de las obras de concreto que se construyan con base en dicho diseño, ni exime al constructor de su responsabilidad de cumplir todos los requisitos de las especificaciones y de los documentos del proyecto. La aceptación de las obras para fines de pago depende de su correcta ejecución, de la obtención de la resistencia mínima especificada para el concreto, resistencia que debe ser comprobada con base en los ensayos realizados a las mezclas realmente incorporadas en tales obras, de los requisitos de durabilidad aplicables y demás parámetros definidos en el proyecto.

No se permite ningún cambio al diseño de la mezcla sin autorización del interventor.

En la Tabla 500 — 8 se presentan los requisitos mínimos que deben cumplir las mezclas de concreto para una capa de rodadura de concreto hidráulico.

Tabla 500 — 8. Criterios de diseño para la mezcla de concreto en pavimentos de concreto hidráulico

Consultar fe de errata: https://www.invias.gov.co/index.php/normativa/politicas-y-lineamientos/documentos-tecnicos/19166-fe-de-erratas/file

Característica	Norma de ensayo	Valor sugerido
Módulo de rotura a veintiocho días (28 d), mínimo (MPa): - Tránsito NT1 - Tránsito NT2 - Tránsito NT3 (Nota)	INV E-414/NTC 2871	 3,8 4,0 4,2

Característica	Norma de ensayo	Valor sugerido
Asentamiento (mm):		
- Formaleta deslizante		0
- Flota motorizada		± 25
- Regla vibratoria	INV E-404/NTC 396	± 25
- Rodillo vibratorio		0
- Cimbra de rodillo		0
- *Fast track*		± 25

Nota: si el proyecto especifica el uso de concretos de fraguado rápido, los documentos deben definir la edad a la cual se debe alcanzar la resistencia de diseño.

Para cada dosificación ensayada, se controla el asentamiento bajo la norma INV E-404/NTC 396, el módulo de rotura bajo la norma INV E-414/NTC 2871 y resistencia a la compresión bajo la norma INV E-410/NTC 673 a las edades establecidas por el diseñador y, cuando se exija, el contenido de aire incluido bajo la norma INV E-406/NTC 1032.

Los ensayos de resistencia se deben llevar a cabo sobre probetas procedentes de cuatro (4) amasadas diferentes de concreto, elaborando series de seis (6) probetas por amasada. De cada serie se ensayan dos (2) probetas a siete días (7 d), dos (2) a veintiocho días (28 d) y dos (2) destinadas como testigos (o las edades definidas para control, resistencia de diseño y verificación de resistencia residual), obteniéndose los valores promedio de cada grupo de resultados. Se considera como fórmula de trabajo la mezcla cuyo valor promedio obtenido a veintiocho días (28 d), o la edad de diseño definida para el concreto usado, supere la resistencia especificada con un margen suficiente para que sea razonable esperar que, con la dispersión que introduce la ejecución de la obra, la resistencia característica real de la mezcla también sobrepase la especificada. Al efecto, el constructor debe tener en cuenta que la magnitud en que el promedio de resistencia a la compresión de la mezcla deba exceder la resistencia especificada de diseño depende de la desviación estándar de la resistencia durante la etapa de producción y de la precisión con la que dicho valor pueda ser estimado a partir de datos históricos sobre mezclas iguales o similares.

Es obligatoria la realización de ensayos de módulo de elasticidad estáticos a los veintiocho días (28 d), para la mezcla diseñada, según la norma de ensayo INV E-424/NTC 4025. Los documentos del proyecto pueden establecer requisitos mínimos para el módulo de elasticidad del concreto, caso en el cual la mezcla debe ser diseñada para cumplir también con dicho requisito.

El constructor debe remitir al interventor el diseño completo de la mezcla, donde se muestren las proporciones y los resultados del módulo de rotura y resistencia a la compresión del concreto a siete días (7 d), veintiocho días (28 d) y los destinados como testigos (o las edades definidas para control, resistencia de diseño y verificación de resistencia residual), así como el módulo de elasticidad y la densidad del concreto endurecido, determinada según la norma de ensayo NTC 5653 (ASTM C642), igualmente la validación de los requisitos de durabilidad. El diseño debe agregar una copia de todos los resultados de

ensayo, incluyendo las fechas de las pruebas, una lista completa de los materiales, donde se indique tipo, fuente y características especificadas, tipo y resultados de las pruebas físicas y químicas sobre agregados, material cementante, adiciones, agua y aditivos. También, debe tener el módulo de finura de la arena y el contenido de aire incluido en la mezcla. La producción industrial de la mezcla no puede comenzar hasta que el interventor apruebe el informe de diseño por escrito.

Los laboratorios en donde se realicen los ensayos necesarios para el desarrollo de la fórmula de trabajo de la mezcla, deben ser empresas legalmente constituidas que cuenten con experiencia y/o trayectoria en ejecución de pruebas y ensayos de control de calidad de materiales, que puedan demostrar apropiadamente la competencia de su personal de laboratorio y cuyos informes de resultados informados contengan la aprobación y autorización para su emisión, mediante la firma del responsable técnico facultado para ello. El laboratorio debe contar con todo el equipamiento principal y auxiliar necesario para el correcto desempeño de sus actividades y asegurar que estos cuenten con la exactitud y la precisión adecuadas para lograr resultados válidos. El laboratorio debe contar con un programa de calibración de sus equipos y se debe asegurar de que los resultados de la medición sean trazables al SI mediante alguna de las siguientes alternativas:

- La calibración de los equipos proporcionados por un laboratorio de metrología acreditado por ONAC.
- La comparación directa o indirecta a patrones nacionales o internacionales que cuenten con unidades del SI.
- Los valores certificados de materiales de referencia (MRC) proporcionados por productores competentes con trazabilidad metrológica establecida al SI.

El constructor es el responsable de garantizar que todos los ensayos necesarios se realicen. Los informes deben ser entregados rutinariamente al interventor, al profesional a cargo del diseño, a los proveedores de material y a la autoridad competente que verifique el cumplimiento de la calidad o que tome acciones correctivas.

Durante el estudio de la fórmula de trabajo, se puede establecer una correlación entre la resistencia a la flexión (INV E-414/NTC 2871) y la resistencia a la compresión (norma INV E-410/NTC 673), con un mínimo de sesenta y cuatro (64) datos, con los materiales del proyecto, la cual debe ser verificada en el tramo de prueba. Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión solo se pueden aceptar como herramienta de control si se ha establecido, a través de ensayos con los mismos ingredientes de la mezcla y para la misma edad, una correlación confiable entre ella y la resistencia a flexión ($R^2 \geq 0{,}90$).

500.4.4 Almacenamiento de materiales

Los agregados, el material cementante, las adiciones suplementarias, los aditivos y las adiciones complementarias se deben almacenar, de tal forma que se prevenga su deterioro o contaminación. Cualquier material que se haya deteriorado o contaminado no se debe usar para la elaboración del concreto. Para prevenir esta situación, los materiales se deben almacenar de acuerdo con las siguientes indicaciones.

500.4.4.1 Almacenamiento de los agregados pétreos

Rige lo establecido en el numeral 630.4.3.1 del artículo 630.

500.4.4.2 Almacenamiento del material cementante y adiciones suplementarias

Rige lo establecido en el numeral 630.4.3.2 del artículo 630.

500.4.4.3 Almacenamiento de aditivos y adiciones complementarias

Rige lo establecido en el numeral 630.4.3.3 del artículo 630.

500.4.5 Tramo de prueba

Aceptados por el interventor la fórmula de trabajo y el informe con el diseño de la mezcla, se procede a la realización de un tramo de prueba con el mismo equipo, velocidad de colocación del concreto, procedimientos de protección y curado y espesor de las losas del pavimento que se van a utilizar en la obra.

500.4.5.1 Elementos que se deben probar

El tramo sirve para verificar las condiciones de elaboración de la mezcla y comprobar que la colocación es adecuada y que los medios de vibración disponibles son capaces de consolidar adecuadamente el concreto en todo el espesor de la capa de rodadura; que se cumplen las limitaciones sobre uniformidad y regularidad superficial establecidas por la presente especificación; que el proceso de curado y protección del concreto fresco es adecuado y que las juntas se realizan correctamente.

El tramo de prueba sirve como patrón de verificación de los diferentes aspectos que se deben tener en cuenta y ser controlados en la construcción de las losas, tales como los siguientes:

- Calidad de la mezcla de concreto
- Sistemas de colocación del concreto
- Secuencia y calidad en la colocación del concreto
- Vibrado del concreto
- Tiempos entre actividades
- Chequeo superficial
- Flotado
- Texturizado
- Procedimientos de protección y curado
- Ventana de corte de juntas
- Corte de juntas
- Sistemas de sellado
- Tiempos de apertura al tránsito
- Procedimientos especiales o particulares de construcción

500.4.5.2 Extensión del tramo de prueba

La construcción del tramo de prueba debe ser mínimo de cien metros (100 m) de longitud en dos (2) carriles. Su obligatoriedad para cada uno de los niveles de tránsito (NT1, NT2 y NT3) debe ser establecida en los documentos del proyecto.

En el caso de que los resultados del primer tramo no sean satisfactorios, este se demuele por cuenta del constructor y se construyen cuantos tramos sean necesarios, introduciendo variaciones en los equipos, métodos

de ejecución o, incluso, en la dosificación, hasta obtener una capa de rodadura con las condiciones exigidas. Logrado esto bajo la supervisión y posterior aprobación del interventor, se puede proceder a la construcción de la capa de rodadura contratada.

500.4.5.3 Calidad de la mezcla

Del trabajo satisfactorio se extraen dos (2) núcleos por zona, en cinco (5) zonas diferentes, para determinar en cada una la densidad del concreto endurecido (ASTM C642) y la resistencia a la compresión simple (INV E-410/ NTC 673), para un total de cinco (5) muestras por ensayo. Estos diez (10) testigos se toman conforme lo indica la norma de ensayo INV E-418/NTC 3658, a los veintiséis días (26 d) de la puesta en obra, en sitios distantes entre sí no menos de siete metros (7 m) en sentido longitudinal y a no menos de quinientos milímetros (500 mm) de cualquier junta o borde.

La extracción de los testigos sirve, también, para observar la homogeneidad del concreto colocado, como verificación de los procesos de colocación y vibrado. La eventual presencia de hormigueros hace obligatoria la demolición de las losas afectadas y el replanteamiento completo de los procesos de colocación y vibrado del concreto.

Todos los orificios resultantes de la extracción de testigos del tramo de prueba aprobado, para determinar la resistencia y la densidad, deben ser rellenados, vibrados y curados por el constructor, a la mayor brevedad posible y sin costo para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), con un concreto de igual o mayor resistencia que el extraído.

500.4.5.3.1 Mezclas de concreto

Las mezclas de concreto por utilizar deben cumplir los requisitos descritos en el numeral 500.4.3 y las especificaciones dadas en el proyecto, y se deben producir de acuerdo con lo establecido en la NTC 3318.

500.4.5.3.2 Resistencia del concreto

La resistencia de la mezcla se evalúa en términos de su resistencia a la flexión, siguiendo los lineamientos de la NTC 2871/INV E-414. De manera excepcional, se puede evaluar la resistencia a la compresión según la NTC 673/INV E-410, siempre y cuando se haya construido una correlación entre la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión para cada diseño de mezcla por utilizar. La correlación debe cumplir lo establecido en el numeral 500.4.5.3.2.1.

500.4.5.3.2.1 Correlaciones entre resistencias a flexión y compresión

La correlación se debe construir con al menos cuatro (4) diseños de mezcla diferentes, con mínimo dieciséis (16) datos por mezcla, con el objeto de cubrir un rango suficientemente amplio de valores de módulo de rotura y resistencia a la compresión. Los materiales con los que se construyan los diseños de mezclas para realizar la correlación deben ser los mismos a usar en la obra, además, el diseño de mezcla escogido debe ser alguno de los empleados en dicha correlación.

Las probetas cilíndricas deben ser elaboradas de acuerdo con la NTC 550/INV E-420 y ensayadas cumpliendo la NTC 673/INV E-410 y sus correspondientes muestras a flexión de vigas

elaboradas bajo la NTC 550/INV E-420 y ensayadas cumpliendo la NTC 2871/INV E-414. Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión solo se pueden aceptar como herramienta de control si se ha establecido, a través de ensayos con los mismos ingredientes de la mezcla y para la misma edad, una correlación confiable entre ella y la resistencia a la flexión ($R^2 \geq 0{,}90$).

500.4.5.3.2.2 Contracción

En caso de que el proyecto así lo especifique, el diseño de mezcla se debe realizar para cumplir el valor de contracción especificado en el proyecto. Este ensayo se debe realizar aplicando la NTC 5640 (ASTM C157), y debe cumplir lo especificado en el proyecto a la edad definida.

500.4.6 Construcción de la capa de rodadura de concreto

500.4.6.1 Preparación de la superficie existente

La mezcla no se debe extender hasta que se compruebe que la superficie sobre la cual se va a colocar tenga la densidad apropiada y las cotas indicadas en los documentos del proyecto. Todas las irregularidades que excedan las tolerancias establecidas en la especificación de la unidad de obra correspondiente se deben corregir de acuerdo con lo establecido en ella, hasta contar con la aprobación del interventor.

Cuando la superficie existente presente deficiencias en las cotas en relación con las definidas en los documentos del proyecto, la deficiencia se debe completar con material de pavimento de concreto hidráulico. El volumen de concreto colocado para suplir estas deficiencias e imperfecciones no debe ser objeto de pago, si la capa de apoyo fue construida en desarrollo del mismo contrato.

Inmediatamente antes de colocar el concreto, se humedece la superficie de apoyo de la capa de rodadura para prevenir pérdidas rápidas en la humedad de la mezcla, sin que se alcance la saturación o se produzcan charcos en la superficie.

Se prohíbe circular sobre la superficie preparada, salvo las personas y equipos indispensables para la ejecución de las losas de concreto hidráulico.

Los requisitos indicados en este numeral rigen, también, para el tramo de prueba al cual hace referencia el numeral precedente.

500.4.6.1.1 Requisitos para la superficie base

La superficie base sobre la cual se van a fundir las losas de concreto debe cumplir el artículo 330, Base granular, cuando se trate de bases granulares; el artículo 340, Base estabilizada con emulsión asfáltica, cuando se trate de bases estabilizadas con emulsión asfáltica o el artículo 350, Materiales granulares tratados con cemento como capa estructural, cuando la base es tratada con cemento. Se debe garantizar que se cumplen cada uno de los requisitos allí establecidos.

500.4.6.2 Elaboración de la mezcla

Rige lo establecido en el numeral 630.4.6 del artículo 630.

500.4.6.3 Transporte del concreto al sito de las obras

Rige lo establecido en el numeral 630.4.7 del artículo 630.

500.4.6.4 Sistemas de colocación

Se deben tener en cuenta aspectos como perfil del pavimento, ancho de calzada, ancho de fundida, espesor de la capa de rodadura, condiciones de sitio de colocación y condiciones particulares del proyecto para escoger el sistema de colocación. Se puede hacer por medio de las bandas transportadoras con la incorporación de brazos giratorios, permitiendo una colocación bastante homogénea sobre toda la superficie. También pueden usarse camiones basculantes que depositan la mezcla en una sola pasada a lo ancho del pavimento delante de la pavimentadora.

500.4.6.4.1 Secuencia de colocación

La colocación debe empezar a lo largo del perímetro, en un extremo del área de trabajo, descargando cada amasada contra el concreto anteriormente colocado. No se permite verter el concreto en pilas separadas para luego nivelarlo y trabajarlo simultáneamente, ni tampoco se puede colocar el concreto en pilas grandes y moverlo horizontalmente a largas distancias para su posición final. Esto con el objetivo de evitar la segregación de la mezcla. La velocidad de colocación debe ser suficientemente rápida para que el concreto colocado previamente no haya fraguado cuando se coloque el siguiente amasado delante de esta, evitando así la generación de juntas frías en la estructura.

500.4.6.4.2 Tiempos máximos de colocación, vibrado y acabado

El concreto se debe colocar, vibrar y acabar antes de que transcurran noventa minutos (90 min) desde el momento de su mezclado, o lo que se defina en el tramo de prueba. Sin embargo, el interventor puede autorizar un aumento de este plazo, si ocurren condiciones favorables de humedad y temperatura, si se emplean camiones mezcladores o camiones provistos de agitadores o si se adoptan precauciones para retardar el fraguado del concreto.

500.4.6.5 Esquema de pavimentación

500.4.6.5.1 Colocación con el sistema de formaleta fijas

Cuando la puesta en obra se realice entre formaletas fijas, el concreto se distribuye uniformemente y, una vez extendido, se compacta por vibración y se enrasa con elementos adecuados, de modo de tener una superficie uniforme, lisa y libre de irregularidades, marcas y porosidades. Para este fin, se deben emplear reglas o rodillos vibratorios y, adicionalmente, vibradores de aguja, teniendo especial cuidado en la consolidación de los bordes de la losa.

En las capas de rodadura de tipo armado, el vaciado del concreto se debe hacer en dos (2) capas, vertiendo la segunda encima de la armadura, lo más rápido posible, antes de que comience el fraguado de la primera. El plazo para la puesta en obra de ambas capas no puede exceder de una hora (1 h), salvo que el interventor considere que se presentan condiciones favorables de humedad y temperatura.

500.4.6.5.1.1 Características de las formaletas

Cuando la obra se ejecute entre formaletas fijas, estas pueden constituir por sí mismas el camino de rodadura de las máquinas de construcción de las losas de concreto hidráulico, o tener un carril para atender esa función. Deben presentar rigidez y fijación a la superficie existente, para evitar deformaciones a la hora de la colocación del concreto.

Las caras interiores de las formaletas deben aparecer siempre limpias, sin restos de concreto u otras sustancias adheridas a ellas. Antes de verter el concreto, dichas caras se deben recubrir con un producto antiadherente, cuya composición y dosificación deben contar con la aprobación del interventor.

Se debe controlar que la altura libre de las formaletas corresponda, efectivamente, al espesor de diseño de las losas.

El alineamiento de las formaletas, tanto en planta como en perfil, debe ser correcto. No se pueden observar diferencias en la altura ni desviaciones en planta superiores a diez milímetros (10 mm), en relación con el alineamiento teórico. Además, en ningún punto se debe observar una flecha superior a tres milímetros (3 mm) bajo una regla de tres metros (3 m) puesta sobre el riel de las formaletas. Es conveniente revisar los niveles de las formaletas, por medio de mediciones topográficas después de colocadas para garantizar un buen perfil longitudinal del pavimento. Toda desviación en exceso se debe corregir inmediatamente.

Antes de colocar el concreto, debe estar disponible una longitud mínima colocada y alineada de formaletas, garantizando avances significativos de fundida continua durante varias jornadas de trabajo.

Cuando la máquina utilice como formaleta un bordillo o una franja de pavimento rígido construido previamente, dicho elemento debe tener una edad de, por lo menos, tres días (3 d).

500.4.6.5.1.2 Equipos de colocación en formaleta fija

Para una correcta extensión y compactación del concreto se pueden usar reglas vibratorias, rodillos vibratorios, manualmente o por cualquier otro sistema; deben pasar sobre el material cuantas veces sea necesario para garantizar un correcto compactado y borrar cualquier imperfección apreciable. Se permite el uso de más de una unidad vibratoria siempre y cuando estas trabajen de manera sincronizada, y para facilitar la operación de compactación se pueden usar vibradores de inmersión con el objetivo de precompactar el concreto colocado en todo el ancho de la losa, teniendo especial cuidado en los bordes cerca de las formaletas.

500.4.6.5.1.2.1 Reglas vibratorias

Estas se desplazan a lo largo de la sección que se va a pavimentar, apoyándose sobre cada uno de los costados de las formaletas. La velocidad de vibrado debe ser tal que permita una adecuada compactación.

500.4.6.5.1.2.2 Rodillos vibratorios

Está compuesto por uno o más rodillos lisos, los cuales giran en la dirección opuesta a su recorrido. Estos se apoyan a los extremos de

la formaleta desde donde se desplazan en sentido del tránsito, permitiendo una extensión, compactación y alisado eficiente del concreto. La velocidad de vibrado debe ser tal que permita una adecuada compactación.

500.4.6.5.1.2.3 Método manual

Se pueden emplear mecanismos manuales para realizar la compactación. Una vez enrasado el concreto, este debe ser apisonado con una regla-pisón, la cual se extiende de manera longitudinal y transversal a lo largo de la losa cubriendo toda su superficie, apoyándose siempre sobre las formaletas. La velocidad de vibrado debe ser tal que permita una adecuada compactación. Al finalizar la compactación, la superficie debe presentar la forma y los niveles indicados en los documentos del proyecto.

500.4.6.5.2 Colocación con el sistema de formaletas deslizantes

Cuando la puesta en obra del concreto se realice con pavimentadoras de formaletas deslizantes, la descarga y la extensión previa del concreto en todo el ancho de pavimentación se deben realizar de modo suficientemente uniforme, para no desequilibrar el avance de la pavimentadora. Esta precaución se debe extremar al pavimentar en pendientes.

Se debe cuidar que delante de la maestra enrasadora se mantenga, en todo momento, y en toda la anchura de pavimentación, un volumen suficiente de concreto fresco en forma de cordón, de unos diez centímetros (10 cm) de altura como máximo; delante de los fratases de acabado se debe mantener un cordón continuo de mortero fresco, de la menor altura posible.

Este sistema debe contar con dos tipos de vibradores, internos para lograr una consolidación inicial, y externos, para una consolidación final mejorando el acabado. La velocidad escogida de vibrado depende del tamaño de las partículas, la gradación y el diseño de la mezcla, y debe ser tal que permita la eliminación de vacíos consolidando eficientemente la mezcla.

500.4.6.5.2.1 Sistemas de guía

500.4.6.5.2.1.1 Tendido de línea guía

Se debe establecer por medio de topografía la ubicación y las cotas de las barras de soporte de las líneas guías. Estas barras (peniques) deben estar marcadas con elementos de fácil reconocimiento, y clavadas lo suficientemente dentro de la base para garantizar la estabilidad de la línea guía.

El espaciamiento de los piquetes que sostienen el hilo guía no debe ser mayor de diez metros (10 m), distancia que se reduce a cinco metros (5 m) en curvas horizontales de radio menor de quinientos metros (500 m) y en curvas verticales. Los apoyos de hilo en los piquetes tienen la cota teórica y el hilo se debe tensar, de manera que la flecha entre dos piquetes consecutivos sea menor de un milímetro (1 mm). Estos hilos, pueden ser de nylon tejido, cuerda de poliestireno, alambre o cualquier otro material liviano y resistente a la tensión sometida, aprobado por el interventor. Una vez localizados los peniques, se debe proceder a la ubicación de los brazos que soportan las líneas guías. Deben ser metálicos y con la forma adecuada para no interrumpir el tránsito de los sensores de la pavimentadora sobre la línea guía. Deben contar con un

mecanismo que les permita ajustar la altura, la distancia respecto a los peniques, y a su vez, fijar la línea guía para evitar el desplazamiento de esta. Los hilos guías deben ser tensionados (distancias menores a doscientos metros (200 m)) antes de insertarlos sobre los brazos de soporte para garantizar un tensionamiento uniforme, y teniendo en cuenta las precauciones necesarias en caso del rompimiento de una de las líneas guías. Si esto ocurre, esta debe ser reemplazada por una nueva.

Donde se vacíe una franja de capa de rodadura junto a otra existente, se puede usar esta como guía de las máquinas. En este caso, debe haber alcanzado una edad mínima de tres días (3 d) y la superficie se debe proteger de la acción de las orugas interponiendo bandas de goma, chapas metálicas u otros materiales adecuados, a una distancia conveniente del borde. Si se observan daños estructurales o superficiales en los caminos de rodadura, se debe suspender el vaciado, y reanudarlo solamente cuando la franja vecina haya adquirido la resistencia necesaria o cuando se adopten las precauciones suficientes para que no se vuelvan a producir daños.

Los caminos de rodadura de las orugas se deben mantener limpios y, cuando correspondan a la capa de soporte de las losas, deben estar suficientemente compactados para permitir el paso de ellas sin deformaciones. En este último caso, no deben presentar irregularidades superiores a quince milímetros (15 mm), medidas con una regla de tres metros (3 m).

Independente del sistema de colocación seleccionado (formaletas fijas o deslizantes), el interventor lo debe verificar y aprobar, junto con los mecanismos de vibración del concreto colocado.

500.4.6.6 Descarga del concreto

Antes de vaciar el concreto, la superficie de apoyo debe estar preparada, de acuerdo con lo descrito en el numeral 500.4.6.1. La máxima caída libre de la mezcla desde el vehículo de transporte en el momento de la descarga es de un metro (1,0 m) para evitar segregación, y se debe procurar que ello ocurra lo más cerca posible del lugar definitivo de colocación, con el fin de reducir al mínimo las posteriores manipulaciones.

Cuando el concreto se coloque contra un pavimento existente, la parte del equipo de colocación que repose sobre este debe estar equipada con cojines de protección en sus orugas o con llantas de caucho, que circulen a suficiente distancia del borde del pavimento, para evitar la rotura o el agrietamiento de este.

Donde la calzada tuviera dos (2) o más carriles en el mismo sentido de circulación, se vacían al menos dos (2) carriles al mismo tiempo, salvo que el interventor refiera otras indicaciones.

Se deben disponer pasarelas móviles, con el fin de facilitar la circulación del personal y evitar daños al concreto fresco. Los tajos de vaciado deben tener todos sus accesos bien señalizados y acondicionados para proteger el pavimento recién construido.

En los casos en que el interventor autorice la extensión y la compactación del concreto por medios manuales, se debe mantener siempre un volumen suficiente de mezcla delante de la regla vibratoria y se debe continuar compactando hasta que se haya conseguido la forma prevista y el mortero refluya ligeramente a la superficie.

En el caso de suspender la colocación del concreto por más de media hora (1/2 h), se debe proteger el frente del pavimento con telas de fique húmedas. Si el lapso de interrupción supera el plazo máximo admitido entre la mezcla y la terminación de la puesta en obra, se debe disponer una junta transversal de construcción, de acuerdo con lo que se indica en el numeral 500.4.6.13.

En vías de dos carriles, el concreto se debe colocar por carriles de ancho constante, separados por juntas longitudinales de construcción. En los casos en que se deba colocar un ancho inferior al de un carril, se debe compactar y enrasar mecánicamente, con la ayuda de los métodos manuales mínimos que resulten necesarios.

El constructor debe ajustar los métodos y los equipos de colocación y compactación siempre que se observe segregación o vacíos en el concreto colocado y compactado.

Si el interventor considera que la compactación es deficiente, se requiere la ejecución de ensayos de verificación de densidad. Estos ensayos de verificación consisten en la toma de núcleos del concreto terminado después de, al menos, cuarenta y ocho horas (48 h) de curado. La densidad se debe determinar en la condición saturada y seca superficialmente, según la norma de ensayo ASTM C642. Los ensayos se toman por lo menos uno (1) cada trescientos cincuenta metros cúbicos (350 m^3) de concreto.

La densidad promedio de los núcleos debe ser comparada con la definida en el tramo de prueba y no puede ser menor de noventa y siete por ciento (97 %); así mismo, ningún núcleo debe tener una densidad menor de noventa y seis por ciento (96 %). Si estas condiciones no se cumplen, se considera que la vibración es inadecuada y se debe mejorar, de manera que los requisitos anteriormente establecidos se logren en las posteriores verificaciones.

500.4.6.7 Recubrimiento de refuerzo

En caso de contemplar refuerzo en alguna de las losas, el recubrimiento debe cumplir lo establecido en el diseño de la losa de concreto, pero en ningún caso deben estar por debajo de los mínimos establecidos en la NSR (requisitos de recubrimiento del refuerzo convencional y de tendones de preesfuerzo no adheridos). La tolerancia del recubrimiento debe estar, de igual manera, de acuerdo con la NSR.

500.4.6.8 Acabado superficial de la capa de rodadura construida

Después de extendido y compactado, el concreto debe ser sometido a un proceso de acabado superficial para lograr una superficie plana y ajustada a las cotas del proyecto, dentro de las tolerancias permitidas.

El acabado de las losas construidas con pavimentadoras de formaletas deslizantes debe ser efectuado por la misma máquina pavimentadora, la cual debe disponer de los elementos necesarios para ello.

Terminadas las operaciones de acabado recién descritas y mientras el concreto aún esté fresco, se deben redondear cuidadosamente los bordes de las losas con una llana especial de doce milímetros (12 mm) de radio.

Las juntas transversales de construcción y las de dilatación se redondean del mismo modo, pero con una llana de seis milímetros (6 mm) de radio.

500.4.6.8.1 Chequeo superficial

500.4.6.8.1.1 Sistemas de chequeo temprano superficial

Una vez terminada esta operación y mientras el concreto se encuentre en estado plástico, se comprueba el acabado superficial por medio manual, con una regla de tres metros (3 m) colocada paralela o perpendicularmente al eje de la calzada en cualquier sector de ella que no esté afectado por cambios de pendiente, o por medio de mecanismos de control láser, verificando que las irregularidades no excedan de cinco milímetros (5 mm). En el caso de que se presenten diferencias mayores, ellas se deben eliminar, ya sea agregando concreto fresco que se vibra y termina del mismo modo que el resto de la capa de rodadura, o bien eliminando los excesos con los bordes de la llana. Se prohíbe el riego de agua o la extensión de mortero sobre la superficie, para facilitar el acabado y corregir irregularidades de la capa de rodadura.

500.4.6.8.1.2 Flotado superficial

El acabado de las losas construidas entre formaletas fijas se puede realizar por medio de herramientas manuales, como un flotador o un enrasador. También, se pueden utilizar equipos de terminado que se deslicen sobre las formaletas fijas. La disposición y el movimiento del elemento enrasador deben ser los adecuados para eliminar las irregularidades superficiales y obtener el perfil, sin superar las tolerancias establecidas.

500.4.6.8.1.3 Microtexturizado superficial

La microtextura se realiza mediante el uso de la tela especificada en la Tabla 500 — 7.

La tela de yute debe estar humedecida y se debe pasar después de que el concreto se haya flotado y/o allanado, y que haya exudado. Si después de haber pasado la tela, el concreto exuda nuevamente, esta se debe pasar nuevamente y aplicarse a lo largo del tramo (longitudinalmente).

La aplicación del retardador de fraguado se debe hacer antes de transcurridos quince minutos (15 min) desde la puesta en obra, extendiendo a continuación una membrana impermeable, que se mantiene hasta la eliminación del mortero. Esta operación se realiza antes de transcurridas veinticuatro horas (24 h), salvo que un fraguado insuficiente del concreto requiera alargar este periodo.

Se debe contar con soportes que permiten subir o bajar la tela cuando se requiera, y ganchos para un mejor agarre. Se debe tener especial cuidado en que la tela no esté ni muy húmeda que pueda generar burbujas, ni muy seca que haya el riesgo de levantar el concreto. Se debe procurar que el tejido sea continuo, para evitar la adición de retazos ya que esto marca de manera notoria el concreto.

Se puede hacer uso de otros materiales en reemplazo de la tela de yute, como cuero o pasto sintético, pero deben ser aprobados por el interventor.

500.4.6.8.1.4 Macrotexturizado superficial

Una vez culminadas las operaciones de acabado superficial y antes de que comience a

fraguar el concreto, se le debe dar a la capa de rodadura una textura transversal y longitudinal homogénea, según se establezca en el diseño, en forma de estriado, mediante la aplicación manual o mecánica del peine de dientes metálicos citado en la Tabla 500 — 7, en forma sensiblemente perpendicular y longitudinal, según corresponda, al eje de la calzada, y de tal forma que las estrías tengan la profundidad adecuada. Este sistema permite la rápida evacuación del agua de la superficie, reduciendo la ocurrencia de hidroplaneo. Debe contar con una profundidad de entre tres milímetros (3 mm) y seis milímetros (6 mm), teniendo especial cuidado de que el agregado no se perturbe en exceso.

Su aplicación debe ser en el tiempo que el constructor crea conveniente, evitando una aplicación tardía ya que se tendría que ejercer una mayor presión o profundidad generando una superficie irregular.

500.4.6.9 Protección y curado del concreto

Durante el tiempo de fraguado, el concreto debe ser protegido contra el lavado por lluvia, contra la insolación directa, el viento y la humedad ambiente baja. El constructor tiene la responsabilidad de medir las temperaturas del concreto y del aire, la humedad relativa y la velocidad del viento en el sitio de extensión del concreto. Cuando la combinación de estos factores indique que la velocidad de evaporación excede quinientos gramos por metro cuadrado por hora (500 g/m^2/h), debe tomar precauciones adicionales para limitar las pérdidas de humedad o, de lo contrario, suspender las operaciones de pavimentación mientras la rata de evaporación exceda el valor citado.

En épocas lluviosas, el interventor puede exigir al constructor colocar un toldo sobre las máquinas de puesta en obra o un tren de tejadillos bajos, de color claro, cerrados y móviles, que cubran una longitud de construcción igual, al menos, a cincuenta metros (50 m). Alternativamente, puede autorizar la colocación de materiales impermeables sobre el concreto fresco, hasta que adquiera la resistencia suficiente de modo que el acabado superficial no se afecte por la lluvia. Si el constructor no atiende esta sugerencia y las losas sufren deslavado por tal efecto, debe someter la superficie a ranurado transversal mecánico, a sus expensas, y hasta contar con la aprobación del interventor.

Durante un periodo que, en general no debe ser inferior a tres días (3 d) a partir de la colocación del concreto, está prohibido cualquier tipo de tránsito sobre él, excepto el necesario para el aserrado de las juntas cuando se empleen sierras mecánicas. Este periodo puede ser reducido por el interventor, cuando en la construcción de la capa de rodadura se aplique la técnica conocida como *fast track*.

La selección del tipo de curado, así como el momento adecuado para su aplicación, dependen de las características específicas del proyecto, tales como las condiciones ambientales y el tipo de mezcla. Es responsabilidad del constructor proponer, para aprobación del interventor, el sistema de curado, así como implementar los cambios, tanto en estos sistemas como en los equipos, en caso de que los resultados dejen de ser satisfactorios en algún momento.

En el caso de los concretos tipo *fast track*, normalmente se requiere un sistema de curado

doble: primero la aplicación de productos químicos que forman una película curadora y, sobre esta, la instalación de membranas de polietileno o de papel.

El curado se debe hacer inmediatamente después del acabado final, cuando el concreto empiece a perder su brillo superficial.

El curado del concreto se debe realizar en todas las superficies libres, incluyendo los bordes de las losas, por un periodo no inferior a siete días (7 d) y, de ser posible, se debe prolongar hasta diez días (10 d). Sin embargo, el interventor puede modificar dicho plazo, a la vista de los resultados obtenidos sobre muestras del concreto empleado en la construcción de la capa de rodadura.

500.4.6.9.1 Sistemas de protección y curado

500.4.6.9.1.1 Materiales de protección y curado de concreto

500.4.6.9.1.1.1 Humedad

Cuando se opte por este sistema de curado, el cual no es aceptable en proyectos de nivel de tránsito tres (NT3), la superficie del pavimento se debe cubrir con telas de fique o algodón, arena u otros productos de alto poder de retención de humedad aprobados por el interventor, una vez que el concreto haya alcanzado la suficiente resistencia para que el acabado superficial de la capa de rodadura no se vea perjudicado por la colocación de estos elementos.

Dichos materiales no pueden estar impregnados ni contaminados por sustancias perjudiciales al concreto o que puedan ensuciar o decolorar la superficie del pavimento.

Mientras llega el momento de colocar el producto protector, la superficie del pavimento se debe mantener húmeda, aplicando agua en forma de rocío fino y nunca en forma de chorro. Los materiales utilizados en el curado deben permanecer saturados todo el tiempo que dure este.

500.4.6.9.1.2 Cubrimiento con compuestos curadores que forman membrana

Cuando el curado se realice con productos de este tipo, estos se deben aplicar inmediatamente hayan concluido las labores de colocación y de acabado del concreto y el agua libre de la superficie haya desaparecido completamente. Sin embargo, bajo condiciones ambientales adversas de baja humedad relativa, altas temperaturas, fuertes vientos o lluvias, el producto se debe aplicar antes de que se cumpla dicho plazo.

El producto de curado que se emplee debe cumplir la norma ASTM C309 y la dosificación de estos productos se debe hacer siguiendo las instrucciones consignadas en su respectiva ficha técnica suministrada por el fabricante. Su aplicación se debe llevar a cabo con un equipo que asegure su aspersión como un rocío fino, de forma continua y uniforme, en la cantidad autorizada por el interventor, la cual no puede ser inferior a doscientos cincuenta gramos por metro cuadrado (250 g/m^2). El equipo aspersor debe estar en capacidad de mantener el producto en suspensión y contar con un dispositivo que permita controlar la cantidad aplicada de la membrana.

También se pueden usar selladores o sellantes regidos por la norma ASTM C1315, que al entrar en contacto con el concreto forman una

película que endurece y sella, y poseen propiedades especiales como resistencia a los álcalis y a los ácidos, cualidades adhesivas y resistencia a la degradación por la luz ultravioleta. Estos compuestos ayudan al curado, protegen la estructura de daños causados por la penetración de líquidos perjudiciales para el concreto, brindan mayor durabilidad y minimizan la generación de polvo. Algunos mejoran la apariencia del concreto.

Cuando las juntas se realicen por aserrado, se aplica el producto de curado sobre sus paredes. También, se aplica sobre áreas en las que, por cualquier circunstancia, la película se haya estropeado durante el periodo de curado.

Cuando el concreto se haya colocado entre formaletas fijas, al retiro de estas se deben proteger los lados expuestos de las losas, con un tratamiento igual al aplicado sobre la superficie.

No se permite la utilización de productos que formen películas cuyo color sea negro.

500.4.6.9.1.1.3 Cubrimiento con membranas

Si se adopta este método de curado, las membranas se deben colocar cuando la superficie de concreto tenga la suficiente resistencia para que la capa de rodadura no se vea afectada en su acabado. Durante el intervalo transcurrido mientras esto sucede, se debe aplicar agua en forma de rocío para mantener la superficie húmeda.

Se pueden emplear materiales como mantas de algodón, yute, alfombras o espuma, los cuales se deben mantener mojados durante todo el periodo de curado, ya que, si se dejan secar el proceso se invierte. Antes de ser retirados se deben dejar secar para que el concreto se vaya secando paulatinamente, para evitar posibles golpes de calor.

Se debe asegurar la permanencia de las membranas durante todo el periodo previsto de curado, traslapando las fajas al menos doscientos milímetros (200 mm) y asegurando con pesos los bordes y los traslapos, con el fin de impedir el levantamiento de las membranas por acción del viento.

No se permite la utilización de membranas de color negro.

500.4.6.9.1.1.4 Retardantes de evaporación

Estos materiales forman una película delgada que retardan la rápida pérdida de humedad de la superficie del concreto. Es recomendable en zonas con temperaturas elevadas, baja humedad relativa y fuertes vientos. Su utilización debe ser aprobada por el interventor.

Cualquier sistema de curado escogido debe ser aprobado por el interventor y hacerse por lo menos durante los primeros siete días (7 d).

500.4.6.9.1.1.5 Barreras contra viento y sol

Se recomienda el uso de barreras contra viento y sol para lograr un correcto curado cuando la tasa de evaporación es elevada.

500.4.6.10 Remoción de formaletas

Cuando la capa de rodadura se construya entre formaletas fijas, el desformaleteado se debe efectuar luego de transcurridas dieciséis

horas (16 h) a partir de la colocación del concreto. En cualquier caso, el interventor puede aumentar o reducir el tiempo, en función del correspondiente al fraguado y la resistencia alcanzada por el concreto.

500.4.6.11 Modulación y corte de juntas de las losas de concreto

Antes de proceder al aserrado, se deben trazar sobre la capa de rodadura, de acuerdo con el diseño y la localización de los pasadores y las barras de amarre, los ejes topográficos para los cortes de las juntas, los cuales deben ser continuos.

El diseñador debe definir la secuencia de corte y prever las juntas de construcción. El constructor debe proponerlo de acuerdo con la longitud del pavimento, planeado desde el diseño de los tramos a vaciar, y con base en esto, proponer la secuencia de modulación. El diseño debe contemplar los tipos de cavidades de corte con su ancho y longitud, y deben ser tales que no generen la aparición de fisuras por tiempos tardíos o que se presenten pérdidas de agregados en la junta o daños en los bordes de la losa o de la junta. Sin embargo, una vez comenzado el corte, este se debe continuar hasta finalizar todas las juntas. El inicio de los trabajos de corte se debe definir mediante estudios previos, en los cuales se establezca el momento óptimo de corte, de acuerdo con las condiciones ambientales.

Si a causa de un aserrado prematuro se astillan los bordes de las juntas, estos se deben reparar con un mortero de una resina polimérica apropiada o un mortero cementicio de alta especificación para el restablecimiento de los bordes de las juntas, de las características indicadas en el numeral 630.2.5 del artículo 630.

500.4.6.12 Juntas transversales y longitudinales de contracción

Es importante realizar los cortes cuando el concreto haya alcanzado la resistencia suficiente, ni mucho tiempo antes que provoque la generación de desportillamientos de las losas, ni muy tarde, de manera que deje que en el concreto se empiecen a formar patrones de agrietamiento. Primero se deben realizar los cortes transversales y luego los longitudinales, para evitar que la separación entre juntas transversales sea mayor entre la menor medida de cinco metros (5 m) o veinticuatro (24) veces el espesor. Estas deben ser continuas, y al igual que en las juntas longitudinales, se debe realizar un corte inicial con un ancho de tres milímetros (3 mm) y a una profundidad de al menos un tercio (1/3) del espesor de la losa de concreto, con el fin de inducir la falla controlada. Si el concreto está fibrorreforzado, la profundidad de corte puede llegar hasta antes de encontrarse con la dovela de transferencia.

Para la formación de juntas, se deben utilizar cortadoras con discos diamantados, operadas por mano de obra calificada para dicho trabajo.

500.4.6.13 Juntas transversales de construcción

Estas juntas son las empleadas cuando ocurren interrupciones ya previstas, como el final de un día de pavimentación, unión con puentes o accesos, o en ocasiones que se presenten imprevistos que requieran la suspensión del

trabajo por un tiempo considerable. Estas se construyen en las ubicaciones normales de las juntas, por lo tanto, deben contemplar las barras pasajuntas. Cuando es necesaria la construcción de juntas transversales de construcción en los dos primeros tercios de la separación normal diseñada para las juntas, se deben insertar barras de amarre, para evitar la posible generación de grietas a la losa adyacente. Para esto, se debe hacer uso de una formaleta cabecera, la cual tiene la función de confinar la estructura hasta dar continuidad a la obra, y deben tener una serie de orificios por los cuales se colocan las barras pasajuntas.

500.4.6.14 Juntas de aislamiento y de expansión

Estas juntas se ejecutan cuando se requiere un aislamiento total en cuanto a movimiento vertical y horizontal entre la capa de rodadura y otras estructuras, con el objetivo de evitar daños en el pavimento o la estructura adyacente.

500.4.6.14.1 Juntas de aislamiento

Estas juntas disminuyen los esfuerzos a compresión que se presentan en el pavimento y una estructura, o entre dos secciones del pavimento. Estas juntas se emplean también cuando existen estructuras como pozos o alcantarillas. La profundidad es completa, hasta la capa base del pavimento, y a todo lo largo del contacto entre estructuras. Estas juntas no deben tener ni barras de amarre ni barras pasajuntas, ya que no se requiere una transferencia de carga, y se debe permitir el movimiento horizontal y vertical entre estructuras. Se recomienda un ancho de juntas de entre doce coma cinco y veinticinco milímetros (12,5 mm – 25 mm) (½ pulgada – 1 pulgada), ya que con anchos mayores se pueden presentar desplazamientos excesivos.

500.4.6.14.2 Juntas de expansión

Bajo condiciones normales no son necesarias las juntas de expansión. Sin embargo, estas se recomiendan cuando la temperatura ambiente es menor a los cuatro grados Celsius (4 °C) o cuando los materiales usados para la fabricación de las losas han presentado características expansivas. La decisión de su implementación depende de la experiencia del constructor, junto con la aprobación del interventor.

500.4.6.15 Sellado de las juntas

Los materiales por utilizar deben cumplir lo descrito en el numeral 500.2.5 del presente artículo. Inmediatamente después del corte final, los excesos de cemento, lechadas, material de curado o cualquier otro elemento, deben ser completamente removidos de la junta mediante chorro de agua a presión de diez megapascales (10 MPa). Cuando finalice la limpieza de la junta, esta se debe soplar con un compresor de aire.

Si los documentos del proyecto exigen una limpieza adicional con chorro de arena, esta se debe realizar como se indica a continuación: cuando la superficie esté limpia y seca y justo antes de colocar la tirilla de respaldo y el sello, la junta se trata con dos pasadas de chorro de arena o hidroarenado como mecanismo de preparación de la superficie. Por ejemplo, una pasada en cada una de las caras de la junta. Luego, se debe utilizar aire

comprimido para remover de la junta todos los residuos de polvo. Los compresores de aire deben estar equipados con unas trampas adecuadas, capaces de remover toda el agua y toda la grasa presente en el aire comprimido.

Las ranuras aserradas y limpias se deben inspeccionar, para asegurar que el corte se haya efectuado hasta la profundidad especificada y se haya removido toda materia extraña.

Hasta el momento del sellado de las juntas, estas se deben proteger obligatoriamente con elementos sintéticos de sección en T, con el fin de evitar la introducción de elementos extraños y daños en los bordes. Las alas de la T se deben apoyar en la parte superior de la losa.

No se permite ningún almacenamiento de material sobre las losas recién construidas.

El sistema de sellado de juntas debe garantizar la hermeticidad del espacio sellado, la adherencia del sello a las caras de la junta, la resistencia a la fatiga por tracción y la compresión, la resistencia al arrastre por las llantas de los vehículos, la resistencia a la acción del agua, de los solventes, de los rayos ultravioleta y a la acción de la gravedad y el calor, con materiales estables y elásticos.

500.4.6.15.1 Instante de aplicación del sello

Las juntas pueden ser selladas cuando el concreto tenga una edad menor a veintiocho días (28 d) o se encuentre húmedo, pero superficialmente seco, siempre que el sellante cumpla los requisitos para sellos de poliuretano para concreto húmedo o con menos de veintiocho días (28 d) de curado indicados para sellos elastoméricos de poliuretano. Cuando el concreto tenga una edad mayor a veintiocho días (28 d) y se encuentre seco, el sello debe cumplir todas las propiedades de acuerdo con su naturaleza química, tal como indica el numeral 500.2.5.1. Para el caso de sellos elastoméricos de poliuretano debe cumplir los requisitos para sellos de poliuretanos estándar. En el momento de la aplicación del componente de sello, la temperatura ambiente debe estar por encima de cinco grados Celsius (5 °C) y no debe haber lluvia ni fundados temores de que ella pueda ocurrir.

Los requerimientos sobre temperatura ambiente se pueden obviar, si así lo autoriza el interventor. El sello se debe realizar, preferiblemente, en horas diurnas, cuando la junta esté en el intermedio de su movimiento esperado. En caso de que se requiera la aplicación del material de sello antes de la edad especificada, se deben utilizar imprimantes que creen una barrera de vapor y garanticen una total adherencia del material sellante a los bordes de la junta.

500.4.6.15.2 Instalación del sello

Antes de sellar las juntas, el constructor debe demostrar que el equipo y los procedimientos para preparar, mezclar y colocar el sello producen un sello de junta satisfactorio, de acuerdo con el tramo de prueba. El interventor debe verificar que los procedimientos de instalación propuestos estén de acuerdo con las indicaciones consignadas en la ficha técnica del producto suministrada por el fabricante.
Antes de iniciar esta tarea en forma masiva, se deben ejecutar dos pruebas de instalación en juntas, de cincuenta metros (50 m) cada

una, las cuales deben ser aprobadas por el interventor.

Para conservar un buen nivel de productividad y calidad, se deben mantener durante el periodo total de la obra, las personas y los equipos de trabajo usados para estas pruebas. Los cambios de personal, materiales o equipos deben ser notificados al interventor e implican la realización de nuevos tramos de prueba.

Las juntas deben ser verificadas en lo que corresponde a ancho, profundidad, alineamiento y preparación de la superficie de los bordes de junta, y el material de sello debe tener la aprobación del interventor, antes de que sea aplicado.

Previamente al vaciado del material de sello, se debe colocar una tirilla de respaldo, presionándola dentro de la junta con un instalador adecuado de rueda metálica, de manera que quede colocada a la profundidad requerida. La tirilla, que debe cumplir los requisitos citados en el numeral 500.2.5.2, no puede ser estirada ni torcida durante la operación de colocación. Durante la jornada de trabajo, se debe limitar la colocación de la tirilla de respaldo a las juntas que puedan ser selladas en el día.

Se debe enrasar el sello pasando una herramienta en ambas direcciones, para asegurar una aplicación libre de aire. La superficie del sello debe quedar tres milímetros (3 mm) por debajo de los bordes de la junta.

El sello que no adhiera a la superficie de la pared de la junta, que contenga huecos o falle en su tiempo de curado, se debe rechazar y debe ser reemplazado por el constructor, sin costo adicional alguno para INVÍAS.

500.4.6.16 Apertura al tránsito

El paso de personas y de equipos para el aserrado y para la comprobación de la regularidad superficial, se puede autorizar cuando haya transcurrido el plazo necesario para que no se produzcan desperfectos superficiales, y se haya secado el producto químico de curado, si se emplea este método.

Al abrir el pavimento al tránsito público, todas las juntas deben estar selladas o protegidas contra daño y contra la intrusión de materiales extraños.

500.4.6.16.1 Requisitos para la apertura al tránsito

500.4.6.16.1.1 Resistencia

El tránsito de obra no puede circular sobre el pavimento, mientras este no haya alcanzado un módulo de rotura de por lo menos el ochenta y cinco por ciento (85 %) de la exigida, a veintiocho días (28 d).

500.4.6.16.1.2 Tiempo

La apertura al tránsito automotor no se debe autorizar antes de cumplir el cien por ciento (100 %) de la resistencia especificada, además se debe haber cumplido con la culminación de la totalidad de la obra, con todos los elementos especificados en los documentos del proyecto.

500.4.6.17 Proceso constructivo para casos especiales

El constructor debe seguir las indicaciones de los documentos del proyecto para adelantar la construcción de las losas de concreto en todos los casos especiales, como losas irregulares, empates con estructuras fijas o con otros pavimentos de concreto, presencia de estructuras hidráulicas, tales como pozos de inspección y sumideros o empalmes con pavimentos asfálticos, entre otros.

500.4.6.18 Requerimientos de temperatura

Los trabajos de construcción de la capa de rodadura de concreto hidráulico se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que sea aprobado por este.

El vaciado del concreto se interrumpe cuando llueva con una intensidad tal, que pudiera, a criterio del interventor y por instrucción de este, producir deformaciones en los bordes de las losas o la pérdida de textura superficial del concreto fresco.

En zonas calurosas, se deben extremar las precauciones, con el fin de evitar fisuraciones o desecación superficial. Donde la temperatura ambiente exceda de treinta grados Celsius (30 °C), se debe contemplar el empleo de aditivos retardadores de fraguado aprobados por el interventor.

La temperatura de la masa de concreto, durante la operación de vaciado, no puede ser inferior a diez grados Celsius (10 °C) y no más allá de treinta y cinco grados Celsius (35 °C); se prohíbe la puesta en obra sobre una superficie cuya temperatura sea inferior a cero grados Celsius (0 °C) o cuando la temperatura ambiente sea inferior a cuatro grados Celsius (4 °C).

El sellado de juntas en caliente se suspende cuando la temperatura ambiente baje de cinco grados Celsius (5 °C), o en caso de lluvia o viento fuerte, salvo aprobación del interventor.

500.4.7 Conservación

Todo concreto defectuoso o deteriorado que no cumpla las características establecidas en el diseño, debe ser intervenido por el constructor para llevarlo a las condiciones de diseño, sin costo adicional para INVÍAS. En todo caso, los procedimientos deben ser aprobados por el interventor, cualquiera sea el tipo de intervención. Se deben dejar registrados en los documentos del proyecto las reparaciones realizadas y el método de reparación.

El pavimento de concreto hidráulico se debe mantener en perfectas condiciones por el constructor cumpliendo los requerimientos mínimos establecidos en el presente artículo, hasta el recibo definitivo de los trabajos, sin que ello implique costo adicional alguno para INVÍAS.

500.4.8 Manejo ambiental

En adición a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, se describen a continuación algunos de los cuidados relevantes en relación con la protección ambiental, sin perjuicio de los que exijan

los documentos de cada proyecto particular o la legislación ambiental vigente.

Todas las labores requeridas para la construcción de la capa de rodadura de concreto hidráulico se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en los estudios o evaluaciones ambientales del proyecto y las normas y disposiciones vigentes sobre la conservación del ambiente y los recursos naturales. En caso de contradicciones con lo indicado en el presente numeral deben prevalecer, en su orden, la legislación ambiental y lo indicado en los documentos del proyecto.

Sea que los agregados los explote el constructor o le sean suministrados por terceros, el interventor debe verificar que se encuentren vigentes todas las licencias para su explotación.

Así mismo, se controla que todos los procesos de preparación de agregados, elaboración, transporte y colocación de la mezcla y el acabado de la capa de rodadura se realicen con un cabal cumplimiento de las normas y disposiciones ambientales vigentes.

Al término de los trabajos de construcción de la capa de rodadura de concreto hidráulico, el constructor debe limpiar la superficie y retirar todo material sobrante o desperdicio y transportarlo y depositarlo apropiadamente en un lugar autorizado por las autoridades ambientales de la jurisdicción respectiva.

Siempre que se deban demoler y reponer losas, los productos de la demolición son de propiedad del constructor, quien debe disponer de ellos de manera que no causen afectaciones ambientales ni se genere obligación de ninguna índole a INVÍAS.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades deben estar incluidas en los costos del proyecto, por tanto, no deben ser objeto de reconocimiento directo en el contrato.

500.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y el funcionamiento de todo el equipo de construcción.
- Comprobar que los materiales por utilizar cumplan todos los requisitos de calidad exigidos por la presente especificación.
- Verificar la correcta aplicación del método de trabajo aprobado en cuanto a la elaboración y el manejo de los agregados, así como en cuanto a la manufactura, transporte, colocación, compactación, ejecución de juntas, acabado y curado de las mezclas de concreto que constituyen el pavimento.
- Efectuar los ensayos necesarios para el control de la mezcla.
- Cuando sea posible, establecer una correlación entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión para el concreto con el cual se construye la capa de rodadura.
- Vigilar la regularidad en la producción de los agregados y de la mezcla de concreto, durante el periodo de ejecución de las obras.
- Verificar permanentemente el asentamiento, así como el contenido de aire de la mezcla, si este último se encuentra especificado.

- Tomar cotidianamente muestras de la mezcla que se elabore, para determinar su resistencia.
- Tomar núcleos para determinar el espesor de la capa de rodadura, su densidad y su resistencia a la compresión y vigas de concreto aserradas para determinar su resistencia a la flexión, cuando corresponda.
- Realizar medidas para levantar perfiles, medir la textura superficial y comprobar la regularidad de la superficie del pavimento terminado.
- Generar una propuesta para el tramo de prueba y una extensión del proyecto para el uso de tomógrafo y FWD (para medir la transferencia de carga y deflexión) para vías NT3.

Los laboratorios en donde se realizan los ensayos necesarios para el control de la calidad de los materiales del concreto y el control de la calidad del concreto, deben ser empresas legalmente constituidas que cuenten con experiencia y/o trayectoria en ejecución de pruebas y ensayos de control de calidad de materiales, que puedan demostrar apropiadamente la competencia de su personal de laboratorio y cuyos informes de resultados informados contengan la aprobación y la autorización para su emisión, mediante la firma del responsable técnico facultado para ello. El laboratorio debe contar con todo el equipamiento principal y auxiliar necesario para el correcto desempeño de sus actividades y asegurar que estos cuenten con la exactitud y la precisión adecuadas para lograr resultados válidos. El laboratorio debe contar con un programa de calibración de sus equipos y se debe asegurar de que los resultados de la medición sean trazables al SI, mediante alguna de las siguientes alternativas:

- La calibración de los equipos proporcionados por un laboratorio de metrología acreditado por ONAC.
- La comparación directa o indirecta a patrones nacionales o internacionales que cuenten con unidades del SI.
- Los valores certificados de materiales de referencia (MRC) proporcionados por productores competentes con trazabilidad metrológica establecida al SI.

El constructor es el responsable de garantizar que todos los ensayos necesarios se realicen. Los informes de ensayos deben ser entregados rutinariamente al interventor, al profesional a cargo del diseño, a los proveedores de material y a la autoridad competente que verifique el cumplimiento de la calidad o que tome acciones correctivas.

Los orificios que dejen los núcleos para determinar el espesor de la capa de rodadura y otros controles a que haya lugar, deben ser rellenados por el constructor, sin costo alguno para INVÍAS, con una mezcla de iguales o mejores características que la empleada en la construcción de la capa de rodadura, la cual debe ser correctamente compactada, enrasada y curada.

500.5.1 Control de materiales

Rige lo establecido en el numeral 630.5.1 del artículo 630.

500.5.1.1 Calidad del cemento hidráulico

Rige lo establecido en el numeral 630.5.1.1 del artículo 630.

500.5.1.2 Calidad de las adiciones suplementarias

Rige lo establecido en el numeral 630.5.1.2 del artículo 630.

500.5.1.3 Calidad de los aditivos, de las adiciones complementarias y de los productos químicos de curado

El constructor debe presentar certificaciones periódicas de los fabricantes o de los proveedores de estos productos, que brinden garantía en cuanto a la calidad y a la conveniencia de su utilización, para la revisión y eventual autorización de uso por parte del interventor.

500.5.1.4 Calidad del agua

Rige lo establecido en el numeral 630.5.1.3 del artículo 630.

500.5.1.5 Calidad de los agregados

De cada fuente de agregados por utilizar en la producción de concreto y para cualquier volumen previsto, se toman cuatro (4) muestras y se ejecutan los ensayos que permitan verificar el cumplimiento de los requisitos establecidos en el numeral 500.2.1.3. Los resultados de todas las pruebas deben satisfacer las exigencias citadas en dicho numeral. Los agregados que no las cumplan, no pueden ser utilizados en la elaboración de la mezcla de concreto.

Durante la etapa de producción, el interventor debe examinar los acopios y ordenar el retiro de los agregados que, a simple vista, presenten restos de elementos vegetales, materia orgánica o tamaños superiores al máximo especificado. También, ordenar acopiar por separado aquellos que presenten alguna anomalía de aspecto (tal como distinta coloración), segregación; partículas alargadas o aplanadas o plasticidad, y vigilar la altura de todos los acopios y el estado de sus elementos separadores.

Además, sea que el constructor elabore la mezcla o tenga un proveedor que se la suministre, se verifica la calidad de los agregados mediante la realización de los ensayos que se relacionan en la Tabla 500 — 9, con la frecuencia indicada en ella.

Los resultados de los ensayos deben satisfacer todos los requisitos establecidos en el presente artículo y lo definido en la fórmula de trabajo. En caso contrario, la mezcla elaborada con los agregados defectuosos es rechazada y las losas vaciadas con el concreto cuestionado deben ser demolidas y construidas nuevamente, a expensas del constructor, y hasta contar con la aprobación del interventor.

La curva granulométrica de cada ensayo individual se debe ajustar a la franja de tolerancia. Esta franja se construye a partir de la granulometría de diseño de la mezcla (fórmula de trabajo), con los límites fijados en la Tabla 500 — 10.

En caso de que los valores obtenidos excedan la franja de tolerancia definida para la fórmula de trabajo, pero no se salgan de las franjas normativas, el proveedor o el constructor deben preparar en laboratorio una mezcla con la gradación defectuosa, la cual se debe someter a todas las pruebas de valoración descritas en el presente artículo. En el caso de que no cumpla todos los requerimientos, el constructor debe demoler y retirar, a sus expensas, las losas cuestionadas y las debe reponer, sin costo alguno para INVÍAS.

Tabla 500 — 9. Ensayos de verificación sobre los agregados para capas de rodadura de concreto hidráulico

Característica	Norma de ensayo	Frecuencia
Composición (F)		
Granulometría	INV E-213	1 por jornada
Módulo de finura	INV E-213	1 por jornada
Dureza, agregado grueso (O)		
Desgaste en la máquina de Los Ángeles	INV E-218	1 por mes
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval	INV E-238	1 por mes
Resistencia mecánica por el método del 10 % de finos - Seco y húmedo	INV E-224	1 por mes
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos (o magnesio)	INV E-220	1 por mes
Reactividad de los agregados	Ver numeral 630.5.1.4 del artículo 630	Tabla 630 — 17
Limpieza (F)		
Impurezas en agregado grueso	INV E-237	1 por semana
Terrones de arcilla y partículas deleznables	INV E-211	1 por semana
Partículas livianas	INV E-221	1 al inicio del proyecto, 1 cada cambio de fuente y 1 cada 2,5 meses
Material que pasa el tamiz de 0,075 mm (nro. 200)	INV E-214	1 por semana
Geometría de las partículas (F)		
Partículas fracturadas mecánicamente	INV E-227	1 por jornada
Índice de alargamiento y aplanamiento	INV E-230	1 por semana

Nota: se entiende como jornada, un día (1 d) de producción de agregados.

La reactividad potencial de un agregado, se debe evaluar a partir de los resultados obtenidos de acuerdo con lo indicado en el numeral 630.2.6.1 del artículo 630.

El interventor puede modificar la frecuencia de los ensayos a la mitad de lo indicado en la Tabla 500 — 9, siempre que considere que los materiales son suficientemente homogéneos o si en el control de recibo de la obra terminada hubiese aceptado sin objeción diez (10) lotes consecutivos.

Las tolerancias granulométricas aplicables a la fórmula de trabajo se encuentran indicadas en la Tabla 500 — 10.

Tabla 500 — 10. Tolerancias granulométricas respecto de la fórmula de trabajo

Tolerancia	Tamiz (mm / U.S. Standard)							
	9,5	4,75	2,36	1,18	0,600	0,300	0,150	0,075
	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 8	Nro. 16	Nro. 30	Nro. 50	Nro. 100	Nro. 200
	Puntos de porcentaje (%) sobre la masa seca de los agregados							
	± 4		± 3					± 1

500.5.1.6 Calidad del acero

Rige lo establecido en el numeral 630.5.1.5 del artículo 630.

500.5.1.7 Calidad de materiales de sellado de juntas

El constructor debe presentar certificaciones periódicas de los fabricantes o proveedores de los productos por emplear en el sellado de las juntas, que brinden garantía en cuanto a la calidad y a la conveniencia de su utilización, para la revisión y eventual autorización de uso por parte del interventor.

El constructor debe garantizar el sello contra defectos de los materiales y de instalación, por un periodo mínimo de cinco (5) años.

500.5.2 Control del concreto

De cada elemento de transporte a la obra, se controla el aspecto del concreto y su temperatura. Cualquier concreto segregado, cuya envuelta no sea homogénea debe ser rechazado por el interventor, sin tener que recurrir a prueba alguna de laboratorio o de campo para tomar tal determinación.

500.5.2.1 Control de requisitos de durabilidad

Rige lo establecido en el numeral 630.5.2.1 del artículo 630.

500.5.2.2 Control de la dosificación

Rige lo establecido en el numeral 630.5.2.3 del artículo 630.

500.5.2.3 Control de la consistencia

Se debe controlar la consistencia de cada carga transportada, para lo cual se debe extraer una muestra en el momento de la colocación del concreto, para someterla al ensayo de asentamiento (INV E-404/NTC 396). El resultado obtenido se debe ajustar al establecido al definir la fórmula de trabajo, con las tolerancias que muestra la Tabla 500 — 11. Si el asentamiento se encuentra por fuera de los límites de tolerancia o por fuera del rango aceptado en el numeral 500.4.3, se debe tomar una segunda muestra del mismo camión y se debe repetir el ensayo. Si este último se encuentra dentro de los límites y las tolerancias especificados, se debe aceptar el viaje. En caso contrario, se debe rechazar.

Tabla 500 — 11. Tolerancias en el asentamiento y en el contenido de aire respecto de los definidos en la fórmula de trabajo

Característica	Construcción	Tolerancia
Asentamiento (mm)	Formaleta deslizante	0
	Flota motorizada	± 25
	Regla vibratoria	± 25
	Rodillo vibratorio	0
	Cimbra de rodillo	0
	Fast track	± 25
Contenido de aire (%), cuando esté especificado	Formaletas fijas	+ 1,8
	Formaletas deslizantes	+ 1,8

500.5.2.4 Contenido de aire

Si en el diseño de la mezcla se ha especificado un contenido de aire, se debe controlar en cada uno de los tres (3) primeros camiones que lleguen a la obra en la jornada de trabajo y en los tres (3) primeros después de cada interrupción, programada o no, durante el curso de dicha jornada, según la norma de ensayo INV E-406/NTC 1032. Los resultados se deben ajustar al valor establecido al definir la fórmula de trabajo, con las tolerancias que muestra la Tabla 500 — 11. Si el resultado de la muestra de algún camión se encuentra por fuera de los límites de tolerancia, se toma una segunda muestra del mismo camión y se repite el ensayo. Si este último se encuentra dentro de la tolerancia especificada, se debe aceptar el viaje. En caso contrario, se rechaza. Si se rechaza el concreto de los tres (3) camiones consecutivos por este motivo, se suspende la producción de la mezcla y la construcción de las losas, hasta que se detecten y corrijan las causas de la anomalía.

500.5.2.5 Control de la densidad del concreto

Rige lo establecido en el numeral 630.5.2.6 del artículo 630.

500.5.2.6 Control de temperatura

Se controla la temperatura del concreto en estado fresco siguiendo la norma de ensayo ASTM C1064. Si la temperatura del concreto, medida en la entrega de este, no cumple los requisitos del numeral 500.4.6.18 del presente artículo, se debe realizar inmediatamente una medición adicional sobre una nueva muestra del mismo despacho. Si no se cumplen los requerimientos de temperatura, el concreto no se puede usar en obra.

500.5.2.7 Control del módulo elástico del concreto

Sobre los núcleos cilíndricos extraídos del pavimento para el control de espesores de la

capa de rodadura, numeral 500.5.3.2, se debe determinar el módulo de elasticidad, mediante el procedimiento descrito en la norma de ensayo INV E-424/NTC 4025.

El valor promedio de cada lote debe ser reportado y emplearse, si corresponde, en la revisión de los diseños estructurales de la capa de rodadura.

500.5.2.8 Control de la resistencia del concreto

Se considera como lote, que se acepta o rechaza en conjunto, la obra ejecutada en una jornada de trabajo.

En lo relativo a integridad del pavimento, numeral 500.5.3.1, la unidad de valoración para aceptación o rechazo es la unidad de losa, y en lo relativo a regularidad superficial se aplica lo descrito en el numeral 500.5.3.6.

De cada lote definido para inspección se deben moldear aleatoriamente y de amasadas diferentes, un mínimo de cuatro (4) muestras, constituida cada una por seis (6) especímenes prismáticos y seis (6) cilíndricos de una misma amasada y cuyas dimensiones, preparación y curado deben estar de acuerdo con la norma de ensayo INV E-420/NTC 550.

En la identificación de cada espécimen debe constar la fecha y la hora de elaboración, la identificación de la(s) losa(s) donde este fue vaciado y cualquier otra información que se considere necesaria.

Por cada muestra se elaboran las siguientes probetas:

- Seis (6) vigas prismáticas para ensayos de resistencia a flexión (INV E-414/NTC 2871), de las cuales se fallan dos (2) vigas a siete días (7 d), dos (2) a veintiocho días (28 d) y dos (2) destinadas como testigos (o las edades definidas para control, resistencia de diseño y verificación de resistencia residual), luego de ser sometidas al curado normalizado.
- Seis (6) cilindros, para ensayos de compresión (INV E-410/NTC 673), de los cuales se fallan dos (2) probetas a siete días (7 d), dos (2) a veintiocho días (28 d) y dos (2) destinadas como testigos (o las edades definidas para control, resistencia de diseño y verificación de resistencia residual), luego de ser sometidos al curado normalizado.

Nota: bajo condiciones excepcionales, se puede evaluar la posibilidad de usar cilindros de cien milímetros (100 mm) de diámetro por doscientos milímetros (200 mm) de altura, con una relación diámetro del cilindro/tamaño máximo nominal del agregado, no menor a tres (3). En caso de ser aprobado por el interventor, se deben usar como mínimo tres (3) probetas a siete días (7 d), tres (3) a veintiocho días (28 d) y tres (3) destinadas como testigos (o las edades definidas para control, resistencia de diseño y verificación de resistencia residual), luego de ser sometidos al curado normalizado.

El promedio de la resistencia de las dos (2) probetas de la misma mezcla y de la misma edad se considera como el resultado de un ensayo. Los valores de resistencia a siete días (7 d) (o la edad definida) se deben emplear únicamente para controlar la regularidad de la calidad de la producción del concreto para dar el tramo al tránsito, mientras que los obtenidos

a veintiocho días (28 d) (o la edad especificada) se emplean en la comprobación de la resistencia del concreto para su aceptación.

En algunos proyectos o algunas partes de un proyecto, se puede requerir que la resistencia especificada para el concreto se obtenga a una edad más temprana, la cual debe estar definida en los documentos del proyecto o acordada y aprobada por el interventor. En estos casos, se varían las edades de los ensayos, de manera consecuente y los criterios de aceptación se aplican a la nueva edad establecida.

Todos los ensayos de resistencia se reportan con la precisión indicada en las normas de ensayo respectivas, empleando el método de redondeo de la norma de ensayo INV E-823.

500.5.2.8.1 Criterios de aceptación y rechazo

Los criterios de aceptación y rechazo del concreto colocado en el sitio son los dos siguientes:

- El diseño de mezcla de concreto para la capa de rodadura se considera adecuado cuando el promedio de tres (3) resultados consecutivos de resistencia a la compresión es igual o excede la resistencia especificada *f´c*. Así mismo, si el promedio de cinco (5) resultados consecutivos de resistencia a la flexión es igual o excede la resistencia especificada *f´r*.
- Ningún resultado individual de resistencia puede estar por debajo de la resistencia especificada en:
  - 3,5 MPa para *f´c* cuando *f´c* sea ≤ 35 MPa,
  - 0,10**f´c* cuando *f´c* sea > 35 MPa, o
  - 0,5 MPa para *f´r*.

La mezcla debe ser rediseñada en caso de que la resistencia a la compresión o a la flexión no cumpla con estos criterios.

Si se confirma la posibilidad de que el concreto es de baja resistencia, se deben tomar tres núcleos, como lo indica la norma INV E-418/ NTC 3658, por cada resultado del ensayo de resistencia que sea menor que los valores señalados. Los núcleos no deben ser ensayados antes de cuarenta y ocho horas (48 h) y no más tarde de siete días (7 d) de su extracción. El concreto representado por la zona de los núcleos se considera estructuralmente adecuado si el promedio de los tres núcleos es mayor al ochenta y cinco por ciento (85 %) de la resistencia especificada a la compresión y ningún núcleo individual presenta una resistencia menor del setenta y cinco por ciento (75 %) de la resistencia especificada a la compresión. Cuando los núcleos den valores erráticos, se deben extraer núcleos adicionales de la misma zona.

500.5.2.9 Control de curado

Todo vaciado de concreto que no sea correctamente curado, puede ser rechazado por el interventor. Si se trata de una superficie de contacto con vaciados subsecuentes de concreto, deficientemente curada, el interventor puede exigir la remoción de una capa hasta de cinco centímetros (5 cm) de espesor, por cuenta del constructor, y su consecuente reposición con una mezcla satisfactoria, curada correctamente.

Los especímenes curados en las mismas condiciones de la obra deben dar como mínimo el ochenta y cinco por ciento (85 %) de la resistencia de los especímenes curados en agua

para control de calidad. El cumplimiento de este requisito es garantía de que se está realizando un curado efectivo en obra.

Solo para efectos de aceptación y rechazo de la capa de rodadura construida, se debe medir la resistencia del concreto tanto en especímenes de control de calidad de obra como en especímenes de control del desarrollo de resistencia del concreto ya instalado, mediante la disposición de cilindros de control de calidad al pie del elemento y/o extracción y ensayo de núcleos (NTC 3658 extracción de núcleos), lo anterior para determinar la efectividad de las labores de compactación y curado, si existe alguna incertidumbre con la estructura o con la resistencia en probetas.

500.5.3 Control de la capa de rodadura terminada

La capa terminada debe presentar una superficie uniforme y ajustarse a las rasantes y las pendientes establecidas en los documentos del proyecto o modificadas por situaciones que lo requieran con aprobación del interventor.

La distancia entre el eje del proyecto y el borde de la capa construida no puede ser menor que la indicada en los documentos del proyecto, salvo que haya sido necesario efectuar modificaciones con la aprobación del interventor.

La cota de cualquier punto de la capa de rodadura del pavimento curado no debe variar en más de cinco milímetros (5 mm) de la proyectada. De igual manera, no deben existir depresiones mayores a tres milímetros (3 mm), cuando se compruebe con una regla de tres metros (3 m), según la norma de ensayo INV E-793. La regla se debe colocar tanto paralela como perpendicularmente al eje de la vía, en los sitios que escoja al azar el interventor, los cuales no pueden estar afectados por cambios de pendiente. Las losas que presenten anormalidades por encima de estos límites deben ser demolidas y sus escombros transportados a los sitios aprobados para su recepción, todo a expensas del constructor, quien, además, las debe reemplazar con losas que cumplan todas las exigencias del presente artículo, sin que ello implique costo alguno para INVÍAS. El producto de la demolición es propiedad del constructor.

500.5.3.1 Integridad

Siempre que se presenten losas agrietadas o astilladas, se debe proceder como se indica en el numeral 500.5.4.

Si el interventor acepta losas agrietadas sin demoler, se debe dejar constancia de ello en el acta de recibo definitivo de las obras e INVÍAS puede exigir, durante el periodo de garantía de la estabilidad de la obra, la demolición total y la posterior reconstrucción de las losas agrietadas, si las grietas se han agravado o ramificado, o si han sido el origen de daños en las losas vecinas. Estas últimas también deben ser demolidas y reconstruidas con cargo a la garantía.

500.5.3.2 Control del espesor

Durante la construcción de la capa de rodadura se deben nivelar el eje y los bordes del pavimento cada veinte metros (20 m) a lo largo del eje, tanto sobre la superficie de soporte de la capa de rodadura, como en la superficie del pavimento de concreto hidráulico, después

de su ejecución y curado. Estas verificaciones de nivel se deben realizar exactamente en los mismos puntos. Así mismo, una vez retiradas las formaletas, se debe realizar las verificaciones de espesores en los costados de las losas. Estas mediciones de niveles se usan como guía para delimitar zonas cuyo espesor, evaluado como se indica en los párrafos siguientes de este numeral, resulte deficiente, o para determinar la toma de núcleos cuando los resultados de la nivelación muestren que existen posibles deficiencias de espesor.

La verificación de espesor para aceptación o rechazo se debe realizar por lotes. Se deben usar los mismos lotes establecidos para la verificación de la resistencia, numeral 500.5.2.8. Cada lote se subdivide en, al menos, tres (3) sublotes de máximo trescientos cincuenta metros cuadrados (350 m^2) cada uno, y se deben extraer de cada sublote dos (2) testigos cilíndricos o núcleos mediante equipos provistos de brocas rotativas (norma de ensayo INV E-418/NTC 3658). Los testigos se deben extraer luego de transcurridos quince días (15 d) desde la colocación del concreto. Los espesores de los núcleos se deben medir según la norma de ensayo INV E-419. Se pueden emplear ensayos no destructivos como escáneres y radares para la verificación del espesor.

Los agujeros dejados por los núcleos en el pavimento se deben rellenar a más tardar al día siguiente del corte, con un concreto apropiado de la misma calidad del concreto de las losas o superior, que no se contraiga. Antes de su colocación, se debe aplicar una resina en las paredes del agujero, según lo establecido en el numeral 630.2.5 del artículo 630.

Si el espesor promedio de los dos (2) testigos correspondientes a un (1) sublote resulta inferior al espesor de diseño (e_d) en más de diez milímetros (10 mm) el constructor debe demoler todo el sublote, retirar y disponer apropiadamente los escombros en un lugar aprobado y reconstruir el pavimento, todo ello a sus expensas, de modo que cumpla todas las exigencias de la presente especificación. Igual procedimiento se debe seguir cuando el espesor de un (1) testigo resulte inferior en más de quince milímetros (15 mm) con respecto al espesor de diseño (e_d). El material producto de la demolición es de propiedad del constructor.

Se considera como espesor promedio del lote (e_m), al promedio de las alturas de los testigos extraídos de él, redondeado al milímetro (mm). Cuando corresponda la demolición de un (1) sublote por los motivos expuestos en el párrafo anterior, las alturas de los testigos tomados en el tramo objeto de demolición no se consideran en el cálculo del espesor promedio del lote (e_m).

Si el espesor promedio del lote (e_m) es inferior al espesor de diseño (e_d) en más de dos milímetros (2 mm) y hasta siete milímetros (7 mm), el pavimento se debe aceptar con descuento por deficiencia. El descuento se aplica al lote del cual se extrajeron los testigos, previa deducción de los sectores donde haya correspondido la demolición y la reconstrucción. El descuento (D), en tanto por uno, por aplicar en el pago por metro cúbico de la capa de rodadura de concreto hidráulico en el lote así afectado, se calcula con la expresión:

$$D = \left(1 - \frac{(e_m+2)^2}{e_d^{\,2}} \right) \qquad [500.1]$$

Donde:

e_d, espesor de diseño, en milímetros (mm).

e_m, espesor promedio del lote, en milímetros (mm).

El factor de ajuste de precio por espesor (*FAE*) (menor o igual que la unidad), que se aplica al precio unitario del contrato para el pago de los lotes correspondientes al lote analizado, es el resultado de restar el descuento (*D*) de la unidad.

$$FAE = 1\text{-}D \quad [500.2]$$

Cuando el espesor promedio del lote (e_m) sea inferior al espesor de diseño (e_d) en más de siete milímetros (7 mm), el constructor debe demoler, retirar y disponer escombros y reconstruir la capa de rodadura, a sus expensas, de modo que cumpla todas las exigencias de la presente especificación. La capa de rodadura reconstruida se somete a las mismas valoraciones de calidad especificadas en este artículo para cualquier tramo de pavimento, para efectos de su aprobación o rechazo.

Si un lote califica para ser demolido, de acuerdo con el párrafo anterior, pero los resultados de alturas de núcleos y mediciones topográficas sugieren que la deficiencia no está generalizada en el lote, sino que está concentrada en algún sublote, la zona restante puede ser analizada nuevamente, tratándola como un lote. En este caso, puede ser necesario tomar testigos adicionales para cumplir el mínimo de tres (3) sublotes dentro de esta zona.

500.5.3.3 Control de ubicación de barras de transferencia

Se deben cumplir los desplazamientos máximos permitidos tanto en planta como en perfil establecidos en el numeral 500.2.2.1.1.

500.5.3.4 Control de la textura superficial

Al día siguiente de aquel en el cual se haya realizado el vaciado del concreto y el texturizado transversal, se determina, en sitios aleatorios (norma de ensayo INV E-730) que no coincidan con las juntas, la profundidad de textura por el método del círculo de arena, de acuerdo con la norma de ensayo INV E-791.

El número mínimo de puntos que se van a controlar por lote debe ser de tres (3), que se amplían a cinco (5) si la textura obtenida en uno (1) de los tres (3) primeros es inferior a la especificada. Después de diez (10) lotes consecutivos aceptados, el interventor puede reducir la frecuencia de los ensayos.

La profundidad promedio de textura del lote debe estar comprendida entre sesenta y cien centésimas de milímetro (0,6 mm – 1,0 mm), sin que ningún valor individual se encuentre por debajo de cuarenta centésimas de milímetro (0,4 mm).

Si al menos uno de estos requisitos se incumple, se rechaza el tramo representado por el lote, hasta que el constructor haga las correcciones necesarias para alcanzar los valores prescritos, las cuales deben correr de su exclusiva cuenta y costo. Si la solución que propone o implementa el constructor da lugar a disminuciones en el espesor de la capa de

rodadura, se usan los espesores reducidos para verificar de nuevo el lote o lotes de las losas para su aceptación o rechazo por espesor, según el numeral 500.5.3.2.

500.5.3.5 Resistencia al deslizamiento

La resistencia al deslizamiento se mide el día previo al previsto para la puesta en servicio del tramo de pavimento representado por el lote respectivo, en sitios que no coincidan con las juntas del pavimento.

Debido a que la resistencia al deslizamiento se encuentra relacionada directamente con la seguridad de los usuarios, los puntos para su determinación en cada lote no se eligen al azar, sino que son ubicados por el interventor, en aquellos lugares que considere más sensibles al deslizamiento vehicular, en condición de superficie húmeda.

Las medidas se realizan por el péndulo británico, de acuerdo con la norma de ensayo INV E-792, en tres (3) puntos por lote en zonas en tangente y en uno (1) por cada curva horizontal, curva vertical, intersección, glorieta y zona de frenado frecuente, incluidas dentro del lote. Ninguna de las medidas puede presentar un valor inferior al límite indicado en la Tabla 500 — 12, de acuerdo con el tránsito de diseño y el tipo de sección vial. En caso de que se presenten valores menores, el interventor debe realizar medidas adicionales para delimitar perfectamente el área afectada, la cual debe ser corregida por el constructor, a sus expensas, mediante microfresado. Si esta operación afecta el espesor de la capa de rodadura, se deben usar los espesores reducidos para verificar de nuevo el lote o lotes de las losas para su aceptación o rechazo por espesor, según el numeral 500.5.3.2.

Tabla 500 — 12. Valores mínimos admisibles del coeficiente de resistencia al deslizamiento con el péndulo británico

Tipo de sección	Coeficiente de resistencia al deslizamiento, mínimo		
	NT1	NT2	NT3
Glorietas, curvas con radios menores de doscientos metros (200 m), pendientes mayores o iguales a cinco por ciento (≥ 5 %) en longitudes de cien metros (100 m) o más, intersecciones, zonas de frenado frecuente	0,50	0,55	0,60
Otras secciones	0,45	0,50	0,50

La resistencia al deslizamiento se puede verificar también con dispositivos de rueda parcialmente bloqueada (INV E-815). En tal caso, la especificación particular indica el equipo autorizado, así como los valores mínimos por alcanzar, los cuales deben ser, cuando menos, equivalentes a los señalados en la Tabla 500 —12 para medidas con el péndulo.

500.5.3.6 Regularidad superficial

El Índice de Rugosidad Internacional (IRI) se debe comprobar de manera continua en toda la longitud de la obra y en cada carril, antes del recibo definitivo de la misma. Para los efectos de aceptación del pavimento terminado, este artículo establece que la determinación del IRI se debe realizar, únicamente, con

procedimientos de medida de precisión o con equipos de referencia inercial.

Las medidas de precisión se pueden adelantar con mira y nivel, de acuerdo con el procedimiento indicado en la norma de ensayo INV E-794 o con un perfilómetro pivotante de alta precisión, norma de ensayo INV E-814.

Si se opta por el equipo de referencia inercial, este se debe validar previamente con uno de precisión en un tramo de prueba de longitud no menor de doscientos metros (200 m). El equipo de referencia inercial se debe operar de acuerdo con la norma de ensayo ASTM E950.

Para efectos de la evaluación con fines de recibo, las medidas se realizan en cada uno de los carriles del pavimento construido y los valores de IRI se presentan en metro por kilómetro (m/km), en tramos consecutivos de cien metros (100 m) por carril, con la excepción que se cita en el párrafo siguiente. Un conjunto de cinco (5) tramos constituye un lote.

No hay exigencia sobre el cumplimiento de regularidad superficial en tramos que incluyan singularidades, entendiendo por tales todas aquellas alteraciones del perfil longitudinal de la carretera que incrementen el IRI y no provengan de deficiencias constructivas, como pueden ser intersecciones con otras vías, puentes, pozos de inspección, reductores de velocidad, etc., los cuales deben ser definidos por el interventor, con su ubicación respectiva (carril y abscisa), antes de proceder a la determinación de IRI.

Se entiende que la superficie del pavimento tiene una regularidad superficial aceptable, si a lo largo de la longitud evaluada en cada carril se satisfacen los valores indicados en la Tabla 500 — 13.

Tabla 500 — 13. Valores máximos admisibles de IRI (m/km)

Porcentaje (%) de hectómetros	Tipo de tránsito		
	NT1	NT2	NT3
40	2,4	1,9	1,4
80	3,0	2,5	2,0
100	3,5	3,0	2,5

Si la proporción de hectómetros donde los resultados de IRI exceden los límites especificados, no es superior a veinte por ciento (20 %) del total del lote, el interventor debe delimitar los subsectores relevantes en el incumplimiento y puede autorizar su corrección mediante fresado, siempre y cuando dicha operación dé lugar a un acabado superficial semejante al conjunto de la obra y no origine disminuciones de espesor que conduzcan al rechazo de lotes de obra, en los términos definidos en el numeral 500.5.3.2. Si el acabado es incorrecto y/o la reducción de espesor conduce al rechazo, el constructor debe demoler, retirar y reconstruir los lotes afectados. Tanto la corrección de defectos como la demolición y el retiro al sitio de disposición de sobrantes y la posterior reconstrucción de la capa de rodadura, con la calidad exigida por el presente artículo, deben ser a expensas del constructor.

Si la proporción de hectómetros donde los resultados de IRI exceden los límites especificados es mayor a veinte por ciento (20 %) del total del lote, toda la longitud de este debe ser demolida y reconstruida. La demolición, el traslado y la disposición del material demolido y la reconstrucción de la capa de rodadura, con la calidad exigida por el presente artículo, deben ser a expensas del constructor.

En ambos casos, el material demolido es de propiedad del constructor. Este, a su vez, no puede invocar las reparaciones o las reconstrucciones derivadas de deficiencias en la regularidad superficial, como causal para incumplir el programa de trabajo.

500.5.3.7 Eficiencia en la transferencia de carga en las juntas

Se debe comprobar la transferencia de carga, tanto en las juntas longitudinales como en las transversales, siguiendo las indicaciones de los documentos del proyecto. En ellos se deben fijar, también, los valores mínimos admisibles y los procedimientos que se debe seguir en caso de incumplimiento.

500.5.4 Defectos e imperfecciones a edades tempranas

Si se presentan fisuras tempranas, se debe realizar una revisión detallada de las mezclas utilizadas, de los asentamientos medidos, del manejo de las películas o del procedimiento de protección y curado, del tiempo de ejecución de los cortes, de la temperatura ambiente y del concreto y, en general, de todos los elementos que puedan haber incidido en la ocurrencia del fenómeno.

Las losas no pueden presentar grietas. El interventor puede aceptar pequeñas fisuras de retracción plástica, de corta longitud y que no afecten más que de forma limitada a la superficie del pavimento, y debe exigir su sellado.

Si una losa presenta una grieta única no ramificada, sensiblemente paralela a una junta, el interventor la puede aceptar si el constructor efectúa, a sus expensas, las operaciones indicadas a continuación:

- Si la junta más próxima a la grieta no se hubiera construido aún, se instalan en la grieta pasadores o barras de unión, con disposición similar a los existentes en la junta. La grieta se sella, previa regularización y cajeo de sus bordes.
- Si la junta más próxima a la grieta ya se hubiera construido, la grieta se inyecta, tan pronto como sea posible, con resina epóxica para mantener unidos sus bordes y restablecer la continuidad de la losa.

En losas con otros tipos de grietas, como las de esquina, el interventor las puede aceptar u ordenar la demolición parcial de la zona afectada y su posterior reconstrucción. En el primer caso, la grieta se inyecta tan pronto como sea posible, con resina epóxica que mantenga unidos sus bordes y restablezca la continuidad de la losa. Ninguno de los elementos de la losa, después de su reconstrucción, puede tener una (1) de sus dimensiones de menos de treinta centímetros (0,30 m). La reposición se ancla mediante grapas al resto de la losa.

La resina polimérica debe cumplir lo establecido en el numeral 630.2.5 del artículo 630 y se debe aplicar de acuerdo con un

procedimiento previamente aprobado por el interventor.

Si a causa del aserrado prematuro se presentan astilladuras en las juntas, estas deben ser reparadas por el constructor, a sus expensas, usando un concreto o mortero de resina epóxica apropiado de la misma calidad del concreto de las losas o superior. Antes de la colocación del producto de reparación, la junta debe ser preparada mediante el corte de una cavidad apropiada que permita remover todo el concreto afectado y provea el espacio en tamaño y forma adecuados para la reparación y, a continuación, se debe aplicar un imprimante en la cavidad cumpliendo lo establecido en el numeral 630.2.5 del artículo 630.

En todos los casos, el constructor debe presentar, previamente, un documento con las acciones correctivas propuestas, incluyendo materiales, dimensiones y procedimientos que pretende utilizar para la reparación de la capa de rodadura.

500.5.5 Conservación de la capa de rodadura de concreto hidráulico

La capa de rodadura de concreto hidráulico se debe mantener en perfectas condiciones, de acuerdo con lo establecido en el numeral 500.4.7 del presente artículo.

500.6 Medida

La unidad de medida de la capa de rodadura de concreto hidráulico debe ser el metro cúbico (m^3), aproximado a la décima (0,1), de concreto suministrado, colocado, compactado y terminado, debidamente aceptado por el interventor, de acuerdo con lo exigido en este artículo.

El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma de ensayo INV E-823.

El volumen se determina multiplicando la longitud real medida a lo largo del eje del proyecto, por el ancho y el espesor mostrados en los documentos del proyecto. En aquellos lotes aceptados cuyo espesor promedio resulte inferior al de diseño, el volumen se determina usando el espesor promedio del lote en lugar del espesor mostrado en los documentos del proyecto. No se mide, con fines de pago, ningún volumen por fuera de estos límites.

Cuando en el proyecto se establezca la construcción de losas reforzadas, como se indica en el numeral 500.2.2.3, el acero de refuerzo correspondiente se debe medir como se indica en el artículo 640, Acero de refuerzo.

El acero correspondiente a pasadores y barras de amarre no se debe medir para efectos de pago independiente.

500.7 Forma de pago

El pago se debe hacer al precio unitario del contrato, multiplicado por el FAE, definido anteriormente, por toda obra ejecutada, de acuerdo con este artículo y aprobada por el interventor.

El precio unitario debe cubrir todos los costos de adquisición, obtención de licencias ambientales, permisos y derechos de explotación o alquiler de las fuentes de materiales y el descapote y la preparación de las zonas por explotar. Debe cubrir, también, todos los

costos de explotación de las fuentes de materiales; la selección, la trituración, el eventual lavado y la clasificación de los materiales pétreos; el suministro, el almacenamiento, los desperdicios, cargues, transportes, descargues y la mezcla de todos los materiales constitutivos de la mezcla de concreto, cuya fórmula de trabajo se haya aprobado, incluidos los aditivos; la obtención, el transporte, el suministro y la aplicación del agua requerida para el humedecimiento de la superficie de apoyo del pavimento o el suministro y la colocación del papel especial o el material plástico para aislar la capa de rodadura de la capa de soporte; el costo de la definición de la fórmula de trabajo; el suministro, la colocación y el retiro de las formaletas fijas cuando ellas se utilicen; el suministro, el almacenamiento, los desperdicios, cargues, transportes, descargues y la colocación de los pasadores y de sus dispositivos de soporte, de las barras de unión, de los elementos para separación de la capa de rodadura y el suministro y la aplicación de los materiales de curado y de los materiales para el sello de todas las juntas, según lo contemple el proyecto y su instalación; el transporte del concreto al sitio de los trabajos, su colocación y vibrado; la ejecución de juntas en fresco o por aserrado; el acabado superficial y el curado requerido; las instalaciones provisionales; los costos de arreglo o construcción de las vías de acceso a las fuentes de materiales; la adecuación paisajística de las fuentes para recuperar las características hidrológicas superficiales al terminar su explotación; el tramo de prueba; la señalización preventiva de la vía y el ordenamiento del tránsito público durante la realización de las obras y durante el periodo de curado; la limpieza final del sitio de los trabajos al término satisfactorio de estos y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución de los trabajos especificados.

El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

La preparación de la superficie existente, salvo el humedecimiento o el suministro y colocación del papel especial o el material plástico previos a la colocación del concreto, se considera incluida en el ítem referente a la capa a la cual corresponde dicha superficie y, por tanto, no hay lugar a pago separado por este concepto. Si dicho ítem no está contemplado en el contrato, el constructor debe incluir el costo de la preparación de la superficie existente dentro del precio unitario de la capa de rodadura de concreto hidráulico.

El acero necesario para la construcción de losas reforzadas se paga con cargo al artículo 640.

500.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
500.1	Pavimento de concreto hidráulico	Metro cúbico (m^3)
500.2	Pavimento de concreto hidráulico de fraguado rápido (*fast track*)	Metro cúbico (m^3)

Nota: en el caso de pavimentos de concreto hidráulico de fraguado rápido (*fast track*), los documentos del proyecto deben definir la edad a la cual se debe alcanzar la resistencia de diseño.

500.9 Glosario

500.9.1 Definiciones tipos de pavimentos de concreto hidráulico

500.9.1.1 Pavimento de concreto convencional con juntas

Es un pavimento que está compuesto de losas de concreto hidráulico, moduladas en forma rectangular o cuadradas, sin ningún tipo de malla de refuerzo con barras corrugadas al interior de las losas, con juntas transversales de contracción, con o sin barras de transferencia, y con juntas longitudinales con o sin la presencia de barras de transferencia, y con o sin la presencia de barras de amarre.

500.9.1.2 Pavimento con juntas y losas reforzadas

Es un pavimento que está compuesto de losas de concreto hidráulico, moduladas de acuerdo con los criterios establecidos en esta especificación, pero que, por consideraciones de esfuerzos en el concreto, tamaño de las losas, presencia de elementos fijos dentro de las losas, o todas ellas, se requiere la colocación de una o dos mallas de barras de acero de refuerzo corrugado, ubicadas en el sitio establecido en los documentos del proyecto.

500.9.1.3 Sobrelosas

Es un pavimento que está compuesto de losas de concreto hidráulico, convencional con juntas, reforzado o no, colocadas sobre un pavimento existente, que recibe un tratamiento previo. Las sobrelosas se clasifican, de acuerdo con el tipo de estructura existente sobre la cual se coloca de la siguiente manera.

500.9.1.3.1 Sobre pavimento de concreto, adheridas

Cuando las losas nuevas de concreto hidráulico se colocan sobre un pavimento de concreto existente y en el diseño se considera la adherencia entre estos. Se debe garantizar la adherencia tanto en la construcción como en la operación.

500.9.1.3.2 Sobre pavimento de concreto, no adheridas

Cuando las losas nuevas de concreto hidráulico se colocan sobre un pavimento de concreto existente. En los criterios de diseño no se considera la adherencia entre el concreto nuevo y el existente. No es necesario garantizar la adherencia ni durante la construcción ni en la operación, aunque se permite que se adhiera como factor de seguridad.

500.9.1.3.3 Sobre pavimento asfáltico, adheridas

Cuando las losas nuevas de concreto hidráulico se colocan sobre un pavimento asfáltico existente y en el diseño se considera la adherencia entre el concreto nuevo y el asfalto. Se debe garantizar la adherencia tanto en la construcción como en la operación.

500.9.1.3.4 Sobre pavimento asfáltico, no adheridas

Cuando las losas nuevas de concreto hidráulico se colocan sobre un pavimento asfáltico existente. En los criterios de diseño no se considera la adherencia entre concreto nuevo y el asfalto. No es necesario garantizar la adherencia ni durante la construcción, ni en la operación, aunque se permite que se adhiera como factor de seguridad.

500.9.1.3.5 Sobre pavimento compuesto, adheridas

Cuando las losas nuevas de concreto hidráulico se colocan sobre un pavimento compuesto existente (pavimento de concreto antiguo y sobrecapa asfáltica antigua), y en el diseño se considera la adherencia entre el concreto nuevo y el asfalto. Se debe garantizar la adherencia tanto en la construcción como en la operación.

500.9.1.3.6 Sobre pavimento compuesto, no adheridas

Cuando las losas nuevas de concreto hidráulico se colocan sobre un pavimento compuesto existente (pavimento de concreto antiguo y sobrecapa asfáltica antigua). En los criterios de diseño no se considera la adherencia entre concreto nuevo y el asfalto. No es necesario garantizar la adherencia ni durante la construcción, ni en la operación, aunque se permite que se adhiera como factor de seguridad.

500.9.1.4 Pavimento continuamente reforzado (con limitaciones)

Es un pavimento que está compuesto de una losa de concreto hidráulico, sin juntas de contracción, pero que por consideraciones de esfuerzos en el concreto se requiere la colocación de un sistema de refuerzo corrugado, tanto en sentido longitudinal como transversal, ubicado en el sitio establecido en los documentos del proyecto.
Para este tipo de pavimento son aplicables los procedimientos establecidos en este artículo, con excepción de los capítulos de modulación, corte y sellado de juntas, y lo relacionado con los sistemas de transferencia de carga y amarre.

500.9.2 Otras de iniciones

500.9.2.1 Material cementante

Un material cementante es aquel que tiene las propiedades de adhesión y cohesión necesarias para unir agregados y conformar una masa sólida de resistencia y durabilidad adecuada. Los principales cementantes son los cementos hidráulicos, algunas escorias y ciertos materiales con propiedades puzolánicas. De acuerdo con el grado de poder cementante y los requisitos específicos de las aplicaciones, estos cementantes se pueden utilizar en forma individual o combinados entre sí.

500.9.2.2 Adiciones suplementarias

Son materiales inorgánicos de origen natural o artificial que al ser incorporados en las mezclas cementicias (lechadas, morteros o concretos) o directamente durante la creación del cemento, permiten alcanzar mejoras tecnológicas de desempeño, ya sea en su estado fresco, durante su fraguado y/o en su estado endurecido (propiedades resistentes y durables).

Las adiciones suplementarias son materiales cementantes que tienen propiedades puzolánicas, hidráulicas, o ambas. Algunos ejemplos son las cenizas volantes (clases C y F según la NTC 3493/ASTM C618), el humo de sílice, las puzolanas naturales o calcinadas, las escorias cementantes (granulada y molida), metacaolín (arcilla calcinada), entre otros.

De acuerdo con la disponibilidad de materiales, las propiedades finales deseadas y las capacidades tecnológicas, se puede utilizar más de un tipo de adición suplementaria, en

forma combinada con los demás materiales. Los cementos «ternarios» son aquellos que contienen dos adiciones suplementarias diferentes en su composición, además del clínker, yeso y aditivos de proceso (si se usan). Los cementos «cuaternarios» son los que contienen tres adiciones principales más clínker, yeso y aditivos de proceso (si se usan).

Dependiendo de la naturaleza de la adición, estas pueden no solo contribuir con las propiedades de ganancia de resistencia del cemento, sino también con otras propiedades de las mezclas.

Tabla 500 — 14. Naturaleza de las adiciones suplementarias

Material	Naturaleza cementante o tipo de reacción
Puzolana natural (clase N) (Nota 1)	Puzolánica con cemento Portland
Ceniza volante silícea (clase F) (Nota 1)	Puzolánica con cemento Portland
Ceniza volante de alta cal (clase C) (Nota 1)	Puzolánica con cemento Portland, pero también ligeramente hidráulica
Escoria de alto horno granulada y molida	Potencialmente hidráulica
Humo de sílice (Nota 2)	Puzolánico con cemento Portland
Relleno calcáreo	Llenante con acción hidráulica ligera con cemento Portland
Metacaolín (arcilla calcinada)	Puzolánica con cemento Portland

Nota 1: clasificación de acuerdo con la NTC 3493 (ASTM C618).

Nota 2: debe cumplir lo establecido en la norma técnica ASTM C1240.

500.9.2.3 Adiciones complementarias

Son materiales que se incorporan a las mezclas de concreto para mejorar o modificar otras prestaciones del concreto diferentes a las características cementantes o de actividad hidráulica que sí ofrecen las adiciones suplementarias.

Las adiciones complementarias pueden ser fibras, pigmentos, llenantes, polímeros, entre otras.

- Las fibras para el concreto consisten en elementos de corta longitud y pequeña sección que son incorporados a su masa con el objetivo de mejorar algunas de sus prestaciones, tanto en estado fresco como una vez endurecido. Estas fibras generalmente son de acero, sintética, vidrio (protegida al álcalis), o su combinación, disponibles en una amplia variedad de formas, tamaños y espesores.
- La utilización de fibras contribuye a modificar el comportamiento del concreto, ya sea para disminuir la fisuración, modificar la resistencia, conceder ductilidad, reemplazar parcialmente el refuerzo o aumentar la durabilidad, las que sean aplicables según el diseño. Es conveniente que se determinen

la dosificación y el tipo de fibras por utilizar, dependiendo de las normas que las estipulan, para que de este modo se logre proporcionar la funcionalidad del material en los diferentes espacios y a su vez se garantice un adecuado desempeño de la estructura.

- Los pigmentos son partículas de polvo más fino que el cemento, químicamente inertes, insolubles en agua y resistentes a la alcalinidad del cemento; crean un color en el concreto, y pueden ser naturales o sintéticos. Un buen color depende de la pureza del pigmento, del porcentaje de la sustancia colorante, de su finura y su granulometría. Se recomienda no pasar del diez por ciento (10 %) de pigmentos en la mezcla para no tener exceso de partículas finas.
- Los llenantes son materiales inertes químicamente conocidos como rellenos que fomentan la densificación de la pasta de cemento o pueden tener un efecto físico, contribuyendo a la dispersión de los granos de cemento, a la vez que actúan como centros de nucleación, facilitando mejores condiciones para la hidratación y el desarrollo de resistencia a edad temprana.

500.9.2.4 Norma sismo resistente (NSR)

Es el Reglamento Colombiano de Construcción Sismorresistente encargado de regular las condiciones con las que deben contar las construcciones, con el fin de que la respuesta estructural a un sismo sea favorable.

Suministro de cemento hidráulico

Artículo 501 – 22

501.1 Descripción

Esta especificación establece las condiciones para el suministro de cemento hidráulico para la elaboración de las estabilizaciones, las mezclas, los morteros y las lechadas que se requieran para ejecutar las unidades de obra que incluyan cemento hidráulico como uno de sus componentes y consideren el pago separado del producto.

501.2 Materiales

501.2.1 Requisitos del cemento hidráulico

El cemento hidráulico debe cumplir alguna de las normas de la Tabla 501 — 1, o los requisitos particulares que establezcan los documentos del proyecto. Se deben presentar las pruebas de laboratorios que cuenten con experiencia y/o trayectoria en ejecución de pruebas y ensayos de control de calidad de materiales, que puedan demostrar apropiadamente la competencia de su personal de laboratorio y cuyos informes de resultados informados contengan la aprobación y la autorización para su emisión, mediante la firma del responsable técnico facultado para ello. El laboratorio debe contar con todo el equipamiento principal y auxiliar necesario para el correcto desempeño de sus actividades y asegurar que estos cuenten con la exactitud y la precisión adecuadas para lograr resultados válidos. El laboratorio debe contar con un programa de calibración de sus equipos y se debe asegurar que los resultados de la medición sean trazables al Sistema Internacional de Unidades (SI) mediante alguna de las siguientes alternativas, con el fin de garantizar la calidad del cemento hidráulico:

- La calibración de los equipos proporcionados por un laboratorio de metrología acreditado por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC).
- La comparación directa o indirecta a patrones nacionales o internacionales que cuenten con unidades del SI.
- Los valores certificados de materiales de referencia (MRC) proporcionados por productores competentes con trazabilidad metrológica establecida al SI.

Tabla 501 — 1. Especificaciones de cementos hidráulicos

Denominación	Norma	Tipo de requisitos que establece la norma
Cemento hidráulico especificado por desempeño	NTC 121	- Propiedades de desempeño - No hay restricciones sobre la composición del cemento o sus ingredientes.
Cemento Portland	ASTM C150	- Ingredientes - Proporciones - Composición química - Requisitos físicos
Cemento hidráulico adicionado (Nota)	ASTM C595	

Nota: se excluyen los cementos tipo IS (> 70).

En caso de usar material cementante blanco, este debe cumplir lo indicado en la NTC 1362.

Cementos fabricados bajo las normas ASTM C150, ASTM C595 o ASTM C1157 se pueden usar cuando se demuestre mediante ensayos de laboratorio que el desempeño es similar o superior que el especificado en la NTC 121.

501.3 Equipo

501.3.1 Vehículos de transporte

El cemento hidráulico puede ser transportado a granel, por medio de vehículos que posean la capacidad de transporte del material, sin ninguna alteración en este, o por medio de sacos u otros mecanismos. En cualquier caso, se debe garantizar que el producto no esté expuesto a humedecimiento, ya sea por lluvia o por la humedad del ambiente. Si el cemento suministrado llega a presentar hidratación, el interventor puede rechazar el material.

Si el cemento se transporta en sacos, los vehículos deben tener un cobertor adecuado, debidamente asegurado, que impida un eventual vertido de la carga sobre las vías por las que circulan.

501.3.2 Almacenamiento

El almacenamiento que requiera el cemento hidráulico transportado a granel se debe realizar en silos adecuados para tal fin, los cuales deben tener los aparatos de medida y seguridad necesarios para garantizar su correcto funcionamiento. Para mitigar las emisiones de polvo del cemento presentadas por las descargas y mantener despejados y en buen estado los ductos de ventilación y desfogue, los silos deben contar con un sistema de filtros que garantice un almacenamiento óptimo y la no alteración de las propiedades del cemento. Así mismo, deben disponer de dispositivos adecuados para la toma de muestras y ser herméticos para evitar que el cemento se humedezca.

Cuando el transporte se realice por medio de sacos, estos se deben almacenar sobre superficies totalmente secas (sobre estibas), apilados de tal manera que los primeros sean también los primeros en ser utilizados. Se deben cubrir con un material impermeable, reduciendo la exposición a humedades relativas elevadas y a la circulación de aire. Se recomienda un almacenamiento máximo de sesenta días (60 d) donde solo se deben

superponer máximo doce (12) sacos. Si se prevé un periodo de almacenamiento mayor, no se deben superponer más de siete (7) sacos, con el objetivo de evitar que el cemento sufra compactaciones por cargas elevadas.

501.4 Ejecución de los trabajos

501.4.1 Aspectos generales

El constructor debe suministrar cemento hidráulico que cumpla todas las disposiciones legales referentes a las dimensiones y los pesos de los vehículos de transporte y al control de la contaminación ambiental de estos.

A la llegada de cada vehículo al sitio de los trabajos, el constructor debe entregar al interventor una certificación expedida por el fabricante del cemento hidráulico, donde se indiquen las fechas de elaboración y despacho, así como los resultados de ensayos de calidad efectuados sobre muestras representativas de la entrega, los cuales deben satisfacer todas las condiciones establecidas en las especificaciones de la Tabla 501 — 1. Dicha constancia no evita, en ningún caso, la ejecución de ensayos de comprobación por parte del interventor, ni implica necesariamente la aceptación de la entrega. De todas maneras, el interventor se debe abstener de aceptar el empleo de suministros de cemento hidráulico que no se encuentren respaldados por la certificación del fabricante.

Se deben comprobar, con la frecuencia que el interventor considere pertinente, los sistemas de transporte y trasvase si la entrega es a granel, y las condiciones de almacenamiento, en todo cuanto pueda afectar la calidad del material. El interventor puede ordenar la suspensión de la utilización del producto, mientras realiza las comprobaciones que estime convenientes de las características de calidad del cemento hidráulico.

El empleo del cemento hidráulico en la elaboración de las distintas unidades de obra de las que forma parte se debe hacer conforme lo establece el artículo correspondiente.

501.4.2 Manejo ambiental

En adición a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, el suministro de cemento hidráulico se debe realizar teniendo en cuenta lo establecido en los estudios o evaluaciones ambientales del proyecto y las normas y disposiciones vigentes sobre la conservación del ambiente y los recursos naturales.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades deben estar incluidas en los costos del proyecto, por tanto, no deben ser objeto de reconocimiento directo en el contrato.

501.5 Condiciones para el recibo del producto

501.5.1 Controles generales

Se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Verificar que en las operaciones de suministro del cemento hidráulico se cumpla la legislación vigente en relación con las materias ambiental, de seguridad industrial, almacenamiento y transporte.

- Verificar el estado y el funcionamiento de los equipos de transporte y almacenamiento del cemento hidráulico.

501.5.2 Controles específicos para el recibo y tolerancias

Al respecto, se deben ejecutar las siguientes actividades:

- Para cementos fabricados bajo la norma NTC 121 se debe demostrar experimentalmente que se cumplen los requisitos de desempeño enunciados dentro de esta. Para cementos fabricados bajo las normas ASTM C150, ASTM C595 o ASTM C1157, además de cumplir su norma de fabricación, también se debe demostrar mediante ensayos de laboratorio que el desempeño es igual o superior al especificado en la NTC 121. Los ensayos requeridos se deben efectuar con la siguiente periodicidad:
  - Una vez (1) por cada mes de ejecución de las obras y, como mínimo, tres (3) veces a intervalos convenientemente espaciados si la obra dura menos de tres (3) meses.
  - Cada vez que se modifique el material suministrado.
  - Cada vez que el interventor lo solicite.
- La toma de las muestras se debe hacer siguiendo la norma INV E-301 y los ensayos se deben realizar en un laboratorio que cumpla lo indicado en el numeral 501.2.1 del presente artículo. No se debe admitir tolerancia alguna en relación con los límites que se establecen en las normas enunciadas en la Tabla 501 — 1 o con los establecidos en la especificación particular del proyecto, si fuese el caso. Por tanto, el incumplimiento del resultado de alguno de los ensayos implica el rechazo del producto.
- Efectuar los controles necesarios para determinar la cantidad de cemento hidráulico incorporado en las mezclas que el interventor haya aprobado.

501.6 Medida

Para efectos de pago, el cemento hidráulico se debe medir, solamente en aquellas unidades de obra en las que los artículos correspondientes o los documentos del proyecto indiquen que el cemento hidráulico se paga por aparte. En estos casos, la unidad de medida del cemento hidráulico debe ser el kilogramo (kg), aproximado al kilogramo entero, incorporado en la unidad de obra correspondiente debidamente aprobada por el interventor.

El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, mediante el método de redondeo de la norma INV E-823. Para determinar la cantidad de cemento hidráulico por pagar, se debe calcular el peso de la mezcla aceptada en su posición final, mediante el producto del volumen aprobado por su densidad media en obra en cada lote y, posteriormente, aplicando a este valor el porcentaje de cemento promedio que resulte de los ensayos realizados sobre muestras representativas del volumen de mezcla aceptada.

501.7 Forma de pago

El pago se debe hacer al precio unitario del respectivo contrato, por el cemento hidráulico efectivamente suministrado y recibido, aprobado por el interventor. En caso de requerir la incorporación de adiciones suplementarias,

su precio debe estar incluido dentro del material suministrado.

El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

501.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
501.1	Cemento Portland, norma ASTM C150, tipo ___	Kilogramo (kg)
501.10	Cemento hidráulico adicionado, norma ASTM C595, tipo ___	Kilogramo (kg)
501.20	Cemento hidráulico especificado por desempeño, norma NTC 121, tipo ___	Kilogramo (kg)

Nota: se debe elaborar un ítem de pago para cada tipo de cemento que se especifique en los documentos del proyecto.

501.9 Glosario

Las siguientes definiciones son aplicables a esta especificación:

501.9.1 Material cementante

Es aquel que tiene las propiedades de adhesión y cohesión necesarias para unir agregados y conformar una masa sólida de resistencia y durabilidad adecuada. Los principales cementantes son los cementos hidráulicos, algunas escorias y ciertos materiales con propiedades puzolánicas. De acuerdo con el grado de poder cementante y los requerimientos específicos de las aplicaciones, estos cementantes se pueden utilizar en forma individual o combinados entre sí.

501.9.2 Cemento hidráulico

Cemento que fragua y endurece por reacción química con el agua, incluso bajo esta.

501.9.3 Clínker Portland

Componente del cemento en forma granulada, constituido principalmente por silicatos, aluminatos y ferroaluminatos de calcio y que se obtiene por la cocción, hasta fusión parcial (clinkerización), de una mezcla convenientemente proporcionada y homogenizada de materiales, debidamente seleccionados.

501.9.4 Cemento Portland

Cemento hidráulico que se obtiene de la pulverización del clínker Portland. Consiste esencialmente en silicatos de calcio hidratados.

501.9.5 Cemento hidráulico adicionado

Cemento hidráulico que consta de dos o más componentes inorgánicos (por lo menos uno de los cuales no es cemento Portland o clínker Portland) que, por separado o en conjunto, contribuyen a las propiedades de incremento de resistencia del cemento, elaborado con o sin otros componentes, adiciones de proceso y adiciones funcionales, por molienda conjunta u otro proceso de mezcla.

501.9.6 Adiciones suplementarias

Son materiales cementantes inorgánicos de origen natural o artificial que tienen propiedades puzolánicas, hidráulicas, o ambas, y que, al ser incorporadas directamente durante la creación del cemento, permiten alcanzar en la mezcla de concreto mejoras tecnológicas de desempeño, ya sea en su estado fresco,

durante su fraguado y/o en su estado endurecido (propiedades resistentes y durables). Algunos ejemplos son las cenizas volantes (clases C y F según la NTC 3493/ASTM C618), el humo de sílice, las puzolanas naturales o calcinadas, las escorias cementantes (granulada y molida), metacaolín (arcilla calcinada), entre otros. La Tabla 501 — 2 resume la naturaleza de las adiciones suplementarias más empleadas.

Tabla 501 — 2. Naturaleza de las adiciones suplementarias

Material	Naturaleza cementante o tipo de reacción
Puzolana natural (clase N) (Nota 1)	Puzolánica con cemento Portland
Ceniza volante silícea (clase F) (Nota 1)	Puzolánica con cemento Portland
Ceniza volante de alta cal (clase C) (Nota 1)	Puzolánica con cemento Portland, pero también ligeramente hidráulica
Escoria de alto horno granulada y molida	Potencialmente hidráulica
Humo de sílice (Nota 2)	Puzolánico con cemento Portland
Relleno calcáreo	Llenante con acción hidráulica ligera con cemento Portland
Metacaolín (arcilla calcinada)	Puzolánica con cemento Portland

Nota 1: clasificación de acuerdo con la NTC 3493 (ASTM C618).

Nota 2: debe cumplir lo establecido en la norma técnica ASTM C1240.

De acuerdo con la disponibilidad de materiales, las propiedades finales deseadas y las capacidades tecnológicas, se puede utilizar más de un tipo de adición suplementaria, en forma combinada con los demás materiales. Los cementos «ternarios» son aquellos que contienen dos adiciones suplementarias diferentes en su composición, además de clínker, yeso y aditivos de proceso (si se usan). Los cementos «cuaternarios» son los que contienen tres adiciones principales más clínker, yeso y aditivos de proceso (si se usan).

Dependiendo de la naturaleza de la adición, estas pueden no solo contribuir con las propiedades de ganancia de resistencia del cemento, sino también con otras propiedades de las mezclas.

Base de concreto hidráulico

Artículo 505 – 22

505.1 Descripción

Este artículo establece las condiciones para la construcción de una capa de base en concreto hidráulico, donde se incluye la producción de materiales, el diseño, la elaboración y el transporte de la mezcla de concreto, el procedimiento de acabado, protección y curado del concreto, el corte y sellado de juntas, la apertura al tránsito y los demás procedimientos necesarios para su correcta construcción. Se incluyen los respectivos procedimientos de control de materiales, construcción y terminado. La base de concreto hidráulico se debe construir, de acuerdo con los alineamientos, las cotas, las secciones, los espesores y demás parámetros indicados en el diseño de la capa base y en los documentos del proyecto.

505.2 Materiales

505.2.1 Concreto

Está conformado por una mezcla homogénea de agregados, material cementante, adiciones suplementarias, agua, aditivos y eventualmente adiciones complementarias, materiales que deben cumplir los requisitos básicos que se mencionan a continuación.

505.2.1.1 Cemento hidráulico

Rige lo establecido en el numeral 630.2.1.1 del artículo 630, Concreto estructural.

505.2.1.2 Adiciones suplementarias

Rige lo establecido en el numeral 630.2.1.2 del artículo 630.

505.2.1.3 Agregados

505.2.1.3.1 Agregado fino

Se considera como tal, la fracción que pasa el tamiz de 4,75 mm (nro. 4). Proviene de arenas naturales o de la trituración de rocas, gravas, escorias siderúrgicas u otro producto que resulte adecuado, de acuerdo con los documentos del proyecto.

El porcentaje de arena de trituración no puede constituir más de treinta por ciento (30 %) de la masa del agregado fino.

El agregado fino debe cumplir los requisitos de calidad indicados en la Tabla 505 — 1.

Tabla 505 — 1. Requisitos del agregado fino para bases de concreto hidráulico

Característica	Norma de ensayo INV	Requisito
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%): - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	E-220	 10 15
Limpieza (F)		
Terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%)	E-211	3
Partículas livianas, máximo (%)	E-221	0,5
Material que pasa el tamiz de 0,075 mm (nro. 200), máximo (%).	E-214	3
Contenido de materia orgánica (F)		
Color más oscuro permisible	E-212	Igual al color de referencia o de la placa orgánica nro. 3
Características químicas (O)		
Contenido de sulfatos, expresado como $SO_4^=$, máximo (%)	E-233	1,2
Absorción		
Absorción de agua, máximo (%)	E-222	4

Si el agregado fino no cumple el requisito indicado en la Tabla 505 — 1 para el contenido de materia orgánica, se puede aceptar si al ser ensayado en relación con el efecto de las impurezas orgánicas sobre la resistencia del mortero, se obtiene una resistencia relativa a siete días (7 d) no menor de noventa y cinco por ciento (95 %), calculada de acuerdo con el procedimiento descrito en la norma ASTM C87.

505.2.1.3.2 Agregado grueso

Se denomina agregado grueso la porción del agregado retenida en el tamiz de 4,75 mm (nro. 4). Dicho agregado debe estar compuesto de grava, grava triturada, roca triturada o concreto triturado fabricado con cemento hidráulico que cumpla lo especificado en el numeral 630.2.1.3 del artículo 630. Sus fragmentos deben ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables. No se permite la utilización de agregado grueso proveniente de escorias de alto horno. Debe estar exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan afectar adversamente la calidad de la mezcla.

Además, el agregado grueso debe cumplir los requisitos de calidad señalados en la Tabla 505 — 2.

Tabla 505 — 2. Requisitos del agregado grueso para bases de concreto hidráulico

Característica	Norma de ensayo INV	Requisito
Dureza (O)		
Desgaste en la máquina de Los Ángeles (Granulometría A), máximo (%): - 500 revoluciones - 100 revoluciones	E-218	 40 8
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%).	E-238	30
Resistencia mecánica por el método del 10 % de finos: - Valor en seco, mínimo (kN) - Relación húmedo/seco, mínimo (%)	E-224	 50 75
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%): - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	E-220	 12 18
Limpieza (F)		
Terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%).	E-211	3
Partículas livianas, máximo (%).	E-221	0,5
Geometría de las partículas (F)		
Partículas fracturadas mecánicamente (una cara), mínimo (%).	E-227	60
Índice de alargamiento, máximo (%).	E-230	25
Índice de aplanamiento, máximo (%).	E-230	25
Características químicas (O)		
Proporción de sulfatos del material combinado, expresado como $SO_4^=$, máximo (%).	E-233	1,0

505.2.1.3.3 Gradación combinada

La combinación de los agregados grueso y fino, lista para elaborar la mezcla de concreto, debe satisfacer el requisito granulométrico indicado en la Tabla 505 — 3.

Tabla 505 — 3. Granulometría del agregado combinado para bases de concreto hidráulico

Tipo de gradación	Tamiz (mm / U.S. Standard)					
	50	25	19,0	4,75	0,425	0,075
	2 Pulgadas	1 Pulgada	3/4 Pulgada	Nro. 4	Nro. 40	Nro. 200
	Pasa tamiz (%)					
Única	100	55 – 85	50 – 80	30 – 60	10 – 30	0 – 15
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	-	4 %			3 %	2 %

505.2.1.4 Agua

Rige lo establecido en el numeral 630.2.1.4 del artículo 630.

505.2.1.5 Aditivos y adiciones complementarias

Rige lo establecido en el numeral 630.2.1.5 del artículo 630.

505.2.2 Productos para el curado

Rige lo establecido en el numeral 630.2.3 del artículo 630.

505.2.3 Resina polimérica y material de reparación parcial de bases de concreto

Rige lo establecido en el numeral 630.2.5 del artículo 630.

505.2.4 Desempeño de la mezcla de concreto

El diseño de la mezcla debe cumplir todos los requisitos de durabilidad y resistencia. Para ello, se deben tomar como requisitos límites los parámetros más conservadores entre los obtenidos por:

- Durabilidad
- Resistencia

505.2.4.1 Durabilidad

Rige lo establecido en el numeral 630.2.6.1 del artículo 630.

505.2.4.2 Resistencia

Rige lo establecido en el numeral 500.2.7.2 del artículo 500, Pavimento de concreto hidráulico.

505.3 Equipo

El constructor debe poner al servicio de los trabajos contratados todo el equipo necesario para manejar los materiales y las mezclas y ejecutar todas las partes de la base de concreto hidráulico, conforme se establece en el presente artículo.

Para definir el equipo de construcción del pavimento, el constructor debe tener en cuenta todos los aspectos relacionados con

la logística de producción, transporte y colocación, y las condiciones del proyecto, tales como el perfil de la vía y el espacio disponible. La selección del equipo más adecuado en términos de calidad y rendimiento debe considerar, entre otros, los siguientes aspectos:

- Perfil especificado para la vía.
- Ancho de calzada.
- Ancho de vaciado.
- Espesor de la capa base de concreto hidráulico.
- Condiciones del entorno.
- Rendimiento requerido.

Todo el equipo debe ser situado en el sitio de los trabajos con anticipación suficiente al inicio de las operaciones de pavimentación, con el fin de que el interventor lo pueda revisar con todo detalle y aprobar su utilización.

En todos los casos, el equipo se debe ajustar a lo dispuesto en la legislación vigente en materia ambiental, de seguridad, de salud y de transporte, y se debe cumplir además lo establecido en la NSR en lo relacionado con calidad, mezclado y colocación, y con la normativa NTC 3318/ASTM C94.

505.3.1 Equipo para la elaboración de agregados y la producción del concreto

Rige lo establecido en el numeral 630.3.1 y 630.3.2 del artículo 630.

505.3.2 Equipo para el transporte del concreto al sitio de las obras

Rige lo establecido en el numeral 630.3.3 del artículo 630.

505.3.3 Equipos para la colocación del concreto

La mezcla de concreto se debe extender y consolidar por los medios apropiados para garantizar la homogeneidad de la mezcla colocada, y se debe evitar la segregación y la aparición de vacíos, con el fin de alcanzar el espesor y la densidad adecuados, así como el contenido de aire especificado. La colocación se puede realizar mediante extendido entre formaletas fijas, con equipos de formaletas deslizantes o equipos láser.

El constructor debe proponer los equipos de colocación del concreto adecuados para las diferentes situaciones, teniendo en cuenta las características del proyecto, el tipo de concreto, las condiciones logísticas del tramo por colocar, etc. Estos sistemas de colocación deben ser aprobados por el interventor.

En ningún caso se permite el extendido y la nivelación manual del concreto mediante el uso de regla, codal o boquillera.

505.3.3.1 Equipos mínimos propuestos para la colocación del concreto

- Formaleta fija: debe ser de un material capaz de soportar el empuje del concreto y el peso del equipo usado durante las operaciones de construcción sin deformarse ni pandearse.
- Pavimentadora de formaleta o cimbra deslizante, con o sin sistema de frotado automático (fratasado automático).
- Flota motorizada de magnesio o de aleación equivalente.
- Texturizador automático como alternativa al texturizador manual.

- Cercha con rodillo transversal que circula sobre rieles.
- Regla vibratoria tipo cercha.
- Rodillo extendedor de tres tubos con o sin juego de vibradores.
- En el caso de no contar con juego de vibradores externos o adosados al equipo, se debe garantizar la cantidad suficiente de vibradores manuales externos para asegurar la adecuada vibración del tramo a pavimentar.
- Equipo de aplicación de membrana de curado automático como alternativa a los aspersores motorizados.

505.3.3.1.1 Kit de pavimentación

- Enrasador o regla articulada de chequeo con rótula y extensiones suficientes para abarcar el ancho de la base. La sección mínima de este elemento es diez centímetros por cinco centímetros (10 cm x 5 cm), longitud o ancho mínimo tres metros (3 m). *Super flat pavers straigthedges* o *bump cutter.*
- Flotador o flota de magnesio o de material equivalente, longitud o ancho mínimo tres metros (3 m), con rótula y extensiones suficientes para abarcar el ancho de pavimentación.
- Tela o costal de microtexturizado de fique, yute o material equivalente. Debe ser de una sola pieza continua sin costuras intermedias para abarcar el ancho de pavimentación. Se debe pasar húmedo y limpiar periódicamente durante el proceso.
- Aspersores motorizados para la aplicación del retardante de evaporación.
- Aspersores motorizados para la aplicación de la membrana de curado.
- Cortadora manual o autopropulsada con disco diamantado y refrigeración por agua.
- Hidrolavadora para garantizar que en el término de tres horas después de realizado el corte inicial, la masilla generada por este sea retirada de la caja de corte.
- Aplicador del elastómero (poliuretano o silicona).

El constructor debe garantizar la calibración periódica de los equipos, de acuerdo con el plan de mantenimiento y la calibración de estos, fijado en el plan de calidad del proyecto. Las calibraciones deben ser realizadas por laboratorios de calibración que cuenten con la acreditación por parte del Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC) para la unidad de medida que se va a verificar, garantizando que las mediciones realizadas por la empresa sean trazables al Sistema Internacional de Unidades (SI).

Estos equipos deben ser probados y aprobados en el tramo de prueba especificado en el numeral 500.4.5. del artículo 500.

505.4 Ejecución de los trabajos

505.4.1 Consideraciones constructivas en relación con el diseño del pavimento

El alcance de los diseños de la base en concreto hidráulico debe incluir los siguientes elementos, los cuales también deben ser verificados por el constructor y aprobados por el interventor, para poder iniciar la construcción del pavimento de concreto:

- Método de diseño utilizado
  - Memoria de diseño
  - Criterios utilizados
  - Variables
  - Cálculos

- Tolerancias de los elementos terminados
  - Espesores
  - Ubicación de las juntas cuando estas sean contempladas en el proyecto
  - Dimensiones de las cavidades
  - Otras tolerancias
- Espesor de la capa base de concreto hidráulico
- Producción del concreto
  - Resistencia a la flexión
  - Resistencia a la compresión
  - Consideraciones
    - Módulo de elasticidad
    - Peso unitario
    - Requisitos de durabilidad
    - Valor máximo de contracción del concreto
    - Relaciones agua/material cementante (a/mc)
  - Diseños de mezclas
    - Consideraciones para el uso de cada diseño de mezcla
    - Consideraciones especiales para ajustes del diseño de mezcla
  - Ensayos que se deben realizar al concreto
    - En estado fresco (asentamiento, temperatura, peso unitario)
    - En estado endurecido (resistencia a la flexión, resistencia a la compresión, durabilidad, variaciones dimensionales, contracción durante el fraguado, contracción por secado de la mezcla endurecida)
    - Rangos de temperatura aceptables y consideraciones en caso de temperaturas por fuera del rango
- Transporte del concreto
  - Tipos de transportes y consideraciones para la selección
  - Características de cada sistema de transporte
  - Limitaciones
- Descarga del concreto
  - Distancia máxima de caída libre del concreto
  - Consideraciones en caso de distancias mayores
- Colocación
  - Consideraciones para la colocación del concreto
  - Secuencia recomendada de colocación
  - Consideraciones para la selección del equipo de colocación
    - Asentamientos asociados a cada diseño de mezcla de acuerdo con el sistema de colocación
- Acabado superficial
  - Procedimientos establecidos para el acabado superficial
    - Chequeo superficial (condiciones para el chequeo, equipos a utilizar, tolerancias)
    - Flotado superficial (sentido y secuencia de flotado, momento de flotado)
- Protección y curado del concreto
  - Sistemas de protección
    - Cubiertas
    - Barreras
    - Sistemas de curado (riegos de agua, membranas de curado, materiales absorbentes, plásticos)
- Tiempos y características de protección
  - Previa (cubiertas, barreras, cambios en diseños de mezclas)
  - Durante (retardantes de evaporación)
  - Después (curado de zonas en el retiro de formaletas)
- Corte de juntas
  - Diseño de la sección de la cavidad
    - Ancho de cortes
    - Profundidades de corte
  - Plano con la secuencia de corte de juntas

- Sello de juntas
  - Materiales por utilizar
  - Factores de forma
- Apertura al tránsito
  - Criterios de apertura
  - Tipo de tránsito considerado para la apertura
  - Consideraciones
    - Tiempo
    - Resistencia del concreto
    - Elementos asociados a la estructura del pavimento

505.4.2 Explotación de materiales y elaboración de agregados

Rige lo establecido en el artículo 105, Desarrollo de los trabajos, en lo referente a la explotación y el procesamiento de materiales.

505.4.3 Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo

La dosificación del concreto determina las proporciones en que se deben combinar los diferentes materiales componentes: agregados, material cementante, adiciones suplementarias, agua, aditivos y eventualmente adiciones complementarias, de modo de obtener un concreto que cumpla la resistencia, el asentamiento, la manejabilidad, la durabilidad y demás exigencias requeridas por las especificaciones particulares del proyecto y las presentes especificaciones.

Con suficiente antelación al inicio de los trabajos, el constructor debe suministrar al interventor, para su verificación, muestras representativas de los agregados, material cementante, adiciones suplementarias y complementarias, agua y eventuales aditivos por utilizar, avaladas por los resultados de ensayos de laboratorio que garanticen la conveniencia de emplearlos en el diseño de la mezcla.

Una vez el interventor realice las comprobaciones que considere necesarias y dé su aprobación a los materiales, con base en el cumplimiento de los requisitos de la presente especificación, el constructor debe diseñar la mezcla, mediante un método validado por alguna institución técnica nacional o internacional, y debe definir una fórmula de trabajo, la cual debe someter a consideración del interventor. Dicha fórmula debe señalar:

- El tipo de material cementante.
- Las proporciones en que se deben mezclar los agregados disponibles y la gradación media a que da lugar dicha mezcla, por los tamices correspondientes a la granulometría aceptada, así como la franja de tolerancia dentro de la cual es válida la fórmula propuesta.
- Las dosificaciones de agregados, material cementante, adiciones, agua y aditivos, se deben hacer en peso por volumen unitario de concreto (usualmente un metro cúbico (1 m^3) de concreto, o fracción de este). La cantidad de agua y los aditivos líquidos se pueden dar por peso o por volumen. Para todo efecto se deben seguir los lineamientos de la NTC 3318.
- Módulo de finura del agregado fino.
- El contenido de aire (si se ha especificado).
- La resistencia a compresión de la mezcla a veintiocho días (28 d) de curado, y las edades adicionales que se especifiquen en el concreto a usar, se mide según la norma INV E-410/NTC 673.
- Módulo de rotura de la mezcla a veintiocho días (28 d) de curado, y las edades

adicionales que se especifiquen para el concreto a usar, se mide según la norma INV E-414/NTC 2871.

- La consistencia se debe medir mediante el asentamiento INV E-404 o NTC 396. Cuando se requiera, se puede medir según el ensayo de flujo libre, norma NTC 5222 (aplicable para mezclas de más de 230 mm). Se pueden utilizar medios electrónicos para medir la consistencia del concreto siempre que se realicen correlaciones con los ensayos INV E-404/NTC 396 o NTC 5222, la que sea aplicable, y debe ser aprobado por el interventor. El constructor debe determinar la consistencia de cada concreto, teniendo en cuenta las condiciones específicas del proyecto (sistema de colocación, condiciones ambientales, tipo de estructura, materiales componentes, entre otras) y este debe ser aprobado por el interventor.

La fórmula de trabajo se debe reconsiderar cada vez que varíe alguno de los parámetros anteriormente mencionados de los siguientes factores:

- El tipo o la clase del material cementante.
- El tipo, la absorción y el tamaño máximo del agregado grueso.
- El módulo de finura del agregado fino en más de dos décimas (0,2).
- La gradación del agregado combinado en una magnitud tal, que ella se salga de la tolerancia fijada.
- La naturaleza y la proporción de los aditivos.
- El método de colocación del concreto.
- La procedencia del agua.
- Las tolerancias granulométricas indicadas en la Tabla 505 — 3.

En caso de variar cualquier otro parámetro, el interventor puede exigir la modificación de la fórmula de trabajo para que esta se ajuste a la variación de los parámetros realizada.

El constructor debe considerar que el concreto sea dosificado y elaborado para asegurar una resistencia a la compresión y a la flexión promedio suficientemente superior a la especificada en los documentos del proyecto, según la clase de concreto, de manera que se minimice la frecuencia de los resultados de pruebas por debajo del valor especificado. Para esto se deben cumplir los lineamientos de la NSR. Con este fin, el constructor debe tener en cuenta que la magnitud en que el promedio de resistencia de la mezcla deba exceder la resistencia especificada de diseño depende de la desviación estándar de la resistencia, durante la etapa de producción y de la precisión con la que dicho valor pueda ser estimado, a partir de datos históricos sobre mezclas iguales o similares.

Al efectuar las mezclas de prueba en el laboratorio para el diseño de la mezcla, las muestras para los ensayos de resistencia deben ser elaboradas y curadas de acuerdo con la norma INV E-402/NTC 1377 y ensayadas según la norma de ensayo INV E-410/NTC 673 e INV E-414/NTC 2871. Se deben elaborar curvas que muestren la variación de la resistencia a veintiocho días (28 d) (o a la edad definida para la clase de concreto) en función de la relación agua/material cementante (a/mc) y del contenido de material cementante. Estas curvas se deben basar en no menos de tres (3) puntos y preferiblemente cinco (5), que representen mezclas de prueba que den lugar a resistencias por encima y por debajo de la requerida. Cada punto debe representar

el promedio de, por lo menos, dos (2) cilindros estandarizados de ciento cincuenta milímetros (150 mm) de diámetro por trecientos milímetros (300 mm) de altura o dos (2) vigas estandarizadas de ciento cincuenta milímetros (150 mm) de ancho por ciento cincuenta milímetros (150 mm) de alto y quinientos milímetros (500 mm) de longitud, ensayados a veintiocho días (28 d) (o a la edad definida para la clase de concreto).

Los valores de la relación a/mc máxima y del contenido mínimo de material cementante admisibles por resistencia para el concreto a ser empleado en la base, deben ser los que permitan obtener una resistencia promedio por encima de la resistencia de diseño.

En todos los casos, la relación a/mc y el contenido de material cementante deben cumplir los valores máximo y mínimo, respectivamente, permitidos por las consideraciones de durabilidad correspondientes a la clase de concreto definida en los documentos del proyecto.

El interventor debe aprobar el diseño de mezcla propuesto; sin embargo, esto no implica necesariamente la aceptación posterior de las obras de concreto que se construyan con base en dicho diseño, ni exime al constructor de su responsabilidad de cumplir todos los requisitos de las especificaciones y de los documentos del proyecto. La aceptación de las obras para fines de pago depende de su correcta ejecución y de la obtención de la resistencia mínima especificada para la respectiva clase de concreto, resistencia que debe ser comprobada con base en los ensayos realizados a las mezclas realmente incorporadas en tales obras.

No se permite ningún cambio al diseño de la mezcla sin autorización del interventor. En la Tabla 505 — 4 se presentan los criterios de diseño de la mezcla.

Tabla 505 — 4. Criterios de diseño de la mezcla para la base de concreto hidráulico

Característica	Norma de ensayo INV	Requisito
Resistencia a la compresión a veintiocho días (28 d) (MPa).	E-410	(Nota)
Resistencia a la compresión a siete días (7 d), mínimo (MPa).	E-410	(Nota)
Resistencia a la flexión a la edad de diseño (MPa).	E-414	(Nota)
Contenido de aire, máximo (%).	E-406	3,5
Asentamiento (mm): - Formaleta deslizante - Flota motorizada - Regla vibratoria - Rodillo vibratorio - Cimbra de rodillo - *Fast track*	E-404	 0 75 ± 25 75 ± 25 75 – 100 100 – 125 175 ± 25

Nota: los requisitos de resistencia a la flexión y a la compresión, deben ser definidos por el diseñador, o deben estar establecidos en los documentos del proyecto, de acuerdo con las necesidades de la estructura.

El requisito sobre resistencia máxima a los veintiocho días (28 d) se puede obviar, si se diseñan y construyen juntas en la capa de base de concreto hidráulico. Esto debe ser aprobado por el interventor.

Para cada dosificación ensayada, se controla el asentamiento bajo la norma INV E-404/ NTC 396, el módulo de rotura bajo la norma INV E-414/NTC 2871 y resistencia a la compresión bajo la norma INV E-410/NTC 673 a las edades establecidas por el diseñador y, cuando se exija, el contenido de aire incluido bajo la norma INV E-406/NTC 1032.

Los ensayos de resistencia se deben llevar a cabo sobre probetas procedentes de cuatro (4) amasadas diferentes de concreto, confeccionando series de seis (6) probetas por amasada.

De cada serie se deben ensayar dos (2) probetas a siete días (7 d), dos (2) a veintiocho días (28 d) y dos (2) destinadas como testigos (o las edades definidas para control, resistencia de diseño y verificación de resistencia residual), y se obtienen valores promedio de cada grupo de resultados. Se considera como fórmula de trabajo la mezcla cuyo valor promedio obtenido a veintiocho días (28 d), o la edad de diseño definida para la clase de concreto, supere la resistencia especificada con un margen suficiente para que sea razonable esperar que, con la dispersión que introduce la ejecución de la obra, la resistencia característica real de la mezcla también sobrepase la especificada. Al efecto, el constructor debe tener en cuenta que la magnitud en que el promedio de resistencia a la compresión de la mezcla deba exceder la resistencia especificada de diseño depende de la desviación estándar de la resistencia durante la etapa de producción y de la precisión con la que dicho valor pueda ser estimado a partir de datos históricos sobre mezclas iguales o similares.

Es obligatoria la realización de ensayos de módulo de elasticidad estáticos a los veintiocho días (28 d), para la mezcla diseñada, según la norma de ensayo INV E-424/NTC 4025. Los documentos del proyecto pueden establecer requisitos mínimos para el módulo de elasticidad del concreto, caso en el cual la mezcla debe ser diseñada para cumplir también con dicho requisito.

El constructor debe remitir al interventor el diseño completo de la mezcla, mostrando las proporciones y los resultados del módulo de rotura y resistencia a la compresión del concreto a siete días (7 d), veintiocho días (28 d) y los destinados como testigos (o las edades definidas para control, resistencia de diseño y verificación de resistencia residual), así como el módulo de elasticidad y la densidad del concreto endurecido, determinada según la norma de ensayo NTC 5653 (ASTM C642). El diseño debe incluir una copia de todos los resultados de ensayo, incluyendo las fechas de las pruebas, una lista completa de los materiales, donde se indique tipo, fuente y características especificadas, tipo y resultados de las pruebas físicas y químicas sobre agregados, material cementante, adiciones, agua y aditivos. También, debe incluir el módulo de finura de la arena y el contenido de aire incluido en la mezcla, este último, cuando el diseño lo contemple. El diseño no puede tener una edad superior a noventa días (90 d) y la producción industrial de la mezcla no puede comenzar hasta que el interventor apruebe el informe de diseño por escrito.

Los laboratorios en donde se realicen los ensayos necesarios para el desarrollo de la fórmula de trabajo de la mezcla, deben ser empresas legalmente constituidas que cuenten con experiencia y/o trayectoria en ejecución de pruebas y ensayos de control de calidad de materiales, que puedan demostrar apropiadamente la competencia de su personal de laboratorio y cuyos informes de resultados informados contengan la aprobación y la autorización para su emisión, mediante la firma del responsable técnico facultado para ello. El laboratorio debe contar con todo el equipamiento principal y auxiliar necesario para el correcto desempeño de sus actividades y asegurar que estos cuenten con la exactitud y la precisión adecuadas para lograr resultados válidos. El laboratorio debe contar con un programa de calibración de sus equipos y se debe asegurar de que los resultados de la medición sean trazables al SI mediante alguna de las siguientes alternativas:

- La calibración de los equipos proporcionados por un laboratorio de metrología acreditado por ONAC.
- La comparación directa o indirecta a patrones nacionales o internacionales que cuenten con unidades del SI.
- Los valores certificados de materiales de referencia (MRC) proporcionados por productores competentes con trazabilidad metrológica establecida al SI.

El constructor es el responsable de garantizar que todos los ensayos necesarios se realicen. Los informes deben ser entregados rutinariamente al interventor, al profesional a cargo del diseño, a los proveedores de material y a la autoridad competente que verifique el cumplimiento de la calidad o que tome acciones correctivas.

505.4.4 Almacenamiento de materiales

Los agregados, el material cementante, las adiciones suplementarias, los aditivos y las adiciones complementarias se deben almacenar de tal forma que se prevenga su deterioro o contaminación. Cualquier material que se haya deteriorado o contaminado no se debe usar para la elaboración del concreto. Para prevenir esta situación, los materiales se deben almacenar de acuerdo con las siguientes indicaciones:

505.4.4.1 Almacenamiento de los agregados pétreos

Rige lo establecido en el numeral 630.4.3.1 del artículo 630.

505.4.4.2 Almacenamiento del material cementante y adiciones suplementarias

Rige lo establecido en el numeral 630.4.3.2 del artículo 630.

505.4.4.3 Almacenamiento de aditivos y adiciones complementarias

Rige lo establecido en el numeral 630.4.3.3 del artículo 630.

505.4.5 Tramo de prueba

Rige lo establecido en el numeral 500.4.5 del artículo 500.

505.4.6 Construcción de la base en concreto hidráulico

505.4.6.1 Preparación de la superficie existente

Rige lo establecido en el numeral 500.4.6.1 del artículo 500.

505.4.6.2 Elaboración de la mezcla

Rige lo establecido en el numeral 630.4.6 del artículo 630.

505.4.6.3 Transporte del concreto al sitio de las obras

Rige lo establecido en el numeral 630.4.7 del artículo 630.

505.4.6.4 Sistemas de colocación

Rige lo establecido en el numeral 500.4.6.4 del artículo 500.

505.4.6.5 Esquema de pavimentación

Rige lo establecido en el numeral 500.4.6.5 del artículo 500.

505.4.6.6 Descarga del concreto

Rige lo establecido en el numeral 500.4.6.6 del artículo 500.

505.4.6.7 Acabado super icial

Rige lo establecido en el numeral 500.4.6.8 del artículo 500, exceptuando el macrotexturizado.

505.4.6.8 Protección y curado del concreto

Rige lo establecido en el numeral 500.4.6.9 del artículo 500.

505.4.6.9 Remoción de formaletas

Cuando la base se construya entre formaletas fijas, el desformaleteado se debe efectuar luego de transcurridas dieciséis horas (16 h), a partir de la colocación del concreto. En cualquier caso, el interventor puede aumentar o reducir el tiempo, en función de la consistencia alcanzada por el concreto.

505.4.6.10 Ejecución de juntas

Los documentos del proyecto pueden hacer necesaria la construcción de juntas en la base de concreto.

Se debe cuidar que las juntas longitudinales de la base no coincidan en ubicación con las previstas para las losas de la capa de rodadura. El desplazamiento debe ser, cuando menos, de ciento cincuenta milímetros (150 mm).

En las juntas longitudinales resultantes de colocar una franja de concreto contra otra ya construida, se aplica al canto de esta un producto que evite la adhesión del concreto nuevo con el antiguo.

Se debe tener especial cuidado de que el concreto nuevo que se coloque a lo largo de la junta sea homogéneo y quede perfectamente compactado, especialmente cuando la junta sea del tipo machihembrado. Si se observan desperfectos en el borde construido, se deben corregir antes de aplicar el producto antiadherente.

Las juntas transversales de construcción se deben disponer al fin de la jornada de trabajo o cuando se presente una interrupción que haga temer el comienzo del fraguado.

Las juntas transversales de contracción se deben ubicar en posición coincidente con las previstas para las losas del pavimento. Su ejecución se hace en fresco.

505.4.6.11 Apertura al tránsito

Rige lo establecido en el numeral 500.4.6.16 del artículo 500.

505.4.6.12 Requisitos de temperatura

No se permite la extensión de la mezcla para la construcción de la base de concreto hidráulico, mientras no hayan sido realizadas la nivelación y la comprobación del grado de compactación de la capa precedente.

Los trabajos de construcción de la base de concreto hidráulico se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, si el constructor garantiza el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que sea aprobado por este.

El vaciado del concreto se debe interrumpir siempre que llueva con una intensidad tal que pudiera producir, a criterio del interventor y por instrucción de este, el lavado del concreto o la pérdida del acabado de la base.

En zonas calurosas, se deben extremar las precauciones, con el fin de evitar fisuraciones o desecación superficial. Donde la temperatura ambiente exceda de treinta grados Celsius (30 °C), se debe contemplar el empleo de aditivos retardadores de fraguado y/o de agua fría en la elaboración de la mezcla, lo que debe ser aprobado por el interventor. La temperatura de la mezcla no puede exceder de treinta y ocho grados Celsius (38 °C) en el instante de su colocación.

La temperatura de la masa de concreto, durante la operación de vaciado, tampoco puede ser inferior a cinco grados Celsius (5 °C) y se prohíbe la puesta en obra sobre una superficie cuya temperatura sea inferior a cero grados Celsius (0 °C) o cuando la temperatura ambiente sea inferior a cuatro grados Celsius (4 °C).

505.4.7 Conservación

Todo concreto defectuoso o deteriorado que no cumpla las características establecidas en el diseño, debe ser intervenido por el constructor para llevarlo a las condiciones de diseño, sin costo adicional para INVÍAS. En todo caso, los procedimientos deben ser aprobados por el interventor. Se debe dejar registrado en los documentos del proyecto las reparaciones realizadas y el método de reparación.

El constructor debe mantener en perfectas condiciones la base de concreto hidráulico, de manera que se cumplan los requisitos mínimos establecidos en el presente artículo, hasta el instante de colocación de la capa superior y el recibo definitivo de los trabajos, sin que ello implique costo adicional alguno para INVÍAS.

505.4.8 Manejo ambiental

En adición a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las labores requeridas para la construcción de la base de concreto hidráulico se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en los estudios o evaluaciones ambientales del proyecto y las normas y disposiciones vigentes sobre la conservación del ambiente y los recursos naturales.

Sea que los agregados los explote el constructor o le sean suministrados por terceros, el interventor debe verificar que se encuentren vigentes todas las licencias para su explotación. Así mismo, se debe controlar que todos los procesos de preparación de agregados, elaboración, transporte y colocación de la mezcla, y el acabado de la base se realicen cumpliendo cabalmente las normas y disposiciones ambientales vigentes.

Al término de los trabajos de construcción de la base de concreto hidráulico, el constructor debe limpiar la superficie y retirar todo material sobrante o desperdicio y transportarlo y depositarlo apropiadamente en un lugar autorizado por las autoridades ambientales de la jurisdicción respectiva.

Siempre que se deban demoler y reponer tramos de base de concreto hidráulico, los productos de la demolición son de propiedad del constructor, quien debe disponer de ellos de manera que no causen afectaciones ambientales ni se genere obligación de ninguna índole a INVÍAS.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades deben estar incluidas en los costos del proyecto, por tanto, no deben ser objeto de reconocimiento directo en el contrato.

505.5 Condiciones para el recibido de los trabajos

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y el funcionamiento de todo el equipo de construcción.
- Comprobar que los materiales por utilizar cumplan todos los requisitos de calidad exigidos por la presente especificación.
- Verificar la correcta aplicación del método de trabajo aprobado en cuanto a la elaboración y el manejo de los agregados, así como en cuanto a la manufactura, transporte, colocación, compactación, ejecución de juntas, acabado y curado de las mezclas de concreto.
- Efectuar los ensayos necesarios para el control de la mezcla.
- Vigilar la regularidad en la producción de los agregados y de la mezcla de concreto, durante el periodo de ejecución de las obras.
- Verificar permanentemente el asentamiento y el contenido de aire de la mezcla, si este se ha especificado.
- Tomar cotidianamente muestras de la mezcla que se elabore, para determinar su resistencia.
- Tomar núcleos para determinar el espesor de la base, su densidad y su resistencia a la compresión.
- Realizar medidas para levantar perfiles y comprobar la regularidad de la superficie de la base terminada.

Los laboratorios en donde se realizan los ensayos necesarios para el control de la calidad de los materiales del concreto y el control de la calidad del concreto, deben ser empresas legalmente constituidas que cuenten con experiencia y/o trayectoria en ejecución de pruebas y ensayos de control de calidad de materiales, que puedan demostrar apropiadamente la competencia de su personal de laboratorio y cuyos informes de resulta-

dos informados contengan la aprobación y la autorización para su emisión, mediante la firma del responsable técnico facultado para ello. El laboratorio debe contar con todo el equipamiento principal y auxiliar necesario para el correcto desempeño de sus actividades y asegurar que estos cuenten con la exactitud y la precisión adecuadas para lograr resultados válidos. El laboratorio debe contar con un programa de calibración de sus equipos y se debe asegurar de que los resultados de la medición sean trazables al SI, mediante alguna de las siguientes alternativas:

- La calibración de los equipos proporcionados por un laboratorio de metrología acreditado por ONAC.
- La comparación directa o indirecta a patrones nacionales o internacionales que cuenten con unidades del SI.
- Los valores certificados de materiales de referencia (MRC) proporcionados por productores competentes con trazabilidad metrológica establecida al SI.

El constructor es el responsable de garantizar que todos los ensayos necesarios se realicen. Los informes de ensayos deben ser entregados rutinariamente al interventor, al profesional a cargo del diseño, a los proveedores de material y a la autoridad competente que verifique el cumplimiento de la calidad o que tome acciones correctivas.

Los orificios que dejen los núcleos para determinar el espesor de la base y otros controles a que haya lugar, deben ser rellenados por el constructor, sin costo alguno para INVÍAS, con una mezcla de iguales características que la empleada en la construcción de la base, la cual debe ser correctamente compactada, enrasada y curada.

505.5.1 Control de materiales

Rige lo establecido en el numeral 630.5.1 del artículo 630.

505.5.1.1 Calidad del cemento hidráulico

Rige lo establecido en el numeral 630.5.1.1 del artículo 630.

505.5.1.2 Calidad de las adiciones suplementarias

Rige lo establecido en el numeral 630.5.1.2 del artículo 630.

505.5.1.3 Calidad de los aditivos, de las adiciones complementarias y de los productos químicos de curado

El constructor debe presentar certificaciones periódicas de los fabricantes o de los proveedores de estos productos, que brinden garantía en cuanto a la calidad y a la conveniencia de su utilización, para la revisión y eventual autorización de uso por parte del interventor.

505.5.1.4 Calidad del agua

Rige lo establecido en el numeral 630.5.1.3 del artículo 630.

505.5.1.5 Calidad de los agregados

De cada fuente de agregados por utilizar en la producción de concreto y para cualquier volumen previsto, se deben tomar cuatro (4) muestras y se deben ejecutar los ensayos que permitan verificar el cumplimiento

de los requisitos establecidos en el numeral 505.2.1.3. También, se debe evaluar su reactividad, según las indicaciones del numeral 630.2.6.1 del artículo 630.

Los resultados de todas estas pruebas deben satisfacer las exigencias de los numerales anteriormente citados. Los agregados que no las cumplan, no pueden ser utilizados en la elaboración de la mezcla de concreto.

Durante la etapa de producción, el interventor debe examinar los acopios y ordenar el retiro de los agregados que, a simple vista, presenten restos vegetales, materia orgánica o tamaños superiores al máximo especificado. También ordena acopiar por separado aquellos que presenten alguna anomalía de aspecto (tal como distinta coloración), segregación, partículas alargadas o aplanadas o plasticidad, y vigila la altura de todos los acopios y el estado de sus elementos separadores.

Además, sea que el constructor elabore la mezcla o tenga un proveedor que se la suministre, se debe verificar la calidad de los agregados, mediante la realización de los ensayos que se relacionan en la Tabla 505 —5, con la frecuencia indicada en ella.

Los resultados de los ensayos deben satisfacer todos los requisitos establecidos en el presente artículo y lo definido en la fórmula de trabajo. En caso contrario, la mezcla elaborada con los agregados defectuosos debe ser rechazada y los tramos vaciados con el concreto cuestionado deben ser demolidos y construidos nuevamente, a expensas del constructor y hasta contar con la aprobación del interventor.

La curva granulométrica de cada ensayo individual se debe ajustar a la franja de tolerancia. Esta se construye a partir de la granulometría de diseño de la mezcla (fórmula de trabajo), con los límites fijados en la Tabla 505 — 3.

Tabla 505 — 5. Ensayos de verificación sobre los agregados para bases de concreto hidráulico

Característica	Norma de ensayo	Frecuencia
Composición (F)		
Granulometría	INV E-213	1 por jornada
Módulo de finura	INV E-213	1 por jornada
Dureza, agregado grueso (O)		
Desgaste en la máquina de Los Ángeles	INV E-218	1 por mes
Degradación por abrasión en el equipo Micro- Deval	INV E-238	1 por mes
Resistencia mecánica por el método del 10 % de finos: Seco y húmedo	INV E-224	1 por mes
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos	INV E-220	1 por mes
Reactividad de los agregados	Ver numeral 630.5.1.4 del artículo 630	Tabla 630 — 17

Característica	Norma de ensayo	Frecuencia
Limpieza (F)		
Impurezas en agregado grueso	INV E-237	1 por semana
Terrones de arcilla y partículas deleznables	INV E-211	1 por semana
Partículas livianas	INV E-221	1 al inicio del proyecto, 1 cada cambio de fuente y 1 cada 2,5 meses
Material que pasa el tamiz de 0,075 mm (nro. 200)	INV E-214	1 por semana
Contenido de materia orgánica (F)		
Color más oscuro permisible	INV E-212	1 por semana
Características químicas (O)		
Contenido de sulfatos, expresado como $SO_4^=$, máximo (%)	INV E-233	1 por semana
Absorción		
Absorción de agua, máximo (%)	INV E-222	1 por semana
Geometría de las partículas (F)		
Partículas fracturadas mecánicamente	INV E-227	1 por jornada
Partículas planas y alargadas	INV E-230	1 por semana

En el caso de que los valores obtenidos excedan la franja de tolerancia definida para la fórmula de trabajo, pero no se salgan de las franjas normativas, el proveedor o el constructor deben preparar en laboratorio una mezcla con la gradación defectuosa, que se somete a todas las pruebas de valoración descritas en el presente artículo. En el caso de que no cumpla todos los requisitos, el constructor debe demoler y retirar, a sus expensas, las losas cuestionadas y reponerlas, sin costo alguno para INVÍAS.

505.5.1.6 Calidad de los aditivos y de los productos químicos para curado

El constructor debe presentar certificaciones periódicas de los fabricantes o de los proveedores de estos productos, que garanticen la calidad y la conveniencia de su utilización, para la revisión y eventual autorización de uso por parte del interventor.

505.5.2 Control del concreto

De cada elemento de transporte a la obra, se debe controlar el aspecto del concreto y su temperatura. Cualquier concreto segregado cuya envuelta no sea homogénea es rechazado por el interventor, sin tener que recurrir a prueba alguna de laboratorio o de campo para tomar tal determinación.

505.5.2.1 Control de la dosificación

Rige lo establecido en el numeral 630.5.2.3 del artículo 630.

505.5.2.2 Control de la consistencia

Se debe controlar la consistencia de cada carga transportada, para lo cual se debe extraer una muestra en el momento de la colocación del concreto, para someterla al ensayo de asentamiento (INV E-404/NTC 396). El resultado obtenido se debe ajustar al establecido al definir la fórmula de trabajo, con las tolerancias que muestra la Tabla 505 — 6. Si el asentamiento se encuentra por fuera de los límites de tolerancia o por fuera del rango aceptado en la Tabla 505 — 4, se debe tomar una segunda muestra del mismo camión y se debe repetir el ensayo. Si este último se encuentra dentro de los límites y las tolerancias especificados, se debe aceptar el viaje. En caso contrario, se debe rechazar.

Tabla 505 — 6. Tolerancias en el asentamiento y en el contenido de aire respecto de los definidos en la fórmula de trabajo

Característica	Construcción	Tolerancia
Asentamiento (mm)	Formaleta deslizante	Ver Tabla 505 – 4
	Flota motorizada	
	Regla vibratoria	
	Rodillo vibratorio	
	Cimbra de rodillo	
	Fast track	
Contenido de aire (%), cuando esté especificado	Formaletas fijas	+ 1,8
	Formaletas deslizantes	+ 1,8

505.5.2.3 Control del contenido de aire

Si en el diseño de la mezcla se ha especificado un contenido de aire, se debe controlar según la norma de ensayo INV E-406/NTC 1032 en cada uno de los tres (3) primeros camiones que lleguen a la obra en la jornada de trabajo y en los tres (3) primeros después de cada interrupción, programada o no, durante el curso de dicha jornada. Los resultados se deben ajustar al valor establecido al definir la fórmula de trabajo, con las tolerancias que muestra la Tabla 505 — 6. Si el resultado de la muestra de algún camión se encuentra por fuera de los límites de tolerancia establecidos en la Tabla 505 – 6, se debe tomar una segunda muestra del mismo camión y se debe repetir el ensayo. Si este último se encuentra dentro de la tolerancia especificada, se debe aceptar el viaje. En caso contrario, se debe rechazar. Si se rechaza el concreto de los tres (3) camiones consecutivos por este motivo, se debe suspender la producción de la mezcla y la construcción de la base, hasta que se detecten y corrijan las causas de la anomalía.

505.5.2.4 Control de la densidad del concreto

Se debe controlar el peso unitario del concreto en estado fresco siguiendo la norma de ensayo INV E-405.

A los testigos extraídos de la base terminada se les debe determinar su densidad, según la norma de ensayo ASTM C642.

En principio, los resultados deben ser reportados, pero no se debe emplear como criterio para aceptación o el rechazo de la base construida, salvo que los documentos del proyecto o una especificación particular así lo indiquen y establezcan un criterio para su calificación. Sin embargo, si la densidad promedio de los núcleos de un lote es menor de noventa y siete por ciento (97 %) o algún núcleo presenta densidad menor de noventa y seis por ciento (96 %), con respecto a la densidad del concreto elaborado al definir la fórmula de trabajo, es indispensable que el constructor mejore el vibrado del concreto, de manera que los requisitos establecidos anteriormente se logren en las posteriores verificaciones. Si la situación persiste, el interventor debe ordenar la suspensión de la construcción del pavimento de concreto hasta que el constructor demuestre, mediante la ejecución de un nuevo tramo de prueba y su verificación, aprobado por el interventor, que puede colocar el concreto, dado que cumple tales requisitos.

En cualquier caso, la presencia de hormigueros en los núcleos hace obligatoria la demolición de las losas afectadas y su reconstrucción con otras que cumplan todos los requisitos de esta especificación.

505.5.2.5 Control de temperatura

Se debe controlar la temperatura del concreto en estado fresco, para cumplir la norma de ensayo ASTM C1064. Si la temperatura del concreto, medida en la entrega de este, no cumple los requisitos del numeral 505.4.6.12 del presente artículo, se debe realizar inmediatamente una medición adicional sobre una nueva muestra del mismo despacho. Si no se cumplen los requisitos de temperatura, el concreto no se puede usar en obra.

505.5.2.6 Control del módulo elástico del concreto

Sobre los núcleos cilíndricos extraídos de la capa base para el control de espesores, numeral 500.5.3.2 del artículo 500, se debe determinar el módulo de elasticidad, mediante el procedimiento descrito en la norma de ensayo INV E-424.

El valor promedio de cada lote debe ser reportado y se debe emplear, si corresponde, en la revisión de los diseños estructurales del pavimento.

505.5.2.7 Control de la resistencia del concreto

Rige lo establecido en el numeral 500.5.2.8 del artículo 500.

505.5.3 Control del curado

Todo vaciado de concreto que no sea correctamente curado, puede ser rechazado por el interventor. Si se trata de una superficie de contacto con vaciados subsecuentes de concreto, deficientemente curada, el interventor puede exigir la remoción de una capa hasta de cinco centímetros (5 cm) de espesor, por cuenta del constructor, y su consecuente reposición con una mezcla satisfactoria, correctamente curada.

Los especímenes curados en las mismas condiciones de la obra deben dar como mínimo el ochenta y cinco por ciento (85 %) de la resistencia de los curados en agua para control de calidad. El cumplimiento de este requisito es garantía de que se está realizando un curado efectivo en obra.

Solo para efectos de aceptación y rechazo de la capa base de concreto hidráulico, se debe medir la resistencia del concreto, tanto en especímenes de control de calidad de obra como en especímenes de control del desarrollo de resistencia del concreto ya instalado, mediante la disposición de cilindros de control de la calidad al pie del elemento y/o extracción y ensayo de núcleos (NTC 3658 extracción de núcleos). Lo anterior para determinar la efectividad de las labores de compactación y curado, si existe alguna incertidumbre con la estructura o con la resistencia en probetas.

505.5.4 Calidad del producto terminado

La capa terminada debe presentar una superficie uniforme y ajustarse a las rasantes y las pendientes establecidas en los documentos del proyecto o modificadas con autorización del interventor.

La distancia entre el eje del proyecto y el borde de la capa construida no puede ser menor que la indicada en los documentos del proyecto.

La cota de cualquier punto de la base curada no debe variar en más de cinco milímetros (5 mm) de la proyectada. De igual manera, no deben existir depresiones mayores a diez milímetros (10 mm), cuando se compruebe con una regla de tres metros (3 m), según la norma de ensayo INV E-793. La regla se debe colocar tanto paralela como perpendicularmente al eje de la vía, en los sitios que escoja al azar el interventor, los cuales no pueden estar afectados por cambios de pendiente. Las áreas donde las depresiones excedan el valor admisible deben ser delimitadas por el interventor y deben ser corregidas por el constructor, a sus expensas, mediante algún procedimiento aprobado por el interventor, que garantice que no se van a producir pérdidas de resistencia ni de espesor en el conjunto de la capa.

Además, se deben efectuar las siguientes verificaciones:

505.5.4.1 Espesor de la base

Durante la construcción de la base se deben nivelar el eje y los bordes de la base, cada veinte metros (20 m) a lo largo del eje, tanto sobre la superficie de soporte de esta, como en la superficie de la base de concreto hidráulico, después de su ejecución y curado. Estas verificaciones de nivel se deben realizar exactamente en los mismos puntos. Estas mediciones de niveles se deben usar como guía para delimitar zonas cuyo espesor, evaluado como se indica en los párrafos siguientes de este numeral, resulte deficiente, o para determinar la toma de núcleos adicionales cuando los resultados de la nivelación muestren que existen posibles deficiencias de espesor.

Así mismo, una vez retiradas las formaletas, se deben realizar las verificaciones de espesor en los costados de las losas.

La verificación de espesor para aceptación o rechazo se debe realizar por lotes. Se

deben usar los mismos lotes establecidos para la verificación de la resistencia, numeral 500.5.2.8 del artículo 500. Cada lote se debe subdividir en, al menos, tres sublotes de máximo trescientos cincuenta metros cuadrados (350 m^2) cada uno. De cada sublote se deben extraer dos (2) testigos cilíndricos o núcleos, mediante equipos provistos de brocas rotativas (norma de ensayo INV E-418/ NTC 3658). Los testigos se deben extraer luego de transcurridos quince días (15 d) desde la colocación del concreto. Los espesores de los núcleos se deben medir, según la norma de ensayo INV E-419.

Los agujeros dejados por los núcleos en la base se deben rellenar, a más tardar al día siguiente del corte, con un concreto apropiado de la misma calidad de la base o superior, que no se contraiga. Antes de su colocación, es necesario aplicar una resina en las paredes del agujero, según lo establecido en el numeral 630.2.5 del artículo 630.

Si el espesor promedio de los dos (2) testigos correspondientes a un sublote resulta inferior al espesor de diseño (e_d) en más de diez milímetros (10 mm), el constructor debe demoler, retirar y disponer escombros y reconstruir la base a sus expensas, de modo que cumpla todas las exigencias de la presente especificación. Igual procedimiento se sigue cuando el espesor de un (1) testigo resulte inferior en más de quince milímetros (15 mm) con respecto al espesor de diseño (e_d). El material producto de la demolición es de propiedad del constructor.

Se considera como espesor promedio del lote (em), el promedio de las alturas de los testigos extraídos de él, redondeado al milímetro (mm). Cuando corresponda la demolición de un sector por los motivos expuestos en el párrafo anterior, las alturas de sus testigos no se deben considerar en el cálculo del espesor promedio del lote (e_m).

Si el espesor promedio del lote (e_m) es inferior al espesor de diseño (e_d) en más de dos milímetros (2 mm) y hasta siete milímetros (7 mm), la base, en cuanto hace a su espesor, se debe aceptar con descuento por deficiencia de espesor. El descuento se debe aplicar al lote del cual se extrajeron los testigos, previa deducción de los sectores donde haya correspondido la demolición y la reconstrucción. El descuento (D), en tanto por uno, por aplicar en el pago por metro cúbico de base de concreto en el lote así afectado, se calcula con la expresión:

$$D = \left(1 - \frac{(e_m+2)^2}{e_d^{\,2}} \right) \quad [505.1]$$

Donde:

e_d, espesor de diseño, en milímetros (mm).

e_m, espesor promedio del lote, en milímetros (mm).

El factor de ajuste de precio por espesor (*FAE*) (menor o igual que la unidad), que se aplica al precio unitario del contrato para el pago de los lotes correspondientes al lote analizado, es el resultado de restar el descuento (*D*) de la unidad.

$$FAE = 1 - D \quad [505.2]$$

Cuando el espesor promedio del lote (e_m) sea inferior al espesor de diseño (e_d) en más de siete milímetros (7 mm), el constructor debe demoler, retirar y disponer escombros y

reconstruir la base, a sus expensas, de modo que cumpla todas las exigencias de la presente especificación. La base reconstruida se debe someter a las mismas valoraciones de calidad especificadas en este artículo, en cualquier tramo de base, para efectos de su aprobación o rechazo.

Si un lote califica para ser demolido, de acuerdo con el párrafo anterior, pero los resultados de alturas de núcleos y mediciones topográficas sugieren que la deficiencia no es generalizada, sino que está concentrada en algún sublote, la zona restante puede ser analizada nuevamente, tratándola como un lote. En este caso, puede ser necesario tomar núcleos adicionales para cumplir el mínimo de tres (3) sublotes dentro de este.

Todos los núcleos extraídos para la medida del espesor deben ser sometidos, sucesivamente, a ensayos de densidad, módulo de elasticidad y resistencia a la compresión.

505.5.4.2 Defectos a edades tempranas

Si se presentan fisuras tempranas, se debe realizar una revisión detallada de las mezclas utilizadas, de los asentamientos medidos, del manejo de las películas o del procedimiento de protección y curado, del tiempo de ejecución de los cortes, de la temperatura ambiente y del concreto y, en general, de todos los elementos que puedan haber incidido en la ocurrencia del fenómeno.

La base no debe presentar grietas. El interventor puede aceptar pequeñas fisuras de retracción plástica, de corta longitud y que de manera manifiesta no afecten más que de forma limitada a la superficie del pavimento, y exigir su sellado.

La resina polimérica debe cumplir lo establecido en el numeral 630.2.5 del artículo 630, y se debe aplicar de acuerdo con un procedimiento previamente aprobado por el interventor.

En todos los casos, el constructor debe presentar, previamente, un documento con las acciones correctivas propuestas, incluyendo materiales, dimensiones y procedimientos que pretende utilizar para la reparación del pavimento.

505.6 Medida

La unidad de medida de la base de concreto hidráulico debe ser el metro cúbico (m^3), aproximado a la décima (0,1), de concreto suministrado, colocado, compactado y terminado, debidamente aceptado por el interventor, de acuerdo con lo exigido en este artículo. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

El volumen se debe determinar multiplicando la longitud real medida a lo largo del eje del proyecto, por el ancho y el espesor mostrados en los documentos del proyecto. En aquellos lotes aceptados cuyo espesor promedio resulte inferior al de diseño, el volumen se debe determinar usando el espesor promedio del lote, en lugar del espesor mostrado en los documentos del proyecto. No se debe medir, con fines de pago, ningún volumen por fuera de estos límites.

505.7 Forma de pago

El pago se debe hacer al precio unitario del contrato, multiplicado por el factor de ajuste total (*FAT*). Este es el mismo *FAE*, definido anteriormente, por toda obra ejecutada de acuerdo con este artículo y aprobada por el interventor.

El *FAT*, se calcula para cada lote individual y tiene un valor máximo de la unidad (1).

$$FAT=FAE \quad [505.3]$$

El precio unitario debe cubrir todos los costos de adquisición, obtención de licencias ambientales, permisos y derechos de explotación o alquiler de las fuentes de materiales y el descapote y la preparación de las zonas por explotar. Debe cubrir, también, todos los costos de explotación de las fuentes de materiales. La selección, la trituración, el eventual lavado y la clasificación de los materiales pétreos; el suministro, el almacenamiento, los desperdicios, los cargues, los transportes, los descargues y la mezcla de todos los materiales constitutivos de la mezcla de concreto cuya fórmula de trabajo se haya aprobado, incluidos los aditivos; la obtención, el transporte, el suministro y la aplicación del agua requerida para el humedecimiento de la superficie de apoyo de la base; el costo de la definición de la fórmula de trabajo; el suministro, la colocación y el retiro de las formaletas fijas cuando ellas se utilicen; el suministro y la aplicación de los materiales de curado; el transporte del concreto al sitio de los trabajos, su colocación y vibrado; la ejecución de juntas en fresco o por aserrado; el acabado superficial y el curado requerido; las instalaciones provisionales; los costos de arreglo o construcción de las vías de acceso a las fuentes de materiales; la adecuación paisajística de las fuentes para recuperar las características hidrológicas superficiales al terminar su explotación; el tramo de prueba; la señalización preventiva de la vía y el ordenamiento del tránsito público durante la realización de las obras y durante el periodo de curado; la limpieza final del sitio de los trabajos al término satisfactorio de estos y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución de los trabajos especificados.

El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y utilidad del constructor.

La preparación de la superficie existente, salvo el humedecimiento, se considera incluida en el ítem referente a la capa a la cual corresponde dicha superficie y, por tanto, no hay lugar a pago separado por este concepto. Si dicho ítem no está incluido en el contrato, el constructor debe incluir el costo de la preparación de la superficie existente dentro del precio unitario de la base de concreto hidráulico.

505.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
505.1	Base de concreto hidráulico	Metro cúbico (m^3)

Pavimento de adoquines de concreto

Artículo 510 – 22

510.1 Descripción

Este artículo se refiere a la construcción de una capa de rodadura de adoquines de concreto para tránsito peatonal y vehicular sobre llanta neumática y cargas estáticas distribuidas. Aquí se especifican los procedimientos de colocación de una capa de arena, la colocación, la compactación y el confinamiento de adoquines de concreto y el sello de juntas, de acuerdo con los alineamientos indicados en los documentos del proyecto.

510.2 Materiales

510.2.1 Adoquines

Los adoquines de concreto deben cumplir todos los requisitos establecidos en la NTC 2017, junto con los requisitos de calidad que se presentan en la Tabla 510 — 1. Estos requisitos reemplazan los establecidos en la NTC 2017 para porcentaje máximo de absorción de agua y resistencia a la abrasión.

Cuando en los documentos del proyecto no se especifique las dimensiones de los adoquines, estos deben ser rectangulares biselados de veinte centímetros (20 cm) de largo, diez centímetros (10 cm) de ancho, incluyendo separadores y ocho centímetros (8 cm) de espesor.

Para los niveles de tránsito NT1, NT2 y NT3 (clasificación según el artículo 100, Ámbito de aplicación, términos y definiciones), y según la NTC 2017, el espesor mínimo puede ser de seis centímetros (6 cm). Para tránsito peatonal, se pueden emplear adoquines con espesores de cuatro centímetros (4 cm) como medida mínima. Sin embargo, se debe garantizar que no haya ningún tipo de tránsito vehicular que pueda deteriorar el pavimento. El interventor debe aprobar esta dimensión, de acuerdo con las características del proyecto.

Tabla 510 — 1. Requisitos de calidad para adoquines de concreto

Característica	Norma de ensayo INV	Requisito	
		Valor promedio de 5 elementos	Valor individual
Resistencia a la compresión a veintiocho días (28 d), mínimo (MPa)	E-426	55 MPa (Ver nota)	50 MPa (Ver nota)
Absorción, máximo (%)	E-427	5	7

Característica	Norma de ensayo INV	Requisito	
		Valor promedio de 5 elementos	Valor individual
Resistencia a la abrasión mediante chorro de arena: - Coeficiente de pérdida de volumen por abrasión, máximo (cm^3/cm^2) - Pérdida promedio de espesor, máximo (mm)	E-425	15/50 3	- -

Nota: Requisito exigible sólo para vías NT2 y NT3

510.2.2 Arena para la capa de soporte

La arena utilizada para la capa de soporte de los adoquines debe ser de origen aluvial, sin trituración, libre de polvo, materia orgánica y de cualquier sustancia contaminante. Esta debe ser aprobada por el interventor y debe, además, satisfacer los siguientes requisitos granulométricos y de calidad:

510.2.2.1 Granulometría

La arena por emplear se debe ajustar a la gradación que se indica a la Tabla 510 — 2:

Tabla 510 — 2. Granulometría de la arena para soporte de los adoquines

Tipo de gradación	Tamiz (mm / U.S. *Standard*)							
	9,5	4,75	2,36	1,18	0,600	0,300	0,150	0,075
	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 8	Nro. 16	Nro. 30	Nro. 50	Nro. 100	Nro. 200
	Pasa tamiz (%)							
Única	100	95 – 100	80 – 100	50 – 85	25 – 60	5 – 30	0 – 10	0 – 1

510.2.2.2 Calidad

La arena para la capa de soporte de los adoquines debe cumplir los requisitos de calidad especificados en la Tabla 510 — 3.

510.2.3 Arena para el sello

La arena utilizada para el sello de las juntas entre los adoquines debe ser de origen aluvial, sin trituración, libre de polvo, materia orgánica y de cualquier sustancia contaminante. Esta debe ser aprobada por el interventor y además debe cumplir los rangos granulométricos establecidos en la Tabla 510 — 4.

En cuanto a calidad, la arena para sello debe cumplir los requisitos establecidos en la Tabla 510 — 3:

Tabla 510 — 3. Requisitos de calidad de la arena para la capa de soporte y para el sello de juntas de los adoquines

Característica	Norma de ensayo INV	Requisito
Dureza (O)		
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%).	E-245	8
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de sodio, máximo (%).	E-220	7
Geometría de las partículas (F)		
Partículas subangulares y subredondeadas combinadas, mínimo (%).	E-102	60
Limpieza (F)		
Índice de plasticidad.	E-125 y E-126	NP
Equivalente de arena, mínimo (%).	E-133	60

Tabla 510 – 4. Granulometría de la arena para el sellado de juntas

Tipo de gradación	Tamiz (mm / U.S. *Standard*)					
	2,36	1,18	0,600	0,300	0,150	0,075
	Nro. 8	Nro. 16	Nro. 30	Nro. 50	Nro. 100	Nro. 200
	Pasa tamiz (%)					
Única	100	90 – 100	60 – 90	30 – 60	5 – 30	0 – 15

510.2.4 Confinamiento y drenaje

Para evitar el daño de la capa de rodadura, el pavimento debe contar con un confinamiento tanto externo (elementos que rodean el pavimento) como interno (elementos que rodean las estructuras que se encuentran dentro del pavimento), para impedir su desplazamiento a causa del empuje del tránsito vehicular. Estos elementos de confinamiento deben ser construidos antes de la colocación de la arena de soporte y los adoquines.

510.2.4.1 Confinamiento externo

El confinamiento externo para un pavimento de adoquines en concreto debe estar conformado por bordillos o concreto fundido en sitio. Estos deben cumplir las especificaciones detalladas en el artículo 672, Bordillos en concreto, para garantizar buena capacidad mecánica y la estabilidad de la estructura.

Cuando se requiera el empalme de un pavimento de adoquines con un pavimento de concreto, asfalto o sin capa de rodadura, que presenten bordes irregulares o fracturados, se deben construir bordillos en concreto, para el correcto confinamiento y para marcar la transición entre estructuras.

El sistema de confinamiento debe rodear completamente el área pavimentada y debe penetrar, por lo menos, quince centímetros

(15 cm) en la capa de base que se encuentre bajo la capa de arena y su nivel superior debe cubrir, como mínimo, la mitad del espesor del adoquín, después de compactado.

510.2.4.1.1 Drenaje de confinamiento externo

Para evitar la acumulación de agua y el deterioro de la base o la subbase, la capa de arena de soporte se debe drenar, por medio de la construcción de un sistema que conduzca el agua por fuera de la estructura de pavimento, a través de tubos verticales. Se recomienda que el diámetro sea de al menos dos coma cincuenta y cuatro centímetros (2,54 cm) (1 pulgada). Los drenajes se deben ubicar donde se prevea concentración de aguas. Este debe atravesar la estructura desde la base hasta la parte baja de la arena de capa de soporte y se deben llenar de un material granular de igual tamaño. La entrada del sistema de drenaje debe ser cubierto con un parche de geotextil no tejido para evitar la migración de la arena.

De manera alternativa, se pueden utilizar drenajes horizontales que atraviesen el confinamiento de uno coma veintisiete centímetros (1,27 cm) (1/2 pulgada) de diámetro, ubicados en la parte inferior de la capa de soporte, con el objetivo de evacuar el agua del pavimento. De igual manera, se debe cubrir la entrada del tubo con un parche de geotextil no tejido, para evitar la migración de la arena. Cualquier diseño propuesto se debe llevar a evaluación y se debe comprobar su eficiencia. Para la implementación, el interventor debe aprobar el sistema.

510.2.4.2 Confinamiento interno

Cuando existan estructuras dentro del pavimento como sumideros, cámaras de inspección o cualquiera que interfiera con una sección continua de la capa de rodadura de adoquines de concreto, se debe construir un recubrimiento de concreto (prefabricado o vaciado en obra) alrededor de estas estructuras. Se debe colocar confinamiento transversal en el sentido del flujo (peatonal o vehicular) cada cierta distancia. El interventor debe aprobar esta distancia.

510.2.4.2.1 Drenaje de confinamiento interno

El confinamiento interno debe contar con drenajes horizontales que atraviesen el confinamiento, de uno coma veintisiete centímetros (1,27 cm) (1/2 pulgada) de diámetro y alineados con la parte inferior de la capa de arena de soporte cada cuarenta centímetros (40 cm). Un parche de geotextil no tejido debe cubrir la entrada del tubo, para evitar la migración de la arena y para garantizar un flujo eficiente del agua a través de la estructura, evitando así el estancamiento del agua. Se puede usar de otro sistema para drenar, por medio del confinamiento interno. Este se debe evaluar y se debe comprobar su eficiencia. Para su implementación, el interventor debe aprobar el sistema.

510.2.5 Drenaje subterráneo

Para evitar acumulaciones de agua y el deterioro de la base o subbase, se pueden implementar geotextiles que permitan la impermeabilización entre la capa de arena de soporte y la capa base de la estructura, de manera que se permita dirigir, de manera más eficiente, el agua hacia los drenajes en el confinamiento interno y externo. El interventor debe aprobar este geotextil.

510.2.6 Drenaje superficial

Para evacuar el agua superficial, reducir su penetración por las juntas y conducirla hacia a las estructuras de drenaje, el pavimento debe contar con las pendientes y los mecanismos de recolección adecuados. El constructor debe proponer este sistema de drenaje, que, además debe cumplir la normativa correspondiente para cada estructura de drenaje escogida y pendientes para un correcto bombeo.

510.3 Equipo

El equipo necesario para la construcción de una capa de rodadura de adoquines en concreto consiste en herramientas para el transporte ordenado de los adoquines que impidan la alteración de la calidad de las piezas, equipos de corte de adoquines, vehículos para el trasporte de la arena, una vibrocompactadora y herramientas manuales como rieles, reglas, enrasadores, palas, llanas, escobas, etc. La vibrocompactadora debe ser de placa con un área entre cero coma veinte y cero coma cincuenta metros cuadrados (0,20 m^2 – 0,50 m^2). No se recomienda utilizar placas más grandes, ya que pueden llegar a fisurar los adoquines, especialmente los adoquines de seis centímetros (6 cm) de espesor.

Para la instalación se pueden utilizar, también, equipos mecánicos adecuados para este propósito. Se debe demostrar su correcto funcionamiento, antes de su uso en obra y el interventor los debe aprobar.

510.4 Ejecución de los trabajos

510.4.1 Preparación de la superficie existente

La capa de arena de soporte de los adoquines no se debe extender hasta que se compruebe que la superficie sobre la cual se va a colocar tenga la densidad apropiada, las cotas indicadas en los documentos del proyecto y sea aprobada por el interventor. Todas las irregularidades que excedan los límites de aceptación (artículo 330, Base granular, cuando se trate de bases granulares; artículo 340, Base estabilizada con emulsión asfáltica, cuando se trate de bases estabilizadas con emulsión asfáltica; y artículo 350, Materiales granulares tratados con cemento como capa estructural, cuando la base es tratada con cemento), se deben corregir de acuerdo con lo establecido en cada una de ellas, hasta contar con la aprobación del interventor.

510.4.2 Colocación y nivelación de la capa de arena de soporte

La arena se debe colocar con una humedad de seis más o menos dos por ciento (6 % ± 2 %) y en un espesor uniforme tal que, una vez compactado el pavimento, la capa tenga un espesor entre treinta milímetros (30 mm) y cuarenta milímetros (40 mm). No se debe colocar en condiciones de lluvia o fundados temores de que esta ocurra, para evitar su saturación. En caso de que lo anterior suceda, se debe retirar y se debe homogenizar con arena más seca, para alcanzar la humedad requerida.

Para la colocación y la nivelación de la capa de arena de soporte, se debe hacer uso de tres (3) reglas totalmente rectas, de las cuales

dos (2) deben servir como guías totalmente paralelas que cubran el ancho del pavimento y la tercera como niveladora. Se debe regar suficiente arena tal que, al pasar la regla niveladora, esta pueda ser arrastrada, obteniendo así una superficie constante y uniforme. Esta capa se debe extender coordinadamente con la colocación de los adoquines, de manera que ella no quede expuesta al término de la jornada de trabajo.

Si la arena ya colocada sufre algún tipo de compactación antes de colocar los adoquines, se debe someter a la acción repetida de un rastrillo para devolverla a su carácter suelto y se debe enrasar de nuevo.

510.4.3 Colocación de los adoquines

Para iniciar la colocación de los adoquines se debe verificar que los confinamientos cumplan lo indicado en el numeral 510.2.4. Se deben colocar directamente sobre la capa de arena nivelada, al tope de unos con otros, de manera que generen juntas que no excedan tres milímetros (3 mm).

Los adoquines no se deben nivelar individualmente, pero sí se pueden ajustar horizontalmente para conservar su alineamiento.

Para zonas en pendiente, la colocación de los adoquines se debe hacer preferiblemente de abajo hacia arriba.

La colocación debe seguir un patrón uniforme, el cual se debe controlar con hilos, para asegurar su alineamiento transversal y longitudinal.

Su instalación se debe hacer según un patrón de colocación y un alineamiento escogido a juicio del constructor, controlado con hilos para asegurar tanto su alineamiento transversal como longitudinal. El patrón de colocación que finalmente se proponga debe contar con la aprobación del interventor. Si estos no son definidos, se pueden usar las siguientes guías para su definición en obra:

510.4.3.1 Adoquines rectangulares de relación largo/ancho de 2/1

El patrón de colocación debe ser preferiblemente de espina de pescado, dispuesto en cualquier ángulo sobre la superficie, patrón que se debe seguir de manera continua, sin necesidad de alterar su rumbo al doblar esquinas o seguir trazados curvos.

Si los adoquines se colocan en hileras, deben cambiar de orientación, para respetar la perpendicularidad a la dirección preferencial de circulación.

510.4.3.2 Adoquines de otras formas

Los adoquines de otras formas se deben tratar de colocar en hileras perpendiculares a la dirección preferencial de circulación, pero sin cambiar el sentido al doblar las esquinas o seguir trazados curvos.

510.4.4 Ajustes

Una vez colocados los adoquines que quepan enteros dentro de la zona de trabajo, se deben colocar ajustes en las áreas que hayan quedado libres contra las estructuras de drenaje o de confinamiento.

Estos ajustes se deben hacer, preferiblemente, partiendo adoquines en piezas con la forma necesaria. Los ajustes cuya área sea inferior

a la cuarta parte del tamaño de un adoquín, se deben hacer después de la compactación final, empleando un mortero compuesto, en volumen, por una (1) parte de cemento, cuatro (4) partes de arena y una cantidad limitada de agua.

510.4.5 Compactación inicial

Una vez terminados los ajustes con piezas partidas, se debe proceder a la compactación inicial de la capa de adoquines, mediante la pasada de una vibrocompactadora de placa, cuando menos dos (2) veces en direcciones perpendiculares.

El área adoquinada se debe compactar hasta un metro (1 m) del borde del avance de la obra o de cualquier borde no confinado. Al terminar la jornada de trabajo, los adoquines deben haber recibido, al menos, la compactación inicial, excepto en la franja de un metro (1 m) recién descrita.

Todos los adoquines que resulten partidos durante este proceso deben ser extraídos y reemplazados por el constructor, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS).

510.4.6 Sello de juntas y compactación final

Inmediatamente después de la compactación inicial, se debe aplicar la arena de sello sobre la superficie, en una cantidad equivalente a una capa de tres milímetros (3 mm) de espesor y se debe barrer repetidamente y en distintas direcciones, con una escoba o cepillo de cerdas largas y duras. En el momento de su aplicación, la arena se debe encontrar lo suficientemente seca para penetrar con facilidad por las juntas.

Simultáneamente, se debe aplicar la compactación final, durante la cual cada punto de la capa de rodadura debe recibir al menos cuatro (4) pasadas de la vibrocompactadora de placa, preferiblemente desde distintas direcciones. Se debe verificar que no se acumule arena sobre los adoquines y que no se formen protuberancias que provoquen una mala compactación por el hundimiento de tales adoquines.

Si el interventor lo considera conveniente, la compactación se debe completar con el paso de un rodillo neumático o uno liso de rodillos pequeños, con el fin de reducir las deformaciones posteriores del pavimento.

510.4.7 Tramo de prueba

En caso de ser requerido por el interventor, antes de la construcción de la capa de rodadura de adoquines de concreto y una vez propuestos por parte del constructor los sistemas de colocación de la capa de arena de soporte, el patrón de colocación y alineamiento, el sistema de vibración inicial y final, y el sellado de juntas, se puede realizar un tramo de prueba de dos o tres metros (2 m o 3 m) de extensión, con el fin de comprobar estos parámetros, además de verificar los requerimientos mínimos de calidad de los adoquines, la arena de soporte y la arena de sello descritos en las Tablas 510 — 1 y 510 — 3. Se debe comprobar también la eficiencia de los confinamientos, tanto internos como externos y el sistema de drenaje escogido.

510.4.8 Apertura al tránsito

No se debe permitir el tránsito automotor, hasta que el pavimento haya recibido la

compactación final y esté completamente confinado.

510.4.9 Limitaciones en la ejecución

Ninguna de las operaciones que forman parte de la construcción de una capa de rodadura de adoquines de concreto se deben realizar en momento de lluvia o fundados temores de que esta ocurra. Si la capa de arena que sirve de apoyo a los adoquines ha soportado lluvia o agua de escorrentía, se debe levantar y reemplazar por arena suelta de humedad baja y uniforme.

Si se tenían adoquines colocados sin compactar ni sellar, el interventor debe investigar si el agua ha producido erosión de la arena por debajo de las juntas y, en caso de que ello haya sucedido, el constructor debe retirar los adoquines y la capa de arena y repetir el trabajo, sin costo adicional para INVÍAS.

Los trabajos de construcción de una capa de rodadura de adoquines de concreto se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que sea aprobado por este. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, los cuales deben operar únicamente durante las horas de luz solar.

510.4.10 Manejo ambiental

En adición a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las labores para la construcción de pavimentos de adoquines se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en los estudios o las evaluaciones ambientales del proyecto y las normas y disposiciones vigentes sobre la conservación del ambiente y los recursos naturales.

Al término de los trabajos de construcción del pavimento de adoquines, el constructor debe limpiar la superficie y retirar todo material sobrante o desperdicio y transportarlo y depositarlo apropiadamente en un lugar autorizado por las autoridades ambientales de la jurisdicción respectiva.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades deben estar incluidas en los costos del proyecto, por tanto, no deben ser objeto de reconocimiento directo en el contrato.

510.4.11 Conservación

Durante un lapso de al menos dos (2) semanas, se debe dejar un sobrante de arena esparcido sobre el pavimento terminado, de manera que el tránsito y las posibles lluvias ayuden a acomodar la arena en las juntas.

No se permite lavar el pavimento con chorro de agua a presión, ni recién terminada su construcción, ni posteriormente.

510.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

510.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos, se deben efectuar los siguientes controles principales.

- Verificar el estado y el funcionamiento de todo el equipo de construcción.
- Comprobar que los materiales cumplan los requisitos de calidad exigidos por la presente especificación.
- Supervisar la correcta aplicación del método de trabajo adoptado y aprobado.
- Llevar a cabo medidas para levantar perfiles y comprobar la uniformidad de la superficie.

510.5.2 Condiciones específicas para el recibo y las tolerancias

510.5.2.1 Calidad de la arena

De cada procedencia de las arenas empleadas en la capa de soporte y en el sello y para cualquier volumen previsto, el interventor debe tomar cuatro (4) muestras y a cada fracción de ellas se le deben realizar los ensayos indicados en la Tabla 510 — 3.

Durante la etapa de producción, se deben realizar las verificaciones periódicas de calidad indicadas en la Tabla 510 — 5.

Además, se deben adelantar las pruebas adicionales que le permitan al interventor tener certeza de la calidad de las arenas utilizadas, de acuerdo con las exigencias de la presente especificación.

Los resultados de estas pruebas deben satisfacer los requisitos indicados en este artículo o, de lo contrario, el interventor debe rechazar aquellos materiales que resulten inadecuados.

Tabla 510 — 5. Verificaciones periódicas sobre las arenas de soporte y sello

Característica	Norma de ensayo INV	Frecuencia
Dureza (O)		
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval	E-245	1 por mes
Composición (F)		
Granulometría	E-213	1 por jornada
Geometría de las partículas (F)		
Partículas subangulares y subredondeadas combinadas	E-102	1 por jornada
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de sodio	E-220	1 por mes
Limpieza (F)		
Índice de Plasticidad	E-125 y E-126	1 por jornada
Equivalente de arena	E-133	1 por semana

510.5.2.2 Calidad de los adoquines

Los adoquines deben cumplir las condiciones generales (requisitos físicos, geométricos, apariencia), que se establecen en la NTC 2017 y los requisitos de calidad (resistencia a la compresión, la absorción y la resistencia a la abrasión) indicados en la Tabla 510 — 1.

El constructor debe entregar la certificación expedida por el fabricante, donde conste el cumplimiento de los requisitos mencionados en el párrafo anterior. No se debe aceptar el uso de adoquines que no cuenten con esta certificación.

La certificación no evita la ejecución de ensayos de comprobación por parte del interventor, ni implica necesariamente la aceptación de la entrega. Para la comprobación de la calidad de los adoquines, se deben seguir los lineamientos de la NTC 2017, en cuanto al muestreo y a la frecuencia de los ensayos.

510.5.2.3 Calidad del producto terminado

La capa de rodadura terminada debe presentar una superficie uniforme y ajustarse a las rasantes y pendientes establecidas. La distancia entre el eje del proyecto y el borde de la capa construida no puede ser menor que la indicada en los documentos del proyecto.

La cota de cualquier punto de la capa de rodadura terminada no debe variar en más de diez milímetros (10 mm) de la proyectada.

Además, la superficie de la capa de rodadura terminada no puede presentar irregularidades mayores de diez milímetros (10 mm), cuando se compruebe con una regla de tres metros (3 m), según la norma de ensayo INV E-793. La regla se debe colocar tanto paralela como perpendicularmente al eje de la vía, en los sitios que escoja al azar el interventor, los cuales no pueden estar afectados por cambios de pendiente.

510.6 Medida

La unidad de medida de una capa de adoquines de concreto debe ser el metro cuadrado (m^2), aproximado al metro cuadrado entero, de pavimento colocado y terminado, de acuerdo con esta especificación y aprobado por el interventor. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

El área se debe determinar multiplicando la longitud real, medida a lo largo del eje del proyecto por el ancho especificado en los documentos del proyecto. No se debe incluir en la medida ningún área por fuera de estos límites.

510.7 Forma de pago

El pago se debe hacer al respectivo precio unitario del contrato y por toda obra ejecutada, de acuerdo con esta especificación y aprobada por el interventor.

El precio unitario debe cubrir todos los costos de adquisición, obtención de permisos y derechos de explotación o alquiler de las fuentes de materiales, así como los costos de explotación, clasificación, cargues, transportes, descargues, desperdicios, almacenamiento y colocación de la arena conforme lo exige esta especificación.

El precio unitario también debe cubrir todos los costos de adquisición de los materiales para elaborar los adoquines, su fabricación, cargues, transportes, descargues, desperdicios, almacenamiento, colocación, elaboración de ajustes y compactación, así como las instalaciones provisionales, los costos de arreglo o construcción de las vías de acceso a las fuentes de materiales; la señalización de la vía y el ordenamiento del tránsito durante el período de realización de las obras y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución de los trabajos especificados.

La preparación de la superficie existente se considera incluida en el ítem referente a la ejecución de la capa a la cual corresponde dicha superficie y, por tanto, no hay lugar a pago separado por dicho concepto. Si dicho ítem no está incluido en el contrato, el constructor debe incluir el costo de la preparación de la superficie existente dentro del precio unitario de la capa de rodadura de adoquines de concreto.

El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

Las obras de confinamiento de la capa de rodadura de adoquines se deben ejecutar y pagar, según el ítem correspondiente contemplado en los documentos del proyecto. En el caso de bordillos de concreto, se aplica lo establecido en el artículo 672, Bordillos en concreto.

510.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
510.1	Pavimento de adoquines de concreto	Metro cuadrado (m^2)

510.9 Glosario

510.9.1 Pavimentos de adoquines de concreto

Pavimento de uso peatonal o vehicular cuya capa de rodadura está conformada por adoquines de concreto, una capa de arena como capa de soporte sobre la cual van colocados los mismos y un sello de arena en las juntas entre adoquines, ver Figura 510 — 1.

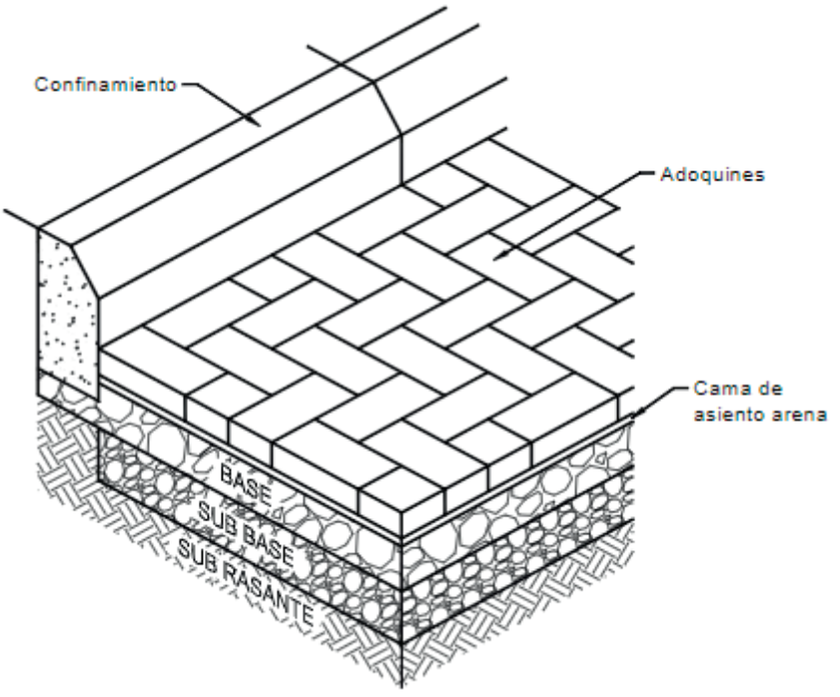


Figura 510 — 1. Estructura de un pavimento de adoquines en concreto

Fuente: Tomado de la NTC 6008.

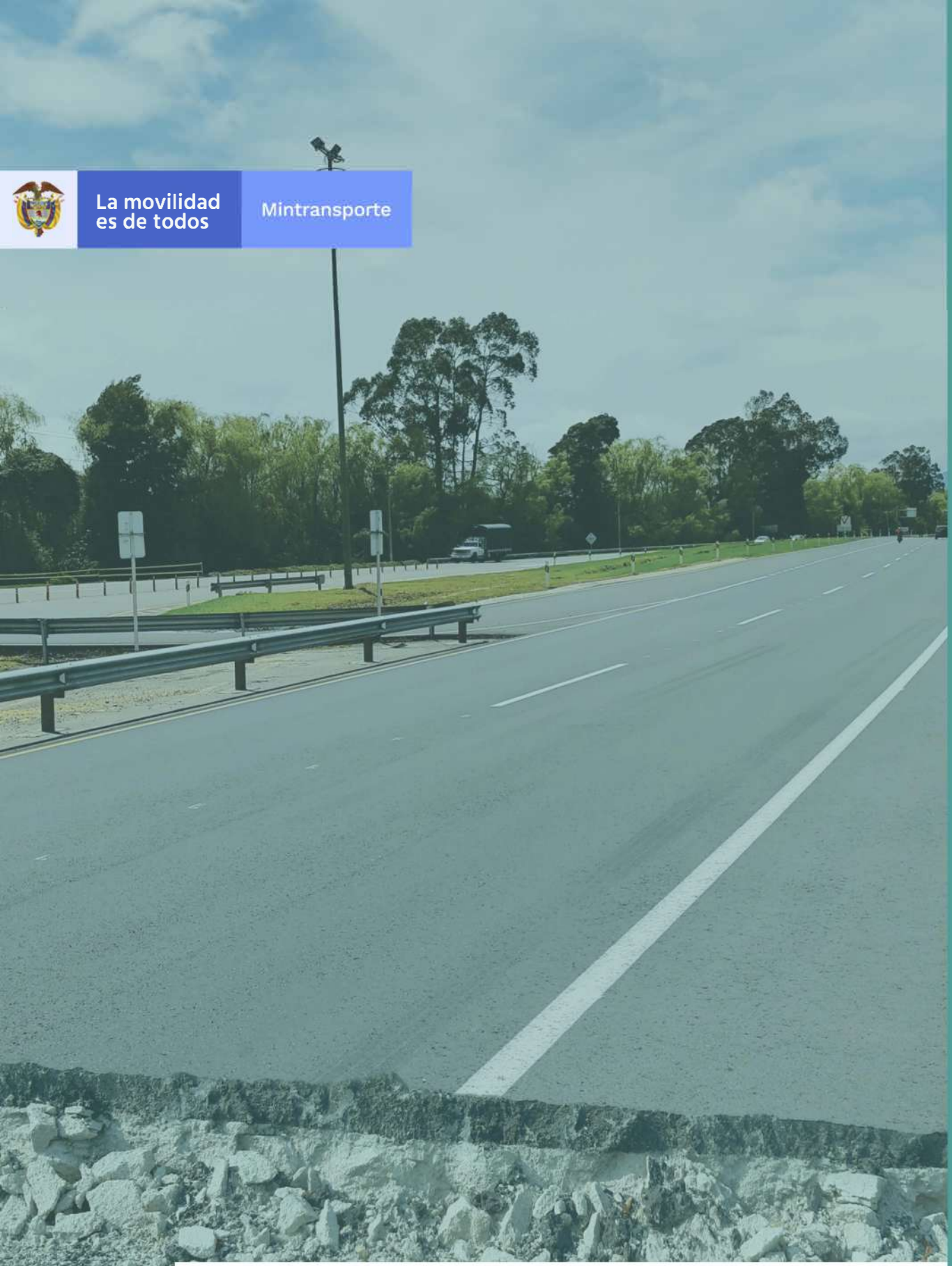
510.9.2 Tipos de adoquines en concreto

510.9.2.1 Adoquines convencionales de concreto

Elemento macizo de concreto, prefabricado, prismático recto, cuyas bases son poligonales que, en conjunto, permiten conformar una superficie utilizada como capa de rodadura vehicular o peatonal, regidos por la NTC 2017.

510.9.2.2 Adoquines especiales de concreto

Elementos definidos entre el cliente y el productor, en los cuales su aspecto dimensional, forma, acabados, texturas y condiciones especiales de funcionalidad son diferentes a los adoquines convencionales, que, al igual, deben cumplir los requisitos mínimos exigidos en esta especificación.



La movilidad es de todos

Mintransporte

UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

INVIAS
INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

La movilidad es de todos

Mintransporte

CAPÍTULO 6

Especificaciones generales de construcción de carreteras 2022

UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

INVIAS
INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

6

Estructuras y drenajes

Excavaciones varias

Artículo 600 – 22

600.1 Descripción

600.1.1 Generalidades

Este trabajo consiste en la excavación necesaria para las fundaciones de las estructuras a las cuales se refiere el presente artículo, de acuerdo con los alineamientos, pendientes y cotas indicadas en los documentos del proyecto. Comprende, además, la construcción de sistemas de apuntalamientos y entibados, encofrados, ataguías y cajones y el sistema de drenaje que sea necesario para la ejecución de los trabajos de excavación; así como el retiro posterior de encofrados y ataguías. Incluye también, la remoción, el transporte, la disposición de todo material generado por las actividades de excavación y limpieza final que sea necesaria para la terminación del trabajo.

No se incluyen en este artículo las excavaciones producidas para cualquiera de las estructuras consideradas en artículos específicos dentro de las presentes especificaciones, salvo que las mismas hagan referencia a este.

600.1.2 Clasificación

600.1.2.1 Excavaciones varias sin clasificar

Se refiere a los trabajos de excavaciones varias de cualquier material, sin importar su naturaleza ni la presencia de la tabla de agua o nivel freático.

600.1.2.2 Excavaciones varias clasificadas

600.1.2.2.1 Excavaciones varias en roca en seco

Comprenden la excavación del mismo tipo de material descrito en el numeral 210.1.3.2.1. del artículo 210, Excavación de la explanación, canales y préstamos.

600.1.2.2.2 Excavaciones varias en roca bajo agua

Incluyen toda excavación cubierta por el numeral anterior, donde la presencia permanente de agua sobre el nivel de la excavación dificulte su ejecución.

600.1.2.2.3 Excavaciones varias en material común en seco

Abarcan la excavación, en seco, de materiales no cubiertos por el numeral 600.1.2.2.1.

600.1.2.2.4 Excavaciones varias en material común bajo agua.

Corresponden a toda excavación de los materiales considerados en el numeral anterior, pero donde la presencia permanente de agua

sobre el nivel de la excavación dificulte su ejecución.

600.2 Materiales

Los materiales provenientes de las excavaciones varias que sean adecuados según lo dispuesto por las presentes especificaciones, y necesarios para la ejecución de rellenos deben ser almacenados por el constructor para aprovecharlos en su construcción, previa aprobación del interventor. Dichos materiales no se pueden desechar ni retirar de la zona de la obra para fines distintos a los definidos en los documentos del contrato, sin la aprobación previa del interventor. De igual manera, el constructor debe garantizar que el sitio de acopio de estos materiales no coincida con sitios de concentración de escorrentía, para evitar con esto pérdidas de material por lavado.

Los materiales de las excavaciones varias se consideran no utilizables para su uso en actividades propias del objeto contractual, si no cumplen con uno o más requisitos de los definidos en las presentes especificaciones. Estos materiales deben ser excavados, retirados y dispuestos en zonas destinadas para este fin, las cuales deben haber sido aprobadas por la autoridad ambiental competente, de acuerdo con lo establecido en los documentos del proyecto, y a los procedimientos aceptados por el interventor.

Las excavaciones deben ser restauradas con materiales que cumplan con los parámetros establecidos en el artículo 610, Rellenos para estructuras.

600.3 Equipo

El constructor debe proponer, para consideración del interventor, los equipos más apropiados para las operaciones a realizar, de acuerdo con el tipo de material por excavar y su profundidad, los cuales no deben producir daños innecesarios en vecindades o en la zona de los trabajos, y deben asegurar el avance físico según el programa de trabajo, permitiendo el correcto desarrollo de las etapas constructivas posteriores.

600.4 Ejecución de los trabajos

600.4.1 Generalidades

El constructor debe notificar al interventor, con suficiente antelación al comienzo de cualquier excavación, para que se efectúen todas las medidas y levantamientos topográficos necesarios y se fije la localización de la estructura en el terreno original, según el tipo de estructura de que se trate.

Antes de comenzar los trabajos de excavación, se deben haber completado las actividades previas de desmonte y limpieza, de conformidad con lo que resulte aplicable de lo especificado en el artículo 200, Desmonte y limpieza, de las presentes especificaciones.

Si dentro de los límites de la excavación se encuentran estructuras, cimientos antiguos u otros obstáculos no previstos en los documentos del proyecto, y que imposibiliten la construcción de la estructura objeto de la actividad, deben ser retirados por el constructor.

Para definir si existe o no afectación a la estructura a ser construida, la interventoría debe sustentar su decisión en un concepto técnico emitido por el diseñador de la misma.

En los casos en que la interventoría lo autorice, esta debe clasificar y medir estos materiales según lo establecido para tal fin en el numeral 201.6 del artículo 201, Demolición y remoción, para proceder con su pago.

Si la interventoría no autoriza su pago, o si se decide que las obstrucciones no generan afectación a la estructura a ser construida, sino solo a la implementación de los procedimientos constructivos desarrollados por el constructor, los costos de la actividad deben ser asumidos integralmente por el constructor.

Siempre que los trabajos lo requieran, y previa autorización emitida por la autoridad ambiental competente, las excavaciones varias deben comprender labores previas, tales como el desvío de corrientes de agua o la construcción de cauces provisionales, u otras que contemplen los documentos del proyecto.

Los bordes exteriores de las excavaciones deben ser delimitados perfectamente mediante estacas, jalones e hilos de demarcación de sus contornos. En las proximidades de toda excavación destinada a la cimentación de estructuras o a la instalación de alcantarillas, se debe colocar al menos una (1) estaca de referencia altimétrica. Es responsabilidad del constructor la conservación de la estaca de referencia altimétrica hasta la recepción de los trabajos; el interventor puede ordenar la paralización de las excavaciones que no cuenten con estas referencias.

Las excavaciones se deben adelantar de acuerdo con los documentos del proyecto. Las cotas de fundación de zapatas indicadas en ellos se consideran aproximadas y, por lo tanto, el interventor, previa justificación soportada en concepto técnico emitido por el diseñador de la estructura, puede ordenar que sean efectuados todos los cambios necesarios en las dimensiones de la excavación, para obtener una cimentación estable, así como también para garantizar la seguridad de las personas y equipos involucrados en la actividad.

El constructor debe tomar todas las precauciones para minimizar la alteración del suelo contiguo a la excavación.

El interventor puede ordenar, en el evento en que el suelo encontrado a la profundidad de cimentación definida en los documentos del proyecto sea inapropiado, una excavación a mayor profundidad (a efectos de obtener un material de fundación apropiado), o alternativamente, una excavación a mayor profundidad y restitución hasta la cota de cimentación con un material que cumpla con los requisitos establecidos en los numerales 220.2.2.1 o 220.2.2.2 del artículo 220, Terraplenes.

En el primer caso, el diseñador debe revisar los diseños de la estructura y efectuar las modificaciones que correspondan. En el segundo caso, el material de relleno es tratado conforme con lo establecido en el artículo 610 de las presentes especificaciones.

En ambos casos, el interventor debe definir las cotas hasta las cuales se incrementa la profundidad de la excavación.

Para las excavaciones en roca mediante procedimientos detonantes, se debe cumplir lo establecido en el numeral 210.4.1.5 del artículo 210, de las presentes especificaciones.
Para las excavaciones en roca mediante procedimientos no detonantes, se debe contar con la aprobación previa del interventor, para lo cual se requiere, mínimo, la siguiente información:

- Descripción del procedimiento de la actividad.
- Criterios de diseño para la selección de equipos, insumos, distribución de puntos de intervención y profundidad de intervención.
- Fecha de inicio y duración de las actividades propuestas.
- Fichas técnicas y certificados de calidad de los productos utilizados para el procedimiento. En caso de que no existan certificaciones de calidad emitidas por un organismo nacional, se deben aceptar, a discreción del interventor, las provenientes de organismos extranjeros.
- Medidas de seguridad para la obra y terceros.

Toda excavación que presente peligro de derrumbes que afecten el ritmo de los trabajos, la seguridad del personal o la estabilidad de las obras o propiedades adyacentes, debe ser protegida mediante técnicas aprobadas previamente por el interventor, siendo responsabilidad del constructor la elaboración y presentación de los soportes técnicos necesarios. Los sistemas de protección se deben retirar, en el caso de ser necesario, antes de rellenar las excavaciones.

Si los sistemas de drenaje por gravedad no resultan suficientes para mantener drenadas las excavaciones, se deben instalar y mantener en operación motobombas, mangueras, conductos deslizantes y todos los dispositivos necesarios que permitan mantener el agua a un nivel inferior al del fondo de las obras permanentes mientras duren las actividades de excavación. Durante el bombeo, se debe tener la precaución de no producir socavaciones en partes de las obras o alterar las propiedades de los suelos.

Cualquier daño o perjuicio causado por el desarrollo de los trabajos, en la obra o en propiedades adyacentes, es responsabilidad del constructor quien debe reponer, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), los daños y perjuicios causados, y constar para ello en los documentos soporte del contrato, la aprobación por parte del interventor.

600.4.2 Excavaciones para cimentaciones de estructuras de concreto

600.4.2.1 Excavación

Las excavaciones para cimentaciones a que se refiere el presente numeral se deben realizar conforme con las líneas de pago indicadas en los documentos del proyecto y a los procedimientos aceptados por el interventor. Estas deben permitir la construcción de las cimentaciones a todo su ancho y longitud, dejando un fondo con una superficie plana y horizontal.

Cuando la cimentación se deba asentar sobre una superficie excavada que no sea roca, el

constructor debe tomar las medidas necesarias para minimizar la alteración del fondo de la excavación, con la precaución adicional de no remover el material del fondo de la excavación, en mínimo veinte centímetros (20 cm) (o lo que autorice el interventor), hasta la cota de cimentación prevista, sino en el instante previo a la colocación del cimiento.

En las excavaciones de las fundaciones de estructuras en cajón y pilas, el constructor puede adoptar el sistema constructivo que estime conveniente, siempre y cuando cuente con la aprobación del interventor. Adicionalmente, este puede facilitar el procedimiento constructivo con el empleo de islas, plataformas, sistemas neumáticos, aire comprimido, lanzas de agua, equipos de alto rendimiento de origen minero, u otro sistema autorizado. El empleo de cualquiera de estos sistemas constructivos derivados de las dificultades de la ejecución de obra no implica ningún pago adicional al pactado para el precio unitario establecido en esta especificación.

Cuando se encuentre un fondo rocoso, la excavación se debe ejecutar de tal forma que la roca sólida quede expuesta y preparada en lechos horizontales o dentados para recibir el concreto, debiendo ser removidos todos los fragmentos de roca suelta o desintegrada, así como los estratos muy delgados. Las grietas y cavidades que queden expuestas deben ser limpiadas y rellenadas con concreto o mortero de retracción controlada, según los procedimientos aceptados por el interventor.

Para el caso de zapatas de estribos, pilas de puentes o viaductos, o cualquier estructura soportada sobre pilotes hincados, antes de iniciar la operación de instalación de los pilotes, se debe haber completado la excavación del fondo del elemento que es apoyado en ellos. Una vez sea finalizada la operación de hincado de pilotes, el constructor debe retirar todo el material suelto o desplazado, con el fin de que quede un lecho plano y sólido para recibir el concreto.

600.4.2.2 Ataguías y encofrados

Las ataguías y encofrados que se conformen para la protección de las excavaciones donde se van a construir los cimientos, se deben llevar a profundidades por debajo del nivel de la base de los cimientos, y a alturas apropiadas para que sean seguras y tan impermeables como sea posible, para realizar adecuadamente el trabajo por ejecutar dentro de ellas. Las dimensiones internas de las ataguías y encofrados deben dejar espacio suficiente para la construcción de formaletas y la inspección de sus partes externas, así como para permitir el bombeo por fuera de aquellos.

Además, las ataguías y encofrados deben ser construidos en tal forma que protejan el concreto fresco contra cualquier daño que pueda ocasionarle una creciente repentina, y para prevenir cualquier daño debido a la erosión. En las ataguías y encofrados no se deben dejar maderos o abrazaderas que puedan penetrar en el concreto del cimiento, salvo que el interventor lo autorice por escrito.

No se debe permitir ningún apuntalamiento de ataguías y encofrados que pueda producir esfuerzo, golpe o vibración en la estructura permanente.

Las ataguías y encofrados inclinados o desplazados lateralmente durante el proceso de

hincado deben enderezarse, relocalizarse o suplementarse por el constructor, para obtener el espacio necesario y el lugar apropiado para la cimentación de la estructura.

Al terminar el trabajo de que se trate, el constructor debe desmontar y retirar la obra falsa, de tal manera que no ocasione ningún daño al cimiento terminado.

600.4.2.3 Sello de concreto

Cuando ocurran circunstancias que no permitan vaciar el cimiento en seco, y exista aprobación por parte del interventor, se puede exigir la construcción de un sello de concreto de las dimensiones que sean necesarias. El concreto debe cumplir con lo especificado en el artículo 630, Concreto estructural, y con el cien por ciento (100 %) de su resistencia a la compresión simple, a la edad de diseño, especificadas en los documentos del proyecto.

Después de colocado el sello, se debe extraer el agua por bombeo, continuándose la ejecución del trabajo en seco.

Cuando se utilicen encofrados de peso considerable con el fin de compensar parcialmente la presión hidrostática que actúa contra la base del sello de concreto, deben proveerse anclajes especiales, tales como espigos o llaves, para transferir el peso total del encofrado a dicho sello.

Cuando el agua esté sujeta a mareas o corrientes, las paredes del encofrado se deben perforar a la altura de la marea más baja, para controlar y obtener igual presión hidrostática dentro y fuera del elemento, durante el vaciado y el fraguado de los sellos.

600.4.2.4 Conservación de los cauces

A menos que una especificación particular indique algo diferente, no se debe permitir ninguna excavación por fuera de los cajones, ataguías, encofrados o tablestacados, ni alterar el lecho natural de las corrientes adyacentes a la estructura, sin la aprobación por parte de la autoridad ambiental competente y el consentimiento del interventor.

Si se efectúa cualquier excavación o dragado en el sitio de la estructura antes de colocar los caissons, encofrados, ataguías o tablestacados, el constructor debe rellenar la zona excavada o dragada, sin costo adicional para INVÍAS, una vez colocada la cimentación, hasta la altura inicial del terreno o lecho del río medida al inicio de la excavación, con material aprobado por el interventor.

En cursos de agua navegables, el constructor debe mantener, en todo momento, la profundidad del agua y los gálibos requeridos para el paso del tránsito lacustre o fluvial. También, deben permanecer luces y señales adecuadas durante todo el período de construcción.

Los materiales provenientes de las excavaciones de cimientos o rellenos de ataguías que se depositen provisionalmente en la zona de la corriente de agua, deben ser retirados por el constructor, dejando el lecho de la corriente en las mismas condiciones en que se encontraba originalmente.

600.4.3 Excavaciones para alcantarillas

Las excavaciones para alcantarillas se deben efectuar de conformidad con el alineamiento, dimensiones, pendientes y detalles mostrados

en los documentos del proyecto, y previa autorización del interventor, debiendo ceñirse a lo establecido en el numeral 600.5.2.

Cuando se vaya a colocar una alcantarilla por debajo de la línea del terreno original, se debe excavar una zanja a la profundidad requerida, de acuerdo con los requerimientos de los artículos 660, Tubería de concreto simple; 661, Tubería de concreto reforzado; 662, Tubería metálica corrugada o 663, Tubería de plástico, según corresponda, debiendo quedar conformado el fondo de la misma de manera que asegure un lecho firme en toda la longitud de la alcantarilla.

El ancho de la zanja debe ser el mínimo necesario que permita trabajar a ambos lados de la alcantarilla y compactar adecuadamente el relleno alrededor de ella. Dicho valor está dado en función del material de fabricación de la tubería según lo establecido en la Tabla 600 – 1, y no debe ser menor de cero coma setenta metros (0,70 m).

Tabla 600 – 1. Anchos de zanja para tuberías en función del material de fabricación

Material de la tubería	Ancho de zanja (m)
Acero	1,50*DE + 0,20 (Nota)
CCP y concreto	DE + 0,50
Glass Fiber Reinforced Plastic Pipe (GRP)	1,25*DE + 0,30
Hierro dúctil (HD)	DE + 0,60
Policloruro de vinilo (PVC)	DE + 0,40

Nota: DE corresponde al diámetro exterior de la tubería.

En el caso de que no se haya definido en el estudio geotécnico, la excavación se puede realizar con paredes verticales sin ayuda de apuntalamientos, hasta una profundidad máxima, dada por el menor valor obtenido de las siguientes condiciones:

- El valor de la altura crítica (H_c), como se encuentra definido en el "Manual de cimentaciones superficiales y profundas para carreteras" de INVÍAS (versión 2012).
- Un valor de uno coma cinco metros (1,5 m).

El proceso de cálculo y valor obtenido debe ser aprobado por el interventor.

En caso de que la profundidad de excavación sea mayor de uno coma cinco metros (1,5 m), se deben requerir sistemas de protección ante el cierre accidental. El constructor debe presentar una alternativa técnica ante esta situación, así como los respectivos diseños y memorias de cálculo.

Cuando se encuentre roca, ya sea en estratos o en forma suelta, o cualquier otro material que por su dureza no permita conformar un lecho apropiado para colocar la tubería, dicho material debe ser removido hasta más abajo de la cota de cimentación y debe ser reemplazado por un material de subbase granular compactado, en un espesor mínimo de quince centímetros (15 cm). Esta capa se debe compactar, mínimo al noventa por ciento (90 %) de la densidad máxima obtenida en el ensayo modificado de compactación (norma de ensayo INV E-142), teniendo en cuenta la corrección por presencia de partículas gruesas

(norma de ensayo INV E-143), siempre que ella resulte necesaria.

Cuando se presenten materiales suaves, esponjosos o inestables que no permitan una base firme para la cimentación de la alcantarilla, dichos materiales deben ser removidos en una profundidad igual al ancho de la excavación o la que autorice el interventor, debiendo rellenarse posteriormente con un material adecuado, según el numeral 220.2.1 del artículo 220 o de acuerdo con lo indicado en los documentos del proyecto, el cual debe ser compactado, como mínimo, al noventa por ciento (90 %) de la densidad seca máxima obtenida a partir del procedimiento descrito en la norma INV E-142, teniendo en cuenta la corrección por presencia de partículas gruesas que se explica en la norma INV E-143, en caso se requiera.

600.4.4 Excavaciones para filtros

Las excavaciones para la construcción de filtros se deben efectuar hasta la profundidad que se requiera y de conformidad con las dimensiones, pendientes y detalles que indiquen los documentos del proyecto aprobados por el interventor. Las paredes de las excavaciones deben ser verticales y su fondo debe ser conformado, a efecto de que quede una superficie firme y uniforme en toda su longitud.

600.4.5 Excavaciones para gaviones, muros de contención de suelo reforzado con geotextil, descoles y zanjas

Las excavaciones para la fundación de gaviones y muros de contención de suelo reforzado con geotextil, así como las necesarias para la construcción de descoles, zanjas y obras similares, se deben realizar de conformidad con las dimensiones y detalles señalados en los documentos del proyecto y a los procedimientos aceptados por el interventor.

600.4.6 Bombeo

En cualquier excavación que lo requiera, el bombeo se debe hacer de manera que excluya la posibilidad de arrastrar cualquier porción de los materiales colocados. No se debe permitir bombear agua durante la colocación del concreto o durante las veinticuatro horas (24 h) siguientes, salvo que el bombeo se pueda efectuar desde un sumidero apropiado, separado de la obra de concreto por un muro impermeable, el uso de pozos excavados alrededor del sitio de la obra para control del nivel freático u otros medios efectivos.

No se debe iniciar el bombeo para drenar una ataguía o un encofrado sellado, hasta tanto el sello haya fraguado suficientemente para resistir la presión hidrostática y, en ningún caso, antes de siete días (7 d) o el lapso adicional que autorice el interventor.

600.4.7 Limpieza final

Al terminar los trabajos de excavación, el constructor debe limpiar y conformar las zonas laterales de la misma y las de disposición de sobrantes, de acuerdo con lo que establezca el plan ambiental y a los procedimientos aceptados por el interventor.

600.4.8 Limitaciones en la ejecución

No se debe permitir adelantar los trabajos objeto del presente artículo, cuando la tempe-

ratura ambiente a la sombra y la de la superficie sean inferiores a dos grados Celsius (2 °C) o haya lluvia o fundado temor de que ella ocurra.

Los trabajos de construcción se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que sea aprobado por este. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

600.4.9 Manejo ambiental y otras consideraciones

Adicional a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las labores requeridas para la ejecución de excavaciones varias se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en los estudios y evaluaciones ambientales del proyecto, así como en las normas y disposiciones vigentes sobre conservación del ambiente, los recursos naturales y la protección de la comunidad.

Por ello, todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades deben estar incluidas en los costos del proyecto; por tanto, no son objeto de reconocimiento directo en el contrato.

Los desvíos provisionales de los cursos de agua, aprobados por la autoridad ambiental competente, no pueden dar lugar a modificaciones permanentes en los lechos de quebradas y ríos. Así mismo, debe evitarse el represamiento y el empozamiento de agua por las condiciones insalubres que esto pueda generar.

Todos los materiales removidos de las excavaciones y que no tengan uso previsto en la obra, deben ser cuidadosamente recuperados para evitar que puedan ser arrastrados a cursos de agua, y deben transportarse y depositarse en lugares apropiados, de la manera prevista en los documentos del proyecto y a los procedimientos aceptados por el interventor.

En cuanto a hallazgos arqueológicos, paleontológicos y de minerales de interés comercial o científico, se debe seguir lo dispuesto en el numeral 210.4.6 del artículo 210.

600.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

600.5.1 Controles

El plan de calidad y el plan de inspección, medición y ensayo, son de obligatorio cumplimiento tal como se encuentra expresado en el numeral 103.2 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor.

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Comprobar el estado del equipo de construcción.

- Verificar la eficiencia y la seguridad de los procedimientos de construcción.
- Constatar el cumplimiento de las disposiciones existentes en el artículo 102, Aspectos generales de seguridad y salud.
- Vigilar el cumplimiento del programa de trabajo.
- Confirmar el cumplimiento de las normas ambientales aplicables.
- Verificar el alineamiento, el perfil y las secciones de las áreas excavadas.
- Comprobar la lisura del fondo de la excavación mediante lo establecido en el numeral 600.5.2, y considerando que la diferencia de pendiente existente entre dos (2) puntos de control consecutivos con relación a la contemplada en los documentos del proyecto no exceda de cero coma cinco por ciento (0,5 %).
- Comprobar la firmeza del fondo de las excavaciones, según los valores de compactación definidos en los documentos del proyecto a ejecutar o en el presente artículo.
- Medir los volúmenes de trabajo realizado conforme a la presente especificación.

El interventor debe constatar que el constructor disponga de todos los permisos requeridos para la ejecución de los trabajos.

600.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

El trabajo se debe dar por terminado cuando el alineamiento, el perfil y la sección de la excavación estén de acuerdo con los documentos del proyecto y la aprobación del interventor y este considere, además, que la conservación de cauces es satisfactoria.

En ningún punto, la excavación realizada puede variar respecto de la autorizada por el interventor en más de tres centímetros (3 cm) en cota, ni en más de cinco centímetros (5 cm) en la localización en planta.

Todas las deficiencias que excedan las tolerancias mencionadas deben ser corregidas por el constructor, sin costo adicional para INVÍAS, hasta conseguir la aprobación por parte del interventor.

600.6 Medida

La unidad de medida de las excavaciones varias debe ser el metro cúbico (m^3), aproximado a la décima (0,1), de material excavado en su posición original, determinado dentro y hasta las líneas de pago indicadas en los documentos del proyecto y en la presente especificación o autorizadas por el interventor. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

No debe haber ninguna medida por los sobreanchos que se requieran para colocar encofrados, ni por el material que se haya excavado antes de haber realizado los levantamientos topográficos mencionados en el numeral 600.4.1.

Todas las excavaciones deben ser medidas por volumen ejecutado, verificado antes y después de llevarse a cabo el trabajo de excavación. El constructor debe permitir que el interventor realice las mediciones y verificacio-

nes que considere pertinentes antes de cerrar la excavación. Si el constructor cierra la excavación antes de que el interventor realice las mediciones y verificaciones, se entiende que se aviene a lo que unilateralmente este determine.

En excavaciones para estructuras, alcantarillas y filtros, toda medida se debe hacer con base en caras verticales a partir de los bordes autorizados de la excavación. Las excavaciones efectuadas por fuera de estos límites y los volúmenes adicionales causados por facilidad constructiva, desprendimientos, derrumbes, hundimientos, sedimentaciones o rellenos debidos a causas naturales, descuido o negligencia del constructor, no se deben medir y su corrección debe correr por cuenta exclusiva de este, hasta conseguir la aprobación por parte del interventor.

En caso de ocurrir derrumbes que el interventor no atribuya a descuido o negligencia del constructor, se deben medir, para efectos de pago, conforme con lo establecido en el artículo 211, Remoción de derrumbes.

La medida de la excavación para la fundación de gaviones, muros de contención de suelo reforzado con geotextil, así como para la ejecución de descoles, zanjas y similares, se debe hacer con base en secciones transversales, tomadas antes y después de realizar el trabajo respectivo. No se debe incluir en la medida las excavaciones ejecutadas por fuera de las líneas definidas en el proyecto o autorizadas por el interventor.

600.7 Forma de pago

El trabajo de excavaciones varias se debe pagar al precio unitario del contrato, por toda obra ejecutada de acuerdo con los documentos del proyecto, la presente especificación y según lo que sea aprobado por el interventor, para la respectiva clase de excavación ejecutada satisfactoriamente y aceptada por este.

El precio unitario debe cubrir todos los costos por concepto de la excavación, eventual perforación, fragmentación mediante el método aprobado por el interventor, remoción, cargue, transporte y descargue de todos los materiales excavados en las zonas de utilización o desecho, así como su correcta disposición en estas últimas. El volumen que el constructor puede presentar como soporte para el pago de la actividad, es únicamente el contemplado en el numeral 600.6, no existiendo opción de realizar su cuantificación mediante el valor medido en volquetas o cualquier otro vehículo utilizado para el transporte de los materiales, ni en cualquier otra condición que involucre alteración en relación con el estado en el cual el material se encuentra antes de la ejecución de la excavación. También, debe cubrir los costos de todas las obras provisionales y complementarias, tales como la construcción de accesos, desvíos de corrientes de agua aprobados por autoridad ambiental competente, construcción de cauces provisionales, trabajos de conservación de cauces; ataguías, encofrados, caissons, tablestacados, andamios, entibados y desagües; y los equipos, bombeos, transportes, mano de obra, materiales y equipos para fragmentación detonante y/o no detonante según sea el caso, limpieza final de la zona de construcción y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución de los trabajos especificados.

Se debe incluir, dentro del precio unitario, los posibles costos inherentes a los derechos de disposición y/o conformación de materiales

sobrantes, los cuales incluyen todos los costos inherentes a las posibles obras requeridas en los sitios de disposición.

El constructor debe considerar, en relación con los explosivos, todos los costos que implican su adquisición, transporte, escoltas, almacenamiento, vigilancia, manejo y control hasta el sitio de utilización.

Si el material excavado es roca, el precio unitario debe cubrir su eventual almacenamiento para uso posterior, en las cantidades y sitios señalados por el interventor. De los volúmenes de excavación se descuentan, para fines de pago, aquellos que se empleen en la construcción de rellenos para estructuras, mampostería, muros de contención de suelo reforzado con geotextil, concretos, filtros, subbases, bases y capas de rodadura.

En el caso de que los trabajos afecten una vía en la cual exista tránsito automotor, el precio unitario debe incluir, además, los costos de señalización preventiva de la vía y el control del tránsito durante la ejecución de los trabajos.

El precio unitario debe incluir, también, los costos de administración, imprevistos y la utilidad del constructor.

Los trabajos de desmonte y limpieza previos a la ejecución de las excavaciones se deben medir y pagar de acuerdo con el artículo 200.

Por su parte, el sello de concreto para la protección del fondo de la excavación, cuando se requiera, se debe medir y pagar de acuerdo con el artículo 630.

600.8 Ítem de pago

Opción 1: excavación sin clasificar

Ítem	Descripción	Unidad
600.1.1	Excavaciones varias sin clasificar	Metro cúbico (m^3)

Opción 2: excavación clasificada

Ítem	Descripción	Unidad
600.2.1	Excavaciones varias en roca en seco	Metro cúbico (m^3)
600.2.2	Excavaciones varias en roca bajo agua	Metro cúbico (m^3)
600.2.3	Excavaciones varias en material común en seco	Metro cúbico (m^3)
600.2.4	Excavaciones varias en material común bajo agua	Metro cúbico (m^3)

Rellenos para estructuras

Artículo 610 – 22

610.1 Descripción

Este trabajo consiste en la colocación en capas, humedecimiento o secamiento, conformación y compactación de los materiales adecuados provenientes de la misma excavación, de los cortes, o de otras fuentes, para rellenos a lo largo de estructuras de concreto y alcantarillas, previa la ejecución de las obras de drenaje y subdrenaje contempladas en el proyecto o autorizadas por el interventor.

Incluye, además, la construcción de elementos filtrantes por detrás de los estribos, muros de contención y obras de arte, en los sitios y con las dimensiones señalados en los documentos del proyecto, en aquellos casos en los cuales dichas operaciones no formen parte de otra actividad de las presentes especificaciones o de una especificación particular.

610.2 Materiales

Los materiales que se empleen en la construcción de rellenos para estructuras deben provenir de las excavaciones del proyecto, de préstamos laterales o de fuentes aprobadas; deben estar libres de sustancias deletéreas, de materia orgánica, raíces y otros elementos perjudiciales; no deben tener características expansivas ni colapsables. Su empleo debe ser autorizado por el interventor.

Los documentos del proyecto deben indicar los tipos de material por utilizar en las diferentes partes de los rellenos para estructuras. En los siguientes numerales se presentan las características de los materiales típicos que se deben usar en estos rellenos; los diferentes artículos, así como las especificaciones particulares, pueden establecer requisitos adicionales o diferentes a los aquí mencionados para cada uno de los tipos de material de relleno.

610.2.1 Suelos

Deben cumplir con lo establecido en el numeral 220.2.2.1 del artículo 220, Terraplenes, con las precisiones establecidas en la Nota de la Tabla 610 – 1. Igualmente, la muestra que se tome para la prueba de índice de colapso se debe fabricar con la densidad mínima exigida en el numeral 610.5.2.2.1 y con la humedad correspondiente a esa densidad en el lado seco de la curva de compactación.

610.2.2 Recebo

El material de recebo debe cumplir los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 610 – 1; además, ajustarse a alguna de las granulometrías que se indican en la Tabla 610 – 2.

Tabla 610 – 1. Requisitos para material de recebo

Característica	Norma de ensayo	Requisito	
		Recebo tipo 1	Recebo tipo 2
Dureza (O)			
Desgaste en la máquina de los Ángeles (Gradación A), máximo (%) - Quinientas (500) revoluciones (%)	INV E-218	50	65
Limpieza (F)			
Límite líquido, máximo (%)	INV E-125	45	45
Índice de plasticidad, máximo (%)	INV E-125 e INV E-126	10	12
Contenido de materia orgánica, máximo (%)	INV E-121 / UNE 103204	1,0	1,0
Expansión en prueba CBR, máximo (%) (Nota)	INV E-148	2,0	2,0
Resistencia del material (F)			
CBR de laboratorio, mínimo (%) (Nota)	INV E-148	10	10
Expansión en prueba CBR, máximo (%) (Nota)	INV E-148	2,0	2,0

Nota: los valores de CBR y expansión indicados en estos requisitos están asociados al grado de compactación mínimo especificado (numeral 610.5.2.2.1); el CBR y la expansión se deben medir sobre muestras sometidas previamente a cuatro días (4 d) de inmersión.

Tabla 610 – 2. Franjas granulométricas para material de recebo

Tipo de gradación	Tamiz (mm / U.S *Standard*)				
	75	38	25,0	4,75	0,075
	3 Pulgadas	1 ½ Pulgadas	1 Pulgada	Nro. 4	Nro. 200
	Pasa tamiz (%)				
RE-75	100	-	70 – 100	30 – 75	5 – 30
RE-38	-	100	70 – 100	30 – 75	5 – 30
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	7 %			6 %	3 %

610.2.3 Materiales granulares tipo SBG o BG

Estos materiales granulares se denominan tipo SBG, por su similitud con el material de subbase granular para tránsito NT1 (artículo 320) y tipo BG, por su similitud con el material de base granular para tránsito NT1 (artículo 330). Deben cumplir los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 610 – 3; igualmente,

deben satisfacer alguna de las granulometrías que se indican en la Tabla 610 – 4.

Para prevenir segregaciones y garantizar los niveles de compactación y resistencia exigidos por la presente especificación, el material que sea producido por el constructor debe dar lugar a una curva que cumpla con las siguientes condiciones:

- Para el caso de materiales cuyo porcentaje que pasa a través del tamiz de 0,075 mm

Tabla 610 – 3. Requisitos para materiales granulares tipo SBG o BG

Característica	Norma de ensayo INV	Requisito	
		Tipo SBG	Tipo BG
Dureza (O)			
Desgaste en la máquina de los Ángeles (Gradación A), máximo (%) - Quinientas (500) revoluciones	E-218	50	40
Durabilidad (O)			
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%) (Nota) - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	E-220	 12 18	 12 18
Limpieza (F)			
Límite líquido, máximo (%)	E-125	25	25
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	6	3
Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	25	30
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%)	E-211	2	2
Geometría de las Partículas (F)			
Índices de alargamiento y aplanamiento, máximo (%)	E-230	-	35
Caras fracturadas (una cara), mínimo (%)	E-227	-	50

Nota: se puede validar el requisito de durabilidad, empleando cualquiera de los dos (2) sulfatos indicados.

Tabla 610 – 4. Franjas granulométricas para materiales granulares tipo SBG o BG

Tipo de gradación	Tamiz (mm / U.S. *Standard*)									
	50,0	37,5	25,0	19,0	12,5	9,5	4,75	2,00	0,425	0,075
	2 Pulgadas	1 ½ Pulgadas	1 Pulgada	¾ Pulgada	½ Pulgada	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 10	Nro. 40	Nro. 200
	Pasa tamiz (%)									
SGB-50	100	70 – 95	60 – 90	-	45 – 75	40 – 70	25 – 55	15 – 40	6 – 25	2 – 15
SGB-38	-	100	75 – 95	-	55 – 85	45 – 75	30 – 60	20 – 45	8 – 30	2 – 15
SGB-20	-	-	-	100	60 – 87	50 – 80	35 – 65	24 – 49	8 – 30	2 – 15
BG-38	-	100	70 – 100	-	60 – 90	45 – 75	30 – 60	20 – 45	10 – 30	5 – 15
BG-25	-	-	100	-	70 – 100	50 – 80	35 – 65	20 – 45	10 – 30	5 – 15
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	0 %	7 %					6 %			3 %

(nro. 200) en masa sea menor de doce por ciento (12 %), se deben utilizar materiales clasificados según la norma INV E-181 como "bien gradados" (Tablas 181 – 3 y 181 – 4).

- En cualquier caso, que la curva resultante sea sensiblemente paralela a los límites de la franja, sin saltos bruscos de la parte superior de un tamiz a la inferior de un tamiz adyacente y viceversa.

Dentro de la franja elegida, el constructor debe proponer al interventor una "Fórmula de Trabajo" la cual se debe ajustar durante la construcción del relleno, con las tolerancias que se indican en la Tabla 610 – 4, pero sin permitir que la curva se salga de la franja adoptada.

Además, la relación entre el porcentaje que pasa el tamiz de 0,075 mm (nro. 200) y el porcentaje que pasa el tamiz de 0,425 mm (nro. 40) no debe exceder de dos tercios (2/3) y el tamaño máximo nominal no debe exceder de un tercio (1/3) del espesor de la capa compactada.

Tabla 610 – 5. Requisitos de los agregados para material granular filtrante

Característica	Norma de ensayo INV	Requisito
Dureza (O)		
Desgaste en la máquina de los Ángeles (Gradación A), máximo (%) - Quinientas (500) revoluciones (%)	E-218	50
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%) (Nota) - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	E-220	 12 18
Limpieza (F)		
Límite líquido, máximo (%)	E-125	No plástico
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	No plástico
Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	25
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%)	E-211	2

Nota: se puede validar el requisito de durabilidad, empleando cualquiera de los dos (2) sulfatos indicados.

Tabla 610 – 6. Franjas granulométricas para material granular filtrante

Tipo de gradación	Tamiz (mm / U.S. *Standard*)											
	150	100	75	50	25,0	12,5	9,5	4,75	2,00	0,600	0,150	0,075
	6 Pulgadas	4 Pulgadas	3 Pulgadas	2 Pulgadas	1 Pulgada	1/2 Pulgada	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 10	Nro. 30	Nro. 100	Nro. 200
	Pasa tamiz (%)											
MF-150	100	90 – 100	80 – 100	70 – 95	60 – 80	40 – 70	-	10 – 20	0	-	-	-
MF-75	-	-	100	-	91 – 97	-	79 – 90	66 – 80	-	0 – 40	0 – 8	0 – 2
MF-50				100	70 – 90	55 – 80	-	35 – 65	25 – 50	15 – 30	0 – 3	0 – 2

610.2.4 Material granular filtrante

El material granular filtrante debe satisfacer los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 610 – 5; así mismo, debe cumplir con alguna de las granulometrías que se indican en la Tabla 610 – 6.

610.2.5 Gravilla

La gravilla de rellenos para estructuras debe satisfacer los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 610 – 7; además, debe cumplir con la granulometría que se indica en la Tabla 610 – 8.

610.2.6 Arena

La arena de rellenos para estructuras debe satisfacer los requisitos de calidad y gradación que se especifican en la Tabla 610 – 9 y la Tabla 610 – 10, respectivamente.

610.3 Equipo

Previo a la ejecución de actividades, el constructor debe presentar al interventor las especificaciones de los equipos, así como la cantidad destinada de estos para las diferentes etapas del proceso constructivo del relleno, las cuales son evaluadas y juzgadas como apropiadas si se considera que pueden

Tabla 610 – 7. Requisitos para gravilla de rellenos para estructuras

Característica	Norma de ensayo INV	Requisito
Dureza (O)		
Desgaste en la máquina de los Ángeles (Gradación A), máximo (%) - Quinientas (500) revoluciones (%)	E-218	50
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%) (Nota) - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	E-220	 12 18
Limpieza (F)		
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%)	E-211	0,25
Partículas livianas, máximo (%)	E-221	1,0
Geometría de las partículas (F)		
Índice de alargamiento, máximo (%)	E-230	25
Índice de aplanamiento, máximo (%)	E-230	25

Nota: se puede validar el requisito de durabilidad, empleando cualquiera de los dos (2) sulfatos indicados.

Tabla 610 – 8. Franja granulométrica para gravilla de rellenos para estructuras

Tipo de gradación	Tamiz (mm / U.S*Standard*)						
	37,5	25,0	19,0	12,5	9,5	4,75	2,00
	1 ½ Pulgadas	1 Pulgada	¾ Pulgada	½ Pulgada	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 10
	Pasa tamiz (%)						
Única	100	70 – 100	54 – 100	20 – 80	0 – 60	0 – 25	0

Tabla 610 – 9. Requisitos para arena de rellenos para estructuras

Característica	Norma de ensayo INV	Requisito
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%) (Nota) - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	E-220	 10 15
Limpieza (F)		
Límite líquido, máximo (%)	E-125	-
Índice de plasticidad (%)	E-126	No plástico
Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	60
Valor de azul de metileno, máximo (%)	E-235	5
Terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%)	E-211	1
Partículas livianas, máximo (%)	E-221	0,5
Material que pasa el tamiz de 0,075 mm (nro. 200), máximo (%)	E-214	5
Contenido de materia orgánica (F)		
Color más oscuro permisible	E-212	Igual a muestra patrón

Nota: se puede validar el requisito de durabilidad, empleando cualquiera de los dos (2) sulfatos indicados.

Tabla 610 – 10. Granulometría para arena de rellenos para estructuras

Tipo de gradación	Tamiz (mm / U.S. *Standard*)						
	9,5	4,75	2,36	1,18	0,600	0,300	0,150
	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 8	Nro. 16	Nro. 30	Nro. 50	Nro. 100
	Porcentaje de que pasa (%)						
Única	100	95 – 100	80 – 100	50 – 85	25 – 60	10 – 30	2 – 5

garantizar el cumplimiento de los parámetros necesarios para el recibo de la actividad (numeral 610.5.2), dentro de los plazos establecidos en el cronograma de obra aprobado.

610.4 Ejecución de los trabajos

610.4.1 Generalidades

El constructor debe notificar al interventor, con suficiente antelación al comienzo de la ejecución de los rellenos, para que este realice los trabajos topográficos necesarios y verifique la calidad del suelo de cimentación, las características de los materiales por emplear y los lugares donde ellos son colocados, sin que ello exima, de manera alguna, la responsabilidad que tiene el constructor para garantizar la calidad de los trabajos.

Por ello, antes de iniciar los trabajos, las obras de concreto o alcantarillas contra las cuales se colocan los rellenos, deben contar con la aprobación del interventor.

Cuando el relleno se vaya a colocar contra una estructura de concreto, solamente se debe permitir su colocación a partir del momento en que se demuestre, mediante ensayo de resistencia a la compresión descrito en la norma INV E-410, que el concreto ha alcanzado al menos el ochenta y cinco por ciento (85

%) de la resistencia de diseño. En cualquier caso, el concreto debe lograr el cien por ciento (100 %) de la resistencia a la compresión simple, a la edad de diseño, según los documentos del proyecto, medida según lo establece la misma norma citada.

Los rellenos estructurales para alcantarillas pueden ser iniciados una vez que, desde el momento de la preparación del mortero de la junta, haya transcurrido un periodo no menor al tiempo de fraguado final Vicat del cemento, según procedimiento establecido en la NTC 118 (ASTM C191), incrementado en veinticuatro horas (24 h).

Si en los documentos del proyecto se establece el requisito de resistencia para el mortero de la junta, se puede iniciar el relleno estructural una vez se alcance, al menos, el ochenta y cinco por ciento (85 %) de la resistencia especificada, determinada a partir de los procedimientos descritos en la NTC 220 (ASTM C109).

Siempre que se vaya a asentar o apoyar el relleno sobre un terreno en el que existan corrientes de agua superficiales o subterráneas, previamente y solo si existe autorización de la autoridad ambiental competente, se deben desviar las primeras y captar y conducir las últimas fuera del área donde se vaya a construir el relleno, labores que se efectúan de acuerdo con los artículos 600, Excavaciones varias y 673, Subdrenes con geotextil y material granular, respectivamente.

Todo relleno colocado antes de que lo autorice el interventor debe ser retirado por el constructor, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS).

610.4.2 Preparación de la superficie base de los rellenos

El terreno base del relleno debe estar libre de vegetación, tierra orgánica, materiales de desecho de construcción u otros materiales objetables, y debe ser preparado de acuerdo con lo señalado en el numeral 220.4.2 del artículo 220.

610.4.3 Extensión y compactación del material

Los materiales de relleno se deben extender en capas preferiblemente horizontales y de espesor uniforme, las cuales deben ser lo suficientemente delgadas para que, con los medios disponibles, se obtenga el grado de compactación exigido, verificado en la totalidad del espesor de cada capa.

Cuando el relleno se deba depositar sobre agua, las exigencias de compactación para las capas solamente se aplican una vez se haya obtenido un espesor de un metro (1 m) de material relativamente seco.

Los rellenos alrededor de pilas y alcantarillas se deben depositar simultáneamente a ambos lados de la estructura y aproximadamente a la misma elevación. Los rellenos al respaldo de estribos, muros y otras estructuras, se deben realizar de manera que no se pongan en peligro la integridad y la estabilidad de dichas obras, empleando procedimientos propuestos por el constructor y aprobados por el interventor.

Cuando no se contemple la colocación de material filtrante al respaldo de la estructura, se debe colocar grava o roca triturada en las

cercanías de los orificios de drenaje, para evitar presiones excesivas y segregación del material de relleno.

Durante la ejecución de los trabajos, la superficie de las diferentes capas debe contar con una pendiente que garantice la evacuación de las aguas superficiales sin peligro de erosión.

Una vez extendida la capa, se debe proceder a su humedecimiento, si es necesario. El contenido óptimo de humedad se debe determinar en la obra, a la vista de la maquinaria disponible y de los resultados que se obtengan en los ensayos realizados.

En los casos especiales en que la humedad del material sea excesiva para conseguir la compactación prevista, el constructor debe tomar las medidas adecuadas, pudiendo proceder a la desecación por aireación o a la adición y mezcla de materiales secos u otras sustancias apropiadas, aceptadas por el interventor.

Obtenida la humedad apropiada, determinada mediante cualquiera de los procedimientos establecidos en las Normas de Ensayo de Materiales para Carreteras de INVÍAS, se debe proceder a la compactación mecánica de la capa. En áreas inaccesibles a los equipos mecánicos, se autoriza el empleo de compactadores manuales que permitan obtener los mismos niveles de densidad del resto de la capa. La compactación se debe continuar hasta lograr los niveles de densidad a que se hace mención en el numeral 610.5.2.2.1.

La construcción de los rellenos debe hacerse con el cuidado necesario para evitar presiones y daños a las estructuras contra las cuales se colocan.

610.4.4 Capas filtrantes

Cuando se contemple la colocación de capas filtrantes detrás de estribos, muros y obras de arte, ellas se deben disponer y compactar antes o simultáneamente con los demás materiales de relleno, tomando la precaución de que estos no se contaminen entre sí.

610.4.5 Acabado

Al concluir cada jornada de trabajo, la superficie de la última capa debe estar compactada y bien nivelada, con declive suficiente que permita el escurrimiento de aguas lluvias, sin peligro de erosión.

610.4.6 Limitaciones en la ejecución

No se debe permitir adelantar los trabajos objeto del presente artículo, cuando la temperatura ambiente a la sombra y la de la superficie sean inferiores a dos grados Celsius (2 °C) o haya lluvia o fundado temor de que ella ocurra.

Los trabajos de construcción se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que sea aprobado por este. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra

el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

610.4.7 Manejo ambiental

Adicional a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las labores requeridas para la construcción de rellenos para estructuras se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en los estudios y evaluaciones ambientales del proyecto, así como en las normas y disposiciones vigentes sobre conservación del ambiente, los recursos naturales y protección de la comunidad.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación, deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades deben estar incluidas en los costos del proyecto, por lo tanto, no son objeto de reconocimiento directo en el contrato.

610.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

610.5.1 Controles

El plan de calidad y el plan de inspección, medición y ensayo son de obligatorio cumplimiento, tal como se encuentra expresado en el numeral 103.2 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor.

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Comprobar el estado y el funcionamiento del equipo de construcción.
- Verificar el cumplimiento de las disposiciones existentes en el artículo 102, Aspectos generales de seguridad y salud.
- Supervisar la correcta aplicación de los métodos de trabajo aceptados.
- Confirmar el cumplimiento de las normas ambientales aplicables.
- Corroborar que los materiales cumplan los requisitos de calidad mencionados en el numeral 610.2.
- Verificar el alineamiento, el perfil y las secciones de las áreas en las que se construyan los rellenos.
- Determinar la densidad de cada capa compactada. Este control se realiza en todo el espesor de cada capa realmente construida, de acuerdo con el proceso constructivo aprobado.
- Controlar que la ejecución del relleno contra cualquier parte de una estructura de concreto, solamente se comience cuando aquella adquiera la resistencia especificada según lo establecido en el numeral 610.4.1.
- Medir, para efectos de pago, los volúmenes de relleno y material filtrante colocados conforme con la presente especificación.

610.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

610.5.2.1 Calidad de los materiales

De cada procedencia de los materiales empleados para la construcción de rellenos y para cualquier volumen previsto, se deben

tomar como mínimo dos (2) muestras y, de cada fracción de ellas, se deben determinar los parámetros indicados en el numeral 610.2 y sus respectivos sub-numerales 610.2.1, 610.2.2, 610.2.3, 610.2.4, 610.2.5 y 610.2.6, según el tipo de material de relleno. La totalidad de los resultados debe satisfacer las exigencias indicadas en ellos. El incumplimiento de una o varias de las exigencias planteadas en los sub-numerales anteriores conlleva al rechazo de los materiales deficientes.

Durante la etapa de producción, el interventor debe examinar las descargas de los materiales, ordenando el retiro de aquellos que, a simple vista, presenten restos de tierra vegetal, materia orgánica o tamaños superiores al máximo especificado.

Teniendo en cuenta que los volúmenes de rellenos para estructuras suelen ser inferiores a los requeridos para terraplenes, es el interventor quien establece la frecuencia de ejecución de las diversas pruebas de calidad, basado en los criterios definidos por cada norma específica relacionada con la definición del tamaño de un lote o la frecuencia de realización de ensayos.

610.5.2.2 Calidad del producto terminado

Los taludes terminados no deben exhibir irregularidades a la vista.

La cota de cualquier punto de la subrasante, en rellenos para estructuras, no debe variar más de treinta milímetros (30 mm) de la proyectada, medida verticalmente hacia abajo y, en ningún caso, la cota de subrasante puede superar la cota del proyecto.

En las obras concluidas, no se debe admitir ninguna irregularidad que impida el normal escurrimiento de las aguas superficiales.

En adición a lo anterior, se deben adelantar las siguientes comprobaciones:

610.5.2.2.1 Compactación

Para efectos de la verificación de la compactación de cada una de las capas de relleno para estructuras en suelo, recebo y materiales granulares tipo SBG o BG, se calcula el grado de compactación individual GCi para cada sitio de ensayo de densidad en el terreno, de acuerdo con lo indicado en el numeral 220.5.2.2.2 del artículo 220, fórmulas [220.1] o [220.2] según aplique.

Para suelos que clasifican como A-1, A-2-4 o A-3, recebos y suelos granulares tipo SBG o BG, el valor del peso unitario seco máximo se obtiene según la norma de ensayo INV E-142 y la capa de relleno se acepta si el grado de compactación individual GCi, calculado para todos los ensayos de densidad en el terreno efectuados en la capa, cumple el siguiente criterio:

$$GCi \geq 90{,}0\ \% \quad \textbf{[610.1]}$$

Para suelos que no clasifican como A-1, A-2-4 o A-3, el valor del peso unitario seco máximo se obtiene según la norma de ensayo INV E-141 y la capa de relleno se acepta si el grado de compactación individual GCi, calculado para todos los ensayos de densidad en el terreno efectuados en la capa, cumple el siguiente criterio:

$$GCi \geq 95{,}0\ \% \quad \textbf{[610.2]}$$

El número de pruebas por ejecutar en cada capa para realizar el control, debe ser definido por el interventor, pero nunca podrán ser inferiores a las exigidas por las normas de ensayo respectivas.

Las capas de relleno que no alcancen las condiciones mínimas de compactación deben ser escarificadas, homogenizadas, llevadas a la humedad adecuada y compactadas nuevamente, hasta obtener el valor de la densidad seca especificada.

La compactación de las capas de material filtrante, gravilla y arena, se considera satisfactoria cuando no haya evidencia visible de consolidación adicional al paso del equipo de compactación aprobado por el interventor.

610.5.2.2.2 Protección de la superficie del relleno

Al respecto, se aplica el mismo criterio indicado en el numeral 220.5.2.2.4 del artículo 220, en relación con la protección de la corona de terraplenes.

Todas las irregularidades que excedan las tolerancias mencionadas deben ser corregidas por el constructor, sin costo adicional para INVÍAS, hasta conseguir la aprobación por parte del interventor.

610.6 Medida

La unidad de medida para los volúmenes de rellenos debe ser el metro cúbico (m^3), aproximado a la décima (0,1), de material compactado, aceptado por el interventor, en su posición final. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

Los volúmenes deben ser determinados con base en las áreas de las secciones transversales del proyecto localizado, verificadas por el interventor antes y después de ser ejecutados los trabajos de relleno. Dichas áreas están limitadas por las líneas de pago teóricas mostradas en los documentos del proyecto o autorizadas por el interventor. En los casos en que el volumen a compactar corresponda a una figura geométrica regular, se puede realizar su medición mediante fórmulas geométricas, siempre y cuando esto no conlleve a medir volúmenes por fuera de las líneas del proyecto.

No hay medida ni pago para los rellenos por fuera de las líneas o hilos del proyecto, efectuados por el constructor, ya sea por negligencia o por conveniencia para la operación de sus equipos.

Tampoco se deben medir los rellenos que haga el constructor en sus caminos de construcción y obras auxiliares que no formen parte del proyecto.

610.7 Forma de pago

El trabajo de rellenos para estructuras se debe pagar al precio unitario del contrato, por toda obra ejecutada de acuerdo con los documentos del proyecto, la presente especificación y según lo que sea aprobado por el interventor.

El precio unitario debe cubrir todos los costos por concepto de construcción o adecuación de las vías de acceso a las fuentes de materiales, la extracción, preparación y suministro de los materiales, así como su cargue, transportes, descargue, almacenamiento, colocación, humedecimiento o secamiento, compactación

y, en general, todo costo relacionado con la correcta construcción de los rellenos para estructuras de acuerdo con los documentos del proyecto, esta especificación y la aprobación del interventor.

No se debe pagar el suministro de materiales de relleno para estructuras que hayan sido obtenidos de las excavaciones de la explanación, canales y préstamos, ni de las excavaciones varias del contrato, según los artículos 210, Excavación de la explanación, canales y préstamos, y 600 de estas especificaciones.

El precio unitario debe cubrir, además, los costos de adecuación de las fuentes de materiales al término de los trabajos para recuperar sus características hidrológicas superficiales, así como los de señalización preventiva de la vía y ordenamiento del tránsito automotor durante el período de ejecución de los trabajos.

El precio unitario debe cubrir, también, los costos de administración, imprevistos y la utilidad del constructor.

Por su parte, los costos por concepto de preparación de las superficies sobre las cuales se construyen los rellenos y capas filtrantes se deben reconocer de acuerdo con el artículo 220 o el artículo 600, el que resulte aplicable según las características de la obra que se construye. Si ninguno de estos artículos forma parte del contrato, los costos de la preparación de la superficie existente deben quedar incluidos dentro del precio unitario de los rellenos objeto del presente artículo.

610.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
610.1	Rellenos para estructuras con suelo	Metro cúbico (m^3)
610.2	Rellenos para estructuras con recebo	Metro cúbico (m^3)
610.3	Rellenos para estructuras con material granular tipo SBG-50	Metro cúbico (m^3)
610.4	Rellenos para estructuras con material granular tipo SBG-38	Metro cúbico (m^3)
610.5	Rellenos para estructuras con material granular tipo SBG-20	Metro cúbico (m^3)
610.6	Rellenos para estructuras con material granular tipo BG-38	Metro cúbico (m^3)
610.7	Rellenos para estructuras con material granular tipo BG-25	Metro cúbico (m^3)
610.8	Rellenos con material filtrante	Metro cúbico (m^3)
610.9	Relleno con gravilla	Metro cúbico (m^3)
610.10	Relleno con arena	Metro cúbico (m^3)

Concreto celular para rellenos

Artículo 611-22

611.1 Descripción

Esta especificación se refiere al suministro de materiales, fabricación, transporte, colocación, acabado y curado del concreto celular de baja densidad elaborado en sitio, el cual consiste en la inclusión de burbujas de aire distribuidas uniformemente en una mezcla de agua-material cementante (en algunos casos pueden requerirse agregados).

Su uso está destinado a rellenos requeridos en obras viales de tipo: contención, tuberías, túneles, vías, y demás rellenos que requieran bajas cargas y mínimos empujes de acuerdo con los documentos del proyecto.

Esta especificación se basa en el documento ACI 523.1R-06 Guide for Cast-in-Place Low-Density Cellular Concrete para aplicaciones geotécnicas como material de relleno.

611.1.1 Restricciones

El concreto celular de baja densidad, destinado para rellenos no puede ser utilizado como:

- Concreto estructural.
- Concreto para pavimentos, capa estructural de pavimento o capa funcional de pavimento.
- Prefabricados de concreto.
- Adoquines de concreto.
- Material expuesto a la erosión.
- Material que contenga aditivos que puedan generar corrosión al acero de refuerzo.

611.2 Materiales

El concreto celular, es una mezcla homogénea de material cementante, agua, agente espumante, eventualmente adiciones suplementarias y/o complementarias y, en algunos casos, agregados, obteniendo como resultado una mezcla liviana que contiene burbujas de aire uniformemente distribuidas.

Los materiales deben cumplir los requisitos básicos que se mencionan a continuación.

611.2.1 Concreto celular

El concreto celular, es una mezcla homogénea de material cementante, agua, agente espumante, eventualmente adiciones suplementarias y/o adiciones complementarias y, en algunos casos, agregados, obteniendo como resultado una mezcla liviana que contiene burbujas de aire uniformemente distribuidas.

Los materiales que componen el concreto celular deben cumplir los requisitos básicos que se mencionan a continuación.

611.2.2 Cemento hidráulico

El cemento hidráulico y su suministro deben cumplir con los requisitos descritos en el artículo 501, Suministro de cemento hidráulico.

611.2.3 Agua

Rige lo establecido en el numeral 630.2.1.4 del artículo 630, Concreto estructural.

611.2.4 Adiciones suplementarias

Rige lo establecido en el numeral 630.2.1.2 del artículo 630.

611.2.5 Agente espumante

Los agentes espumantes deben cumplir con los requisitos de ASTM C869 cuando se prueben de acuerdo con las disposiciones de ASTM C796.

611.2.6 Agregados

El concreto celular de baja densidad puede requerir el uso de agregados livianos en su fabricación, tales como vermiculita o perlita, que cumplan con los requerimientos de la norma ASTM C332.

611.2.7 Aditivos y adiciones complementarias

Se pueden utilizar aditivos y adiciones complementarias que cumplan con lo establecido en el numeral 630.2.1.5 del artículo 630, además se deben tener en cuenta las recomendaciones dispuestas en el documento ACI 523.1R-06 Guide for Cast-in-Place Low-Density Cellular Concrete.

611.2.8 Productos para el curado del concreto celular

Se puede realizar curado con agua o con compuestos curadores siempre y cuando se revisen las recomendaciones del productor del agente espumante. El curado debe realizarse hasta alcanzar la resistencia especificada.

611.3 Equipo

Es responsabilidad del constructor disponer de los equipos y elementos para el suministro de los materiales, fabricación, transporte, colocación, acabado y curado del concreto celular. También, equipos y elementos necesarios para limpieza, reparaciones, etc.

El constructor debe garantizar la calibración periódica de los equipos, de acuerdo con el plan de mantenimiento y calibración de estos, fijado en el plan de calidad del proyecto. Las calibraciones deben ser realizadas por laboratorios de calibración que cuenten con la acreditación por parte del Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC) para la unidad de medida por verificar, garantizando que las mediciones realizadas por la empresa sean trazables al Sistema Internacional de Unidades (SI).

Se deben cumplir las siguientes recomendaciones del documento ACI 523.1R-06 Guide for Cast-in-Place Low-Density Cellular Concrete:

Los equipos utilizados para el mezclado de concreto hidráulico convencional no son permitidos en la elaboración del concreto celular, debido a que una mezcladora convencional no proporciona la velocidad adecuada para el correcto mezclado y homogenización de los materiales. Es recomendable implementar velocidades altas dentro de la mezcladora para garantizar una adecuada homogenización de los materiales con el agente espumante, de tal forma que se obtenga la consistencia adecuada para un concreto de baja densidad.

611.4 Ejecución de los trabajos

611.4.1 Diseño de mezcla y obtención de la fórmula de trabajo

La dosificación de los materiales componentes del concreto celular debe garantizar que se

obtenga una mezcla que cumpla la resistencia, la consistencia, la manejabilidad y las demás exigencias requeridas en los documentos del proyecto y las presentes especificaciones.

Con suficiente antelación al inicio de los trabajos, el constructor debe suministrar al interventor, para su verificación, muestras representativas de los materiales componentes de la mezcla de concreto por utilizar, avaladas por los resultados de ensayos de laboratorio que garanticen la conveniencia de emplearlos en el diseño de la mezcla.

El diseño de la mezcla debe garantizar los requisitos establecidos en la Tabla 611-1 de acuerdo con los documentos del proyecto.

611.4.2 Almacenamiento de los materiales

El material cementante, el agregado, el agente espumante, las adiciones suplementarias, los aditivos y las adiciones complementarias se deben almacenar de tal forma que se prevenga su deterioro o contaminación.

Cualquier material que se haya deteriorado o contaminado no se debe usar para la elaboración del concreto celular. Para prevenir esta situación, los materiales se deben almacenar de acuerdo con las indicaciones definidas en los numerales 630.4.3.1, 630.4.3.2 y 630.4.3.3 del artículo 630.

611.4.3 Condiciones de la superficie para aplicación

La superficie en donde se instala el concreto celular debe estar libre de vegetación, tierra blanda, húmeda, fangosa, suelta y otros materiales nocivos. De igual manera, la superficie debe estar condicionada conforme con los documentos del proyecto.

Una vez mezclado, el concreto celular se bombea rápidamente a la ubicación de colocación sin un manejo excesivo.

611.4.4 Procesamiento

Los materiales para concreto celular son comúnmente procesados y mezclados en sitio, directamente en una mezcladora. El material cementante, las adiciones suplementarias, las adiciones complementarias y otros materiales en seco son pesados en una balanza calibrada, mientras que el agua de mezcla y los aditivos son medidos en volumen. La precisión de cada una de las mediciones es crítica para obtener la densidad de la mezcla y su reproducibilidad. Todos los dispositivos de medida deben estar calibrados antes de iniciar el proyecto y durante su ejecución.

611.4.5 Mezclado

La mezcla mecánica del concreto celular debe generar una distribución uniforme de los materiales con una consistencia adecuada para lograr la densidad especificada. Se debe evitar exceder el tiempo de mezclado, ya que puede ocasionar cambios en la densidad y en la consistencia.

En cada lote de producción de concreto celular, la mezcladora debe ser cargada primero con el agua de la mezcla, luego con los materiales secos, seguido de los aditivos y el espumante. La densidad de la mezcla debe ser monitoreada en el punto de colocación. Las proporciones de los agregados deben ser las adecuadas a la hora de la incorporación y el mezclado. Es necesario garantizar uniformidad en el mezclado para obtener una adecuada densidad en el punto de colocación.

611.4.6 Colocación

Por lo menos cuarenta y ocho horas (48 h) antes de colocar el concreto celular en la obra, el constructor debe notificar por escrito

al interventor al respecto, para que este verifique y apruebe los sitios de colocación.

La colocación no puede comenzar mientras el interventor no haya aprobado la preparación de las superficies que han de quedar contra el concreto celular. Dichas superficies deben estar completamente libres de suciedad, lodo, desechos, grasa, aceite, partículas sueltas y cualquier otra sustancia perjudicial.

Se debe eliminar toda agua estancada o libre de las superficies sobre las cuales se coloque la mezcla controlando que, durante su colocación y el tiempo que esta dure fraguando, no se mezcle agua que pueda lavar o alterar el concreto en estado fresco.

Las fundaciones en suelo contra las cuales se coloque el concreto celular deben estar libres de vegetación, tierra blanda, húmeda, fangosa, suelta y de otros materiales nocivos para la mezcla.

De acuerdo con el documento ACI 523.1R-06 Guide for Cast-in-Place Low-Density Cellular Concrete, el concreto celular debe ser colocado progresivamente por medio de una bomba y la manguera de la bomba debe tener un diámetro suficiente para garantizar la adecuada entrega del concreto celular en el punto de colocación, (usualmente el diámetro varía entre cincuenta coma ocho milímetros (50,8 mm) o dos pulgadas (2,0 pulgadas) y, sesenta y tres coma cinco milímetros (73,5 mm) o (2,5 pulgadas)). El concreto celular puede ser bombeado en largas distancias (por encima de cuatrocientos sesenta metros (460 m) (1500 pies)).

La colocación del concreto celular se debe efectuar en presencia del interventor.

El concreto celular no se puede colocar cuando esté lloviendo, a no ser que el constructor suministre cubiertas que, a criterio y aprobación del interventor, sean adecuadas para proteger el concreto desde su colocación hasta su fraguado.

Todo el concreto debe ser vaciado en horas de luz solar y su colocación en cualquier parte de la obra no se debe iniciar si no es posible completarla en dichas condiciones, a menos que se disponga de un adecuado sistema de iluminación, aprobado por el interventor.

611.4.7 Limpieza final

Al terminar la obra, y antes de la aceptación final del trabajo, el constructor debe retirar del lugar toda obra falsa, materiales excavados o no utilizados, desechos, basuras y construcciones temporales, restaurando en forma aceptable para el interventor, toda propiedad, tanto pública como privada, que pudiera haber sido afectada durante la ejecución de este trabajo y dejar el lugar de la estructura limpio y presentable, cumpliendo todos los requisitos de manejo de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) establecidos en la legislación colombiana.

611.4.8 Conservación

El concreto celular debe ser mantenido en perfectas condiciones por el constructor, cumpliendo los requisitos mínimos establecidos en el presente artículo, hasta el recibo definitivo de los trabajos, sin que ello implique costo adicional alguno para el Instituto Nacional de Vías (INVIAS).

Todo concreto defectuoso o deteriorado que no cumpla las características establecidas en los documentos del proyecto, debe ser intervenido por el constructor para llevarlo a las condiciones de diseño, sin costo adicional para INVIAS. En todo caso, los procedimientos deben ser aprobados por el interventor, cualquiera sea el tipo de intervención. Se deben dejar registrados, en los documentos del proyecto, las reparaciones realizadas y el

método de reparación.

611.4.9 Manejo ambiental

En adición a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las labores de ejecución de obras en concreto celular se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en los estudios o evaluaciones ambientales del proyecto y las normas y disposiciones vigentes sobre la conservación del ambiente y los recursos naturales.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades deben estar incluidas en los costos del proyecto, por tanto, no deben ser objeto de reconocimiento directo en el contrato.

Se debe asegurar que la adquisición de los recursos y el manejo de los residuos cumplan los requisitos legales ambientales vigentes.

Se deben realizar todos los estudios, los trámites, los procedimientos y las actividades en obra necesarios para cumplir con las normas ambientales. Se debe entregar al interventor la documentación de la gestión ambiental.

611.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

611.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles principales, por parte del constructor, con la supervisión y la aprobación del interventor:

- Verificar el estado y el funcionamiento del equipo de construcción.
- Comprobar que los materiales cumplan con los requisitos de calidad establecidos en el numeral 611.2
- Corroborar el cumplimiento de todas las disposiciones existentes en el artículo 102, Aspectos generales de seguridad y salud, y los aspectos de sostenibilidad establecidos en el artículo 106.
- Supervisar que los trabajos se ajusten a las exigencias de esta especificación

Para efectos de pago, el interventor debe medir la cantidad de obra correctamente ejecutada y guiarse por los criterios establecidos en el plan de inspección, medición y ensayo aprobado por la interventoría.

El plan de calidad y el plan de inspección, medición y ensayo son de obligatorio cumplimiento, tal como se encuentra expresado en el numeral 103.2 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor.

611.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

Los trabajos correspondientes a este artículo se deben recibir si cumplen con las siguientes propiedades.

En la Tabla 611-1 se presentan los valores máximos de densidad del concreto celular en estado fresco y los valores mínimos de resistencia a la compresión para propósitos geotécnicos, conforme con el documento ACI 523.1R-06 Guide for Cast-in-Place Low-Density Cellular Concrete.

611.5.2.1 Densidad y contenido de aire del concreto celular en estado fresco

La densidad y contenido de aire del concreto celular en estado fresco deben determinarse de acuerdo con los protocolos establecidos en la norma ASTM C796. Se debe realizar un ensayo por cada lote, el cual está definido como

Tabla 611-1 Tabla densidad vs resistencia

Clase	Densidad concreto fresco Máxima	Resistencia a la compresión Mínima	Capacidad portante
	kg/m³	MPa	MPa
I	385	0,07	0,07
II	480	0,28	0,28
III	575	0,55	0,56
IV	670	0,83	0,82
V	800	1,1	1,1

el menor volumen entre una jornada de trabajo y cada ochenta metros cúbicos (80 m³) de concreto celular.

611.5.2.2 Densidad seca al horno

La densidad seca al horno debe determinarse de acuerdo con los protocolos establecidos en las normas ASTM C796 y ASTM C495, la cual por definición debe estar por debajo de ochocientos kilogramos por metro cubico (800 Kg/m³). Se debe realizar un ensayo por cada lote, el cual está definido como el menor volumen entre una jornada de trabajo y cada ochenta metros cúbicos (80 m³) de concreto celular.

611.5.2.3 Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión es el promedio de cuatro (4) especímenes cilíndricos de setenta y cinco milímetros (75 mm) de diámetro y ciento cincuenta milímetros (150 mm) de altura, ensayados a la edad especificada. La resistencia debe determinarse de acuerdo con los protocolos establecidos en las normas ASTM C796 y ASTM C495. Los especímenes para resistencia a la compresión no se deben secar al horno.

Por cada lote, el cual está definido como el menor volumen entre una jornada de trabajo y cada ochenta metros cúbicos (80 m³) de concreto celular, se obtienen cuatro (4) especímenes cilíndricos para ser fallados a compresión a la edad especificada.

611.5.2.4 Otros ensayos

Los documentos del proyecto deben establecer la realización de ensayos como la contracción por secado, la expansión térmica, la trabajabilidad, la conductividad térmica, la resistencia al fuego, la permeabilidad y la resistencia al congelamiento y deshielo, en cuyo caso se deben consultar en el documento ACI 523.1R-06 Guide for Cast-in-Place Low-Density Cellular Concrete.

611.5.3 Calidad de los materiales

El interventor no debe admitir tolerancias en relación con los requisitos establecidos en el numeral 611.5.2, para los diversos materiales que conforman el concreto celular de baja densidad, así como del producto terminado.

Los laboratorios en donde se realicen los ensayos necesarios para el control de la calidad de los materiales del concreto y el control de la calidad del concreto deben ser empresas legalmente constituidas que cuenten con experiencia y/o trayectoria en ejecución de pruebas y ensayos de control de calidad de mate-

riales, que puedan demostrar apropiadamente la competencia de su personal de laboratorio y cuyos informes de resultados informados contengan la aprobación y la autorización para su emisión, mediante la firma del responsable técnico facultado para ello. El laboratorio debe contar con todo el equipamiento principal y auxiliar necesario para el correcto desempeño de sus actividades y asegurar que estos cuenten con la exactitud y la precisión adecuadas para lograr resultados válidos. El laboratorio debe contar con un programa de calibración de sus equipos y se debe asegurar de que los resultados de la medición sean trazables al SI, mediante alguna de las siguientes alternativas:

- La calibración de los equipos proporcionados por un laboratorio de metrología acreditado por ONAC.
- La comparación directa o indirecta a patrones nacionales o internacionales que cuenten con unidades del SI.
- Los valores certificados de materiales de referencia (MRC) proporcionados por productores competentes con trazabilidad metrológica establecida al SI.

El constructor es el responsable de garantizar que todos los ensayos necesarios se realicen. Los informes de ensayos deben ser entregados rutinariamente al interventor, al profesional a cargo del diseño, a los proveedores de material y a la autoridad competente que verifique el cumplimiento de la calidad o que tome acciones correctivas.

611.6 Medida

La unidad de medida del concreto celular de baja densidad debe ser el metro cúbico (m^3), aproximado a la décima (0,1), de mezcla de concreto realmente suministrada, colocada en obra y debidamente acabada y curada; aprobada por el interventor de acuerdo con lo exigido en esta especificación. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

No se debe medir ningún metro cúbico (m^3) que el constructor haya colocado por fuera de los límites establecidos por el proyecto.

611.7 Forma de pago

El pago se debe realizar al precio unitario del contrato, por toda obra ejecutada de acuerdo con los documentos del proyecto, la presente especificación y según lo que sea aprobado por el interventor.

El precio unitario incluye materiales, producción, colocación y pruebas de materiales de concreto celular.

El precio unitario debe cubrir todos los costos de adquisición, obtención de permisos y derechos de explotación y alquiler de las fuentes de las cuales se extraen los agregados, así como el descapote y la preparación de las zonas por explotar y la adecuación paisajística de las fuentes para recuperar sus características hidrológicas superficiales al terminar la explotación.

Debe cubrir tambien, si no está incluido en otro ítem, todos los costos de construcción o mejoramiento de las vías de acceso a las fuentes, y los de la explotación de ellas; la selección, la trituración y el eventual lavado y la clasificación de los materiales pétreos; el suministro, el almacenamiento, los desperdicios, los cargues, los transportes, los descargues y las mezclas de todos los materiales constitutivos de la mezcla cuya fórmula de trabajo se haya aprobado, incluyendo los aditivos, adiciones suplementarias y complementarias.

El precio unitario debe incluir, también, los costos por concepto de patentes utilizadas por

el constructor; el suministro, la instalación y la operación de los equipos; la preparación de la superficie de las excavaciones si no está contemplada en el artículo 600; el suministro de materiales, accesorios para las formaletas, la obra falsa, su construcción y remoción; el diseño y la elaboración de las mezclas de concreto, su cargue, su transporte al sitio de la obra y la colocación; el suministro, la aplicación y acabado del producto para el curado del concreto terminado, la limpieza final de la zona de las obras y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución de los trabajos especificados.

También debe cubrir si no está incluido en otro ítem, el costo de la señalización preventiva y el ordenamiento del tránsito automotor durante la ejecución de los trabajos, y los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

Las obras de concreto que estén cubiertas por otro ítem de pago, tampoco se consideran incluidas en el presente artículo.

611.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
611.1	Concreto celular para relleno _ Densidad _____kg/m^3 , Resistencia ___MPa	Metro cúbico (m^3)

Pilotes prefabricados de concreto

Artículo 620 – 22

620.1 Descripción

Esta especificación establece los requisitos de la fabricación, el transporte y el hincado de pilotes de concreto reforzado, necesarios para la cimentación de pilas o estribos de puentes y otras estructuras, conforme con esta especificación y con los documentos del proyecto.

620.2 Materiales

Los materiales que se utilicen para la fabricación de los pilotes deben cumplir los requisitos aplicables de las siguientes especificaciones:

- Para el concreto, el artículo 630, Concreto estructural.
- Para el acero de las armaduras, el artículo 640, Acero de refuerzo.
- Para el acero estructural para puntas, el artículo 650, Estructuras de acero.

Para el caso de pilotes preesforzados, el acero de preesforzado debe ser del tipo y la resistencia establecidos en los documentos del proyecto y debe cumplir el artículo 641, Aceros de preesfuerzo. El acero debe estar libre de óxido, picado y aceite.

Se debe definir la clase de concreto, los requisitos por clase y los requisitos de durabilidad de los pilotes, de acuerdo con el artículo 630, incluyendo la resistencia a la compresión del concreto, relación agua/material cementante (a/mc) y tamaño máximo nominal del agregado. Una vez definidos los aspectos anteriormente mencionados, se debe dejar un registro documental de la definición de estos parámetros. El concreto utilizado en la construcción de los pilotes no debe tener una resistencia a compresión menor de veintiocho megapascales (28 MPa) a veintiocho días (28 d), la relación a/mc no debe ser mayor de cero coma cuarenta y cinco (0,45) y el agregado no debe tener un tamaño mayor de veinticinco milímetros (25 mm).

Cualquier acelerante o aditivo que se use para el concreto debe estar libre de cloruro de calcio u otras materias corrosivas, su uso es de responsabilidad del constructor y debe ser aprobado por el interventor. Se prohíbe el uso de aditivos ricos en álcalis, a menos que se demuestre que no causan algún efecto que comprometa la resistencia y la durabilidad del concreto, y sean aprobados por el interventor.

620.3 Equipo

Se requieren equipos para la fabricación del concreto, formaletas para la fabricación de los pilotes y equipos apropiados para el transporte, izado e hincado de los pilotes. Se debe presentar un listado, la descripción y los documentos técnicos del equipo.

620.3.1 Equipo para la preparación del concreto

En relación con el equipo requerido para preparar el concreto, se debe aplicar lo pertinente del artículo 630.

620.3.2 Formaleta

Se deben cumplir los requisitos de la PCI MNL-116, *Manual for Quality Control for Plants and Production of Structural Precast Concrete Products*.

Las formaletas para la fabricación de los pilotes deben ser metálicas, con acceso para el vibrado del concreto. Sus láminas deben ser lo suficientemente robustas para que las caras del pilote queden planas y lisas. Solo se debe autorizar el uso de formaletas de madera, si el constructor demuestra construir en ellas pilotes con las dimensiones y los alineamientos exactos y con acabados iguales a los obtenidos con formaletas metálicas.

620.3.3 Martillo de hinca

Los requisitos mínimos para el martillo de hinca se establecen en la Tabla 620 — 1.

Tabla 620 — 1. Requisitos mínimos para el martillo de hinca de pilotes prefabricados de concreto

Tipo	Peso mínimo (N)	Caída máxima (m)	Energía mínima (N-m)
Neumático, Hidráulico o Vapor	El mayor entre: - 1/4 de peso del pilote - 13 500	1,5	La mayor entre: - 38 veces la carga de diseño en kN - 3 N-m por kg de masa del pilote
Diesel	El mayor entre: - 1/4 de peso del pilote - 12 500	2,5 (Nota)	

Nota: se pueden usar martillos diésel de menor peso o mayor caída, si un análisis efectuado mediante la ecuación de onda indica que la combinación del peso del martillo, la caída y el amortiguamiento no generan esfuerzos excesivos en el pilote.

Para determinar el cumplimiento inicial de los requisitos de la Tabla 620 — 1, la altura de caída de los martillos de acción sencilla debe ser dos coma un metros (2,1 m); para los martillos de acción doble, la calificación de la energía se debe hacer sobre el ochenta y cinco por ciento (85 %) de la reportada por el fabricante.

Se pueden usar martillos que produzcan menor energía de la requerida en la Tabla 620 — 1, siempre y cuando un análisis efectuado con la ecuación de onda indique que el martillo puede hincar el pilote, hasta la profundidad especificada y alcanzar una resistencia de, al menos, tres (3) veces la carga de diseño, con una tasa de penetración superior a dos coma cinco milímetros (2,5 mm) por golpe.

Se debe realizar una evaluación para el uso de otros equipos que no se mencionan en esta especificación, mediante la aplicación de un análisis de ecuación de onda. También, se debe verificar que los esfuerzos en el pilote hallados con el análisis de ecuación de onda no excedan los siguientes valores:

- Los esfuerzos a tensión no deben ser mayores de (7,9 * ($f'c$)^{0,5} + preesfuerzo) con $f'c$ en kilopascales (kPa).
- Los esfuerzos a compresión no deben ser mayores de (0,85 * ($f'c$) – preesfuerzo) con $f'c$ en kilopascales (kPa).

Una vez realizado el análisis de la ecuación de onda, el uso del equipo y el procedimiento constructivo, este debe ser aprobado por el interventor.

Los martillos, los amortiguadores, las cabezas de hincado, las guías y los otros aditamentos, se deben someter a la aprobación previa del interventor. Una vez aceptado el sistema de hincado, el constructor no lo puede modificar sin su autorización.

La aprobación del equipo de hincado por parte del interventor no exonera al constructor de su responsabilidad en el hincado de los pilotes libres de averías, a garantizar la capacidad de soporte y a obtener la profundidad de punta indicadas en los documentos del proyecto o las especificadas en las disposiciones especiales contenidas en dichos documentos.

620.4 Ejecución de los trabajos

620.4.1 Procedimiento constructivo

El constructor debe presentar el procedimiento constructivo para aprobación del interventor, con suficiente anticipación al inicio de los trabajos. Este procedimiento debe ser elaborado por un ingeniero geotecnista con experiencia en este tipo de trabajos. El informe debe contemplar, al menos, los siguientes aspectos:

- Lista, descripción y documentos técnicos del equipo.
- Disposición y manejo del patio de fabricación de los pilotes.
- Procedimiento de fabricación (se debe incluir detalles de dosificación, colocación, curado y protección del concreto).
- Procedimiento de cargue, transporte e izado, y verificación de la capacidad del pilote para resistir los esfuerzos que se generan con estas operaciones.
- Método de hincado.
- Características del martillo, con sus respectivos soportes, acompañado del análisis del cumplimiento de los requisitos establecidos para el mismo en esta especificación.
- Verificación de la capacidad del martillo para el cumplimiento de los requisitos del proyecto, en cuanto a capacidad de carga, profundidad y penetración en el estrato portante.
- Verificación de la conservación de las características del pilote en el proceso de hinca.
- Criterio de rechazo.
- Programa de ejecución.
- Programa de control de calidad.

El constructor no puede iniciar la construcción de pilotes prefabricados mientras el procedimiento constructivo no haya sido aprobado por el interventor. Tal aprobación no lo exime de la responsabilidad por los resultados obtenidos. En caso de realizar algún cambio al plan del proceso constructivo, este no se puede realizar sin aprobación del interventor.

Se recomienda seguir las indicaciones en cuanto al procedimiento constructivo del documento ACI 543, Guía de Diseño, Fabricación e Instalación de Pilotes de Concreto. Los requisitos presentes en esta especificación se deben cumplir por encima de los encontrados en el documento ACI 543.

620.4.2 Fabricación de los pilotes de concreto

620.4.2.1 Generalidades

La fabricación de los pilotes se debe hacer de acuerdo con las partes pertinentes del artículo 630, artículo 640 y artículo 650. Los materiales y los procedimientos usados en la fabricación de los pilotes deben ser previamente aprobados por el interventor y deben estar sujetos a su inspección durante la ejecución de los trabajos; también deben permitir la producción, de manera ordenada, que garantice obtener un producto de características uniformes, de acuerdo con los diseños y dentro de las especificaciones. La densificación del concreto se debe hacer por vibración.

La zona de fabricación debe ser adecuada para el buen desarrollo de todas las operaciones, perfectamente lisa y plana. Adicionalmente, se debe comprobar que en el terreno no se produzcan asentamientos que generen esfuerzos indeseados en los elementos prefabricados, durante y después de su endurecimiento, ni deformaciones geométricas más allá de las tolerables.

El interventor puede exigir todos los cambios que considere necesarios para cumplir con estos preceptos.

La fabricación de los pilotes prefabricados y de los pilotes prefabricados preesforzados debe cumplir los requisitos de la presente especificación y los requisitos de la PCI MNL-116.

El suministro, la colocación y el tensionamiento del acero de preesfuerzo se deben realizar de acuerdo con el artículo 641.

620.4.2.2 Fabricación de los pilotes

Solamente se debe autorizar la colocación del concreto, cuando el interventor haya comprobado la exactitud en las dimensiones de las formaletas y la correcta colocación del acero de refuerzo, con un recubrimiento mínimo según los documentos del proyecto, pero no menor a cinco centímetros (5 cm).

El vaciado del concreto para cada pilote debe ser continuo desde el inicio hasta su terminación; se debe iniciar en la cabeza del pilote y continuar hacia la punta. El concreto debe ser vibrado, con procedimientos adecuados que no produzcan segregación de los agregados ni desplacen el acero de refuerzo o las formaletas. Al terminar la fabricación, de cada pilote se debe marcar cerca de la cabeza, con el número de identificación, la fecha de fabricación, la fecha de pretensado (si es aplicable), su longitud y los puntos de izada. Las marcas de identificación deben corresponder con las de los planos de montaje de los documentos del proyecto. Cualquier uso de acelerantes debe requerir la autorización previa del interventor.

En la fabricación de pilotes se debe tener en cuenta que estos deben ser capaces de soportar las operaciones de transporte, manejo e hinca, de forma que no se produzcan roturas ni

fisuras mayores de cero coma quince milímetros (0,15 mm). Los pilotes no deben tener una flecha, producida por peso propio, mayor de tres milésimas partes (0,003) de su longitud, ni pandeos locales superiores a un centímetro por metro de longitud (1 cm/m).

La superficie de la cabeza de cada pilote debe ser lisa, plana y perpendicular al eje longitudinal del mismo. En el caso de pilotes pretensados, el acero de preesfuerzo debe ser cortado debajo de la superficie final de la cabeza del pilote.

620.4.2.3 Curado

El curado del concreto se debe extender por un período mínimo de siete días (7 d), a no ser que el constructor pueda aplicar procedimientos que permitan acortar ese tiempo.

620.4.2.4 Manejo

El manejo de los pilotes durante la remoción de formaletas, curado, transporte y almacenamiento debe ser tal, que solo produzcan esfuerzos mínimos en el concreto, principalmente los de flexión, y evite fisuras, roturas, descascaramiento u otros daños, principalmente con pilotes que vayan a ser expuestos a agua salada o con sulfatos.

El transporte de los pilotes desde el sitio de fabricación, solamente se puede efectuar cuando el concreto haya alcanzado por lo menos un ochenta por ciento (80 %) de la resistencia mínima a compresión especificada para los veintiocho días (28 d).

Al izar un pilote para cualquier operación de manejo, este debe quedar suspendido en no menos de dos puntos, según las instrucciones de los documentos del proyecto, de tal manera que no se comprometa su integridad estructural, ni se causen excesivas tensiones en el elemento. Cada pilote debe tener marcas que indiquen los puntos de izaje, las cuales deben concordar con lo indicado en los documentos del proyecto. El izado se debe suspender siempre que la velocidad del viento supere cincuenta kilómetros por hora (50 km/h).

Los pilotes solo se pueden hincar luego de veintiocho días (28 d) de su fabricación.

En el caso que un pilote resultara dañado por cualquier procedimiento inadecuado durante su manejo, se debe rechazar para hinca.

620.4.3 Instalación de los pilotes

620.4.3.1 Hincado

El constructor debe ejecutar los pilotajes bajo la dirección o la asesoría permanente de un especialista en esta clase de trabajos.

Las excavaciones para fundaciones en las cuales se contemplen pilotes prefabricados se deben terminar antes que se inicie el hincado del pilote.

Se debe garantizar que los impactos del martillo se distribuyan de manera uniforme y concéntrica en la cabeza del pilote. Se debe proteger la cabeza del pilote de los impactos del martillo.

En el estudio geotécnico se debe establecer si se requiere realizar una perforación previa, con o sin extracción de suelo, para facilitar el

hincado o para minimizar el desplazamiento de suelos blandos. En caso de requerir perforación previa, en el estudio geotécnico se debe indicar su diámetro, profundidad, si se necesita estabilizar la perforación con lodo con contenido mineral o polimérico, y demás especificaciones constructivas. El proceso constructivo se debe realizar siguiendo todo lo especificado en los estudios geotécnicos. El diámetro de perforación previa para pilotes de fricción no debe ser mayor que el setenta y cinco por ciento (75 %) del diámetro o lado del pilote. En caso de que no se logre hacer pasar el pilote en la perforación a través de capas duras intercaladas, exclusivamente estas se deben limar con herramientas especiales, generando un diámetro igual o ligeramente mayor que el del pilote.

Durante las operaciones de hincado, el constructor solo debe usar los métodos previamente aprobados. En caso que se requiera cualquier variación en el método, es indispensable la aprobación escrita del interventor. Los procedimientos para la instalación de pilotes deben garantizar su integridad. También, se debe garantizar que no se ocasione daños a las estructuras e instalaciones vecinas por vibraciones o desplazamiento vertical y horizontal del suelo.

El hincado de pilotes a través de terraplenes construidos recientemente se debe hacer mediante agujeros taladrados o punzonados a través del terraplén, cuando su altura sea superior a uno coma cincuenta metros (1,50 m). Los agujeros deben tener una dimensión no inferior a la mayor sección transversal del pilote más quince centímetros (15 cm). Una vez hincado el pilote, se debe rellenar con arena o gravilla el espacio en derredor hasta el nivel de la superficie. El material resultante de los agujeros se debe disponer en un lugar aprobado por el interventor.

Los pilotes se deben hincar hasta alcanzar alguno de los siguientes requisitos:

- La resistencia nominal requerida.
- La resistencia nominal requerida y la mínima cota de punta.
- La cota de punta.

Se debe verificar la capacidad de carga de los pilotes, a partir de los conteos de golpes durante la hinca, empleando algún método debidamente reconocido.

El hincado se debe hacer en operación continua, hasta alcanzar la penetración final. Cuando se tenga que interrumpir la operación de hincado, no se debe empezar a medir la penetración por golpe, sino después de un minuto (1 min) de reiniciar la operación.

Los pilotes se deben hincar en los sitios exactos y con las inclinaciones indicadas en los documentos del proyecto, y se deben asegurar contra cualquier desplazamiento o movimiento lateral, mediante el uso de guías u otro sistema aprobado por el interventor.

Después del hincado, se deben demoler las cabezas de los pilotes siguiendo los requisitos del numeral 620.4.3.3.

El constructor debe llevar un registro completo del hincado de cada pilote con la siguiente información básica:

- Dimensiones del pilote.
- Número y localización del pilote.

- Fecha de colocación.
- Tipo, tamaño, peso y altura de caída del martinete.
- Energía de hincado por golpe.
- Tipo y dimensiones del bloque para protección de la cabeza del pilote.
- Número de golpes por minuto efectuados por el martillo.
- Número de golpes por pie de penetración.
- Número de golpes por pulgada para el último pie de penetración.
- Elevación final de la punta del pilote.
- Todos los demás datos que el interventor haya solicitado.

Si los documentos del proyecto así lo contemplan, se puede utilizar lanza de agua, en los casos en que sea difícil alcanzar la profundidad de hinca fijada en dichos documentos por tener que atravesar capas de suelos granulares densos. Esta inyección de agua se debe aplicar a una presión inferior a un megapascal (1 MPa), durante la hinca. La lanza de agua se debe emplear tan solo con aprobación del interventor y se debe aplicar con presiones y caudales no excesivos, para evitar daños en construcciones o pavimentos vecinos.

El empleo de la lanza de agua se debe suspender cuatro metros (4 m) por encima de la profundidad prevista para la terminación de la hinca, o la profundidad que se indique en los documentos del proyecto. La hinca se debe acabar siempre por el procedimiento ordinario. También se debe suspender, si el pilote se empieza a torcer, por producirse una perturbación excesiva del terreno.

En el caso de hinca de grupos cerrados de pilotes, se debe comenzar hincando las filas centrales y siguiendo después hacia las exteriores.

En el caso de pilotes compuestos por varias secciones que se vayan empalmando a medida que se hinquen, la resistencia del pilote no se considera superior a la resistencia de la junta de empalme, la cual debe estar dispuesta de modo que asegure una perfecta alineación entre las diversas secciones.

620.4.3.2 Extensión

Se debe determinar en el terreno la longitud final requerida de los pilotes, con base en las cotas mínimas a que deban llegar, según lo indiquen los documentos del proyecto y de acuerdo con la información obtenida durante el hincado. Si los pilotes no soportan la respectiva carga de diseño, se deben extender con secciones prefabricadas o fundidas en sitio, como se indica a continuación.

Las conexiones deben ser construidas, de acuerdo con los documentos del proyecto.

El concreto de la parte superior del pilote se debe remover, dejando expuestas las varillas longitudinales en un tramo de cuarenta (40) diámetros. El corte final del concreto debe ser perpendicular al eje del pilote. Si la extensión se hace con una sección de pilote prefabricada, esta se debe preparar de la misma manera. Si la extensión se funde totalmente en el sitio, el acero de refuerzo de ella se debe colocar sobre el extremo recortado del pilote hincado.

Los traslapos del refuerzo se deben soldar en una longitud no inferior a treinta (30) diámetros de las varillas, o la que se indique en los documentos del proyecto. Las formaletas para la extensión no deben permitir filtraciones de la mezcla y deben estar dispuestas en tal forma, que la extensión quede perfectamente

centrada y alineada con el pilote hincado. El concreto empleado para la extensión debe ser de la misma calidad que el usado en el pilote. No se deben quitar las formaletas antes de siete días (7 d), ni se debe proseguir con la hinca, antes de los veintiocho días (28 d) después de haber vaciado el concreto para la extensión. Si el interventor acepta el uso de acelerantes, debe determinar el tiempo necesario para proseguir con la operación de hincado.

620.4.3.3 Recorte

Después de haber terminado el hincado, los pilotes permanentes se deben recortar al nivel especificado en los documentos del proyecto y, en todo caso, en la longitud suficiente para sanear todo el concreto que pueda haber quedado resentido por el golpeo del martillo. El recorte se debe hacer con cuidado, para no afectar el concreto restante. Las fracciones de pilotes recortadas se deben conservar y, cuando el interventor lo indique, se pueden usar para alargar pilotes, haciendo el respectivo empalme. Al terminar todo el trabajo de hinca de los pilotes, los recortes hechos y los pilotes sobrantes se deben guardar cuidadosamente en el lugar de la obra o en uno adyacente a ella, para uso posterior, si es necesario. El constructor debe retirar, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), todos los aditamentos que hayan sido necesarios para la hinca.

620.4.3.4 Gráficas de hincado

Para uso en la evaluación de la capacidad de carga de los pilotes, el constructor debe elaborar y entregar al interventor gráficas de hincado de un pilote permanente hincado en cada cimentación, además de las que debe elaborar para los pilotes de prueba. El interventor debe indicar los pilotes para los cuales se deben hacer las gráficas.

620.4.3.5 Pilotes defectuosos

No se deben aceptar pilotes que resulten defectuosos por deterioro durante la hinca o por desviaciones en su posición en exceso de las tolerancias permitidas.

El constructor debe ejecutar, sin costo adicional para INVÍAS, las verificaciones técnicas, los diseños y las obras que se requieran para corregir los pilotes defectuosos y reforzar las estructuras que se apoyen en ellos, de manera que se conserven las condiciones de resistencia, seguridad y funcionalidad del diseño original establecido en los documentos del proyecto.

Las modificaciones propuestas por el constructor deben ser aprobadas por el interventor.

620.4.3.5.1 Pilotes deteriorados

No se deben aceptar los pilotes que se hayan roto o debilitado de alguna forma durante la hinca, afectando su resistencia o durabilidad. Ellos se deben extraer completamente y sustituir por otros hincados en el mismo lugar.

Si ello no es posible o si el constructor lo considera más conveniente, los pilotes defectuosos pueden ser sustituidos por pilotes hincados en sus proximidades. En este caso, el constructor debe proponer la sustitución mediante un informe técnico elaborado por un especialista estructural, con el diseño de la sustitución, que debe incluir el diseño de los nuevos pilotes y la verificación de todo el sistema de cimentación, con los ajustes y los

refuerzos que se requieran en la misma, debido al cambio en las condiciones de apoyo.

Siempre que haya duda sobre la integridad de un pilote, el interventor puede solicitar pruebas adicionales para determinar su estado, tales como pruebas de carga y pruebas de integridad de pilotes. De acuerdo con los resultados de estas pruebas, el interventor debe indicar las medidas por tomar para solucionar el problema.

620.4.3.5.2 Pilotes fuera de posición

En el caso de pilotes hincados con desviaciones en posición o inclinación fuera de tolerancias, el constructor debe ejecutar las verificaciones, los diseños y las obras de corrección y ajuste como en el caso de los pilotes deteriorados.

No se debe requerir la sustitución de los pilotes con desviaciones en su posición, si el resultado de las verificaciones técnicas efectuadas por el constructor y aprobadas por el interventor indica que la integridad de la cimentación se puede restablecer adecuadamente con un reforzamiento de los demás elementos de la cimentación.

620.4.3.6 Pilotes de prueba

Los pilotes de prueba y los pilotes utilizados para pruebas de carga estática, cuando se indique en los documentos del proyecto, deben ser suministrados en las longitudes ordenadas e hincados en los sitios y niveles indicados por el interventor, antes de ordenar el hincado de los pilotes definitivos.

El equipo de hinca y el procedimiento de ejecución que se utilice para los pilotes de prueba deben ser idénticos a los que el constructor proponga utilizar para hincar los pilotes definitivos.

A menos que el interventor apruebe algo diferente, el constructor debe excavar el terreno hasta el fondo proyectado de la zapata o cabezal, en cada sitio de prueba, antes de comenzar el hincado del pilote.

Los pilotes de prueba se deben hincar con el número de golpes de martillo establecido a la elevación de punta estimada. Los pilotes que no obtengan el número especificado de golpes a una profundidad de treinta centímetros (30 cm) por encima de la elevación de punta estimada, indicada en los documentos del proyecto, se deben dejar reposar por un período de doce a veinticuatro horas (12 h – 24 h), antes de hincarse de nuevo.

Siempre que sea posible, se debe calentar el martillo antes de reiniciar el hincado, aplicando un mínimo de veinte (20) golpes a otro pilote. Si no se obtiene el número de golpes especificado, el interventor puede ordenar al constructor hincar parte o la totalidad del pilote de prueba o repetir el procedimiento de hincado, con intervalos de reposo.

Cuando lo requiera el interventor, los pilotes de prueba hincados a las cotas indicadas en los documentos del proyecto que no tengan el número de golpes especificado, deben ser empalmados e hincados, hasta obtener la capacidad de soporte especificada.

620.4.3.7 Seguridad

Los trabajos de pruebas de carga, hinca y recorte de pilotes involucran riesgos de operación que deben ser considerados

adecuadamente por el constructor. El personal que se emplee para ello debe acreditar experiencia en este tipo de trabajo y utilizar los elementos de seguridad adecuados. El interventor debe ordenar la suspensión de los trabajos, si detecta que el constructor descuida estas precauciones.

620.4.4 Pruebas de carga

El diseñador debe establecer las pruebas de carga a realizar para la evaluación de los pilotes de concreto. Para la realización de las pruebas el constructor debe seguir las indicaciones del diseñador, contenidas en los documentos del proyecto, y del interventor.

Los tipos de prueba deben estar establecidos en los documentos del proyecto por parte del diseñador. Se debe utilizar el procedimiento que corresponda de los establecidos en las normas indicadas en la Tabla 620 — 2, según el tipo de prueba.

Tabla 620 — 2. Normas de referencia para pruebas de carga de pilotes

Tipo de prueba de carga	Norma ASTM
Carga de compresión axial estática	D1143
Carga de tensión axial estática	D3689
Carga lateral estática	D3966
Prueba de carga dinámica de alta deformación	D4945
Prueba de carga rápida a compresión por pulso de carga tipo *Statnamic*	D7383

Las pruebas de carga estática no se deben realizar antes de cumplirse cinco días (5 d) después de la instalación del pilote.

Se debe tener registro de la documentación de los equipos usados en las pruebas, en donde se incluya un certificado de la calibración de los equipos que lo requieran.

Se debe llevar registro por lo menos de los siguientes datos:

- Condiciones del subsuelo en el lugar de la prueba.
- Descripción del pilote o pila y datos obtenidos durante la instalación.
- Descripción del sistema de carga y del método de prueba.
- Tabla de cargas y deformaciones durante las etapas de carga y descarga del pilote o pila.
- Representación gráfica de la curva asentamientos-tiempo para cada incremento de carga.
- Observaciones e incidentes durante la instalación del pilote o pila y la prueba.

620.4.5 Manejo ambiental

En adición a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las labores de pilotes prefabricados de

concreto se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en los estudios o las evaluaciones ambientales del proyecto y las normas y disposiciones vigentes sobre la conservación del ambiente y los recursos naturales.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades deben estar incluidas en los costos del proyecto, por tanto, no deben ser objeto de reconocimiento directo en el contrato.

620.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

620.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Comprobar permanentemente el estado de funcionamiento del equipo de construcción.
- Supervisar la correcta aplicación de los métodos de trabajo aprobados.
- Comprobar que los materiales cumplen los requisitos de calidad exigidos en el numeral 620.3.
- Verificar el cumplimiento de las normas ambientales requeridas.

Adicionalmente, el interventor, en particular, debe adelantar los siguientes controles principales:

- Exigir la presentación de los planos de trabajo por parte del constructor.
- Verificar que el constructor emplee el equipo aprobado.
- Exigir al constructor la adopción de medidas para garantizar la protección de las estructuras vecinas a la zona de trabajo.
- Ordenar las pruebas necesarias para comprobar la capacidad de carga de los pilotes y efectuar las determinaciones pertinentes.
- Medir, para efectos de pago, las cantidades de obra ejecutadas por el constructor, para cumplir la presente especificación.

620.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancia

620.5.2.1 Calidad del concreto

En relación con la calidad de los ingredientes y de la mezcla de concreto, debe regir todo lo aplicable del artículo 630.

No se deben aceptar los pilotes cuya calidad de concreto resulte defectuosa.

El constructor debe ejecutar, sin costo adicional para INVÍAS, las verificaciones técnicas, los diseños y las obras que se requieran para sustituir los pilotes defectuosos por nuevos pilotes y reforzar las estructuras que se apoyen en ellos, de manera que se conserven las condiciones de resistencia, seguridad y funcionalidad del diseño original.

Por cada grupo de diez (10) pilotes prefabricados o por cada día de trabajo, según determine el interventor, se deben tomar al azar dos (2) o tres (3) muestras de la mezcla, según el procedimiento descrito en la norma de ensayo INV E-401. Con dichas muestras, se deben elaborar y curar cilindros, conforme se establece en la norma de ensayo INV E-420/NTC 550, los cuales se deben ensayar a compresión simple a los veintiocho días (28 d), según la norma INV E-410/NTC 673. La verificación de la resistencia del concreto se debe realizar, de acuerdo con lo especificado en el artículo 630.

Las modificaciones propuestas por el constructor solo se deben aplicar en caso de ser aprobadas por el interventor.

Se deben tener en cuenta las recomendaciones del artículo 630 para garantizar:

- La calidad de los ingredientes de la mezcla y de los productos de curado.
- La calidad de la mezcla:
  - Dosificación
  - Consistencia
  - Resistencia
- Los demás requisitos del concreto.

620.5.2.2 Acero de refuerzo

La calidad del acero de refuerzo debe cumplir lo establecido en el artículo 640.

En relación con la colocación de la armadura, se deben aceptar las tolerancias indicadas en el numeral 640.5.2 del mismo artículo.

620.5.2.3 Aceptación de pilotes para el hincado

Los pilotes prefabricados solamente se deben aceptar para el hincado, si cumplen las dimensiones del diseño establecidas en los documentos del proyecto, con estas especificaciones y con las especificaciones particulares de los documentos del proyecto, si las hay. Sus superficies deben ser lisas, uniformes, libres de bordes salientes, hormigueros u otros defectos.

Los pilotes que presenten desperfectos superficiales, deformaciones, deficiencias en dimensiones, grietas, o señales de haber sido averiados durante su manejo, pueden ser rechazados por el interventor.

620.5.2.4 Prueba de carga

El trabajo para las pruebas de carga se debe hacer de acuerdo con los planos y la metodología establecida por el diseñador, en los documentos del proyecto, y las instrucciones del interventor; y los materiales, los equipos y el personal calificado que sean necesarios, los debe suministrar el constructor.

En caso que las pruebas indiquen que el pilote no es estructuralmente adecuado, es responsabilidad del constructor realizar las reparaciones o los reemplazos requeridos. El trabajo de reparación o reemplazo debe ser aprobado por el interventor. El constructor debe corregir todo defecto de calidad de los materiales, de ejecución o terminación de los pilotes prefabricados, sin costo adicional para INVÍAS, de acuerdo con las instrucciones del interventor y hasta contar con su aprobación.

620.5.2.5 Tolerancias en la posición de los pilotes

Salvo que los documentos del proyecto indiquen otra cosa, las tolerancias de construcción para los pilotes hincados de concreto deben ser las siguientes:

- La desviación del alineamiento de un pilote, respecto de la inclinación especificada, no puede ser mayor del tres por ciento (3 %) de la longitud del pilote.
- El desplazamiento de la cabeza del pilote no debe diferir del previsto en más de diez centímetros (10 cm), en cualquier dirección.

Los anteriores requisitos no se deben aplicar en el caso de los pilotes hincados desde plataformas flotantes, para los cuales se deben establecer las tolerancias en los

documentos del proyecto o en una especificación particular.

Cuando se trate de pilotes cuya punta deba descansar sobre estratos muy resistentes, se debe vigilar, mediante nivelación, que la hinca de unos pilotes no produzca la elevación de los ya hincados, lo cual podría ocasionar que estos perdieran el contacto con dicho estrato. Si así fuera, el constructor debe rehincar los pilotes hasta asegurar el mencionado contacto.

Todos los trabajos cuya calidad y terminación no cumplan lo especificado en el presente artículo, deben ser corregidos por el constructor, sin costo adicional para INVÍAS, de acuerdo con las instrucciones del interventor y hasta contar con su aprobación.

620.6 Medida

620.6.1 Pilotes prefabricados de concreto

La unidad de medida para los pilotes prefabricados de concreto debe ser el metro (m), aproximado a la décima (0,1), de pilote realmente hincado, de acuerdo con los documentos del proyecto y esta especificación. El resultado de la medida se debe informar con la aproximación establecida, mediante el método de redondeo de la norma INV E-823.

En la medida se deben incluir los pilotes empleados en las pruebas de carga efectuadas por indicación de los documentos del proyecto o por solicitud del interventor, así ellos no queden incorporados en la estructura permanente.

620.6.2 Extensión de pilotes

Las extensiones de pilotes, autorizadas y aprobadas por el interventor, deben tener como unidad de medida el metro (m), aproximado a la décima (0,1). El resultado de la medida se debe informar con la aproximación establecida, mediante el método de redondeo de la norma INV E-823.

620.6.3 Pruebas de carga

Las pruebas de carga efectuadas por indicación de los documentos del proyecto o por solicitud del interventor, se deben pagar por unidad (u). Si dichas pruebas se realizan a solicitud del constructor, no se deben medir ni tener compensación alguna.

620.7 Forma de pago

620.7.1 Pilotes prefabricados de concreto

El pago de los pilotes prefabricados de concreto y las extensiones de estos, se debe hacer a los respectivos precios unitarios del contrato y por toda obra aprobada por el interventor.

El precio unitario debe incluir los costos de todos los materiales y los elementos empleados en la fabricación de los pilotes de las dimensiones especificadas, tales como el concreto, las formaletas, el acero de refuerzo y las puntas de acero estructural; los costos de fabricación, curado, eventuales patentes, transporte, almacenamiento, desperdicios, manejo, izada, hincado y recorte de los pilotes; los equipos requeridos y demás accesorios y, en general, todo costo relacionado con la

correcta ejecución de los trabajos especificados en este artículo.

El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

620.7.2 Extensión de pilotes

El precio unitario para extensiones de pilotes debe incluir todos los costos de preparación de la cabeza del pilote hincado y de materiales, fabricación, curado, transporte cuando corresponda y colocación de la extensión, de acuerdo con esta especificación y las instrucciones del interventor.

El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

620.7.3 Pruebas de carga

El precio unitario para las pruebas de carga debe incluir todos los costos por mano de obra, equipo y materiales requeridos para su correcta ejecución. Para reconocer el pago de estas pruebas, se requiere que ellas estén contempladas en los documentos del proyecto o sean solicitadas por el interventor.

Las pruebas de carga en los pilotes de trabajo, realizadas por dudas en la calidad del pilote no se deben medir ni se debe pagar, como tampoco las que se efectúen por solicitud del interventor.

El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

620.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
620.1	Pilotes prefabricados de concreto, de sección ____	Metro (m)
620.2	Extensión de pilotes, de sección ____	Metro (m)
620.3	Prueba de carga tipo ____	Unidad (u)

Nota: se deben elaborar ítems de pago independientes por cada sección de pilote y por cada tipo de prueba de carga que contemplen los documentos del proyecto.

Pilotes preexcavados

Artículo 621 – 22

621.1 Descripción

Esta especificación hace referencia a la construcción de pilotes de concreto vaciados *in situ*, con o sin bases acampanadas, cuya ejecución se efectúa excavando previamente el terreno y rellenando la excavación con concreto fresco y las correspondientes armaduras, con los diámetros, las longitudes y las profundidades indicadas en los documentos del proyecto.

De acuerdo con las condiciones del suelo y de instalación, la ejecución de pilotes preexcavados puede requerir la instalación de camisas metálicas de soporte que pueden o no ser retiradas al final de la colocación del concreto. También, puede requerir la ejecución de la perforación y el vaciado del concreto bajo agua o bajo lodos de perforación.

621.2 Materiales

621.2.1 Concreto

El concreto que se utilice en la fabricación de pilotes debe cumplir los requisitos aplicables del artículo 630, Concreto estructural.

Se deben definir la clase de concreto, los requisitos por clase y los requisitos de durabilidad de los pilotes de acuerdo con el artículo 630, incluyendo la resistencia a la compresión del concreto, relación agua/material cementante (a/mc) y tamaño máximo nominal del agregado. Una vez definidos los aspectos anteriormente mencionados, se debe dejar un registro documentado de la definición de estos parámetros. El concreto utilizado en la construcción de los pilotes no debe tener una resistencia a compresión menor de veintiocho megapascales (28 MPa) a veintiocho días (28 d), la relación a/mc no debe ser mayor a cero coma cuarenta y cinco (0,45) y el agregado no debe tener un tamaño mayor de treinta y dos milímetros (32 mm).

Cualquier acelerante o aditivo que se use para el concreto debe estar libre de cloruros u otros materiales corrosivos, y solo se puede usar si es aprobado por el interventor, se aclara que su uso es responsabilidad del constructor. Igualmente, se prohíben los aditivos ricos en álcalis, a menos que se demuestre que no causan efectos que comprometan la resistencia y durabilidad del concreto. En caso de usarse, deben ser aprobados por el interventor.

El concreto debe tener una fluidez suficiente para garantizar continuidad en su colocación. En la Tabla 621 — 1 se establecen los requisitos de asentamiento para el concreto de pilotes preexcavados, medido según la norma de ensayo INV E-404/NTC 396.

Tabla 621 — 1. Requisitos de asentamiento para concreto de pilotes preexcavados

Tipo de colocación	Límites de aceptación para construcción (mm)	
	Mínimo	Máximo
En seco	152	203
Construcción con camisa de acero o por método tremie	203	245

En caso de usar concretos autocompactantes, se debe verificar su idoneidad y seguir las indicaciones de la ACI 237R.

621.2.2 Acero de refuerzo

El acero empleado en la construcción de las canastas de refuerzo debe cumplir las características indicadas en el artículo 640, Acero de refuerzo.

Las armaduras transversales se sujetan a las longitudinales, por amarres o soldadura. En pilotes hasta de diez metros (10 m) de longitud se pueden admitir los amarres, pero a partir de esta longitud, las armaduras deben estar soldadas entre sí, al menos en uno (1) de cada dos (2) puntos de contacto. En caso de usar soldadura para sujetar el refuerzo transversal con el longitudinal, el acero de refuerzo debe cumplir la norma ASTM A706 y la soldadura debe ser puntos en electrodos 70XX o 60XX. Esta solo puede ser utilizada cuando sea requerida por temas constructivos mas no estructurales. Las soldaduras que cumplan una función estructural deben ser establecidas en el diseño estructural y construidas de acuerdo con los requisitos estructurales presentados en los documentos del proyecto.

La soldadura debe reemplazar únicamente el amarre, brindando mayor estabilidad. Es importante aclarar que esta no reemplaza la longitud de traslapo, ni los ganchos.

621.2.3 Camisas de acero

El acero estructural empleado en la fabricación de las camisas de contención debe ser de calidad AASHTO M 270, grado treinta y seis (36), a no ser que los documentos del proyecto exijan algo diferente. Toda conexión soldada se debe realizar de acuerdo con los requisitos de conexiones soldadas establecidos en AASHTO LRFD *Bridge Design Specifications*.

Los revestimientos o camisas deben ser metálicos, lisos, sin residuos de concreto endurecido en la superficie interna, herméticos y suficientemente resistentes para soportar los esfuerzos de manejo e hincado, lo mismo que la presión ejercida por el concreto y el material de terreno circundante. El diámetro interior de las camisas no debe ser inferior al tamaño especificado del pilote.

621.2.4 Lodos de perforación

Se permite el uso de lodos con contenido mineral y/o polimérico. El lodo de perforación mineral empleado debe ser una suspensión de mineral arcilloso procesado, consistente en bentonita o atapulgita, con agua limpia. El

lodo de perforación debe tener la viscosidad suficiente y las características reológicas apropiadas para transportar el material excavado hasta un sistema de cernido adecuado; el porcentaje del mineral arcilloso en la suspensión y la densidad del lodo debe ser suficiente para mantener la estabilidad de la excavación y permitir el vaciado del concreto. En la Tabla 621 — 2 se indican los valores aceptables para las propiedades físicas de la suspensión mineral.

Los lodos de perforación con un contenido de polímeros o polímeros con bentonita pueden ser usados como lodos de estabilización, con base en la experiencia exitosa de casos previos, en condiciones geotécnicas similares, o en el caso de realizar excavaciones de ensayo a escala natural *in situ* que demuestren un comportamiento satisfactorio. Los lodos de perforación deben cumplir lo especificado en la Tabla 621 — 2. Por su parte, las suspensiones con polímeros se deben usar siguiendo las recomendaciones consignadas en la ficha técnica del producto suministrada por el fabricante.

Se pueden usar nuevas tecnologías de estabilización bajo la aprobación del interventor, previo sustento técnico de su funcionamiento y siguiendo las indicaciones y requisitos consignados en la ficha técnica del producto suministrada por el fabricante. Se debe realizar un acompañamiento técnico muy riguroso.

Tabla 621 — 2. Características de la suspensión mineral para lodos de perforación

Propiedad	Rango de resultados a 20 °C	Método de prueba (Nota 1)
Densidad antes de colocar el concreto, máximo (kg/m^3)	1 200	(Balanza de lodos) API RP 13B-1 Sección 4 o ASTM D4380
Viscosidad antes de colocar el concreto (s/qt)	26 – 45	(Cono Marsh) API RP 13B-1 Sección 6.2 o ASTM D6910
Contenido de arena por volumen antes de colocar el concreto (%)	≤ 4	(Medidor de contenido de arena) API RP 13B-1 Sección 9 o ASTM D4381
pH, durante la excavación	8 – 12	(Medidor pH o electrodo) API RP 13B-1 Sección 11 o ASTM D4972

Nota 1: API, *American Petroleum Institute*

Nota 2: en caso de ser aprobado el uso de lodos con agua salada, los valores de densidad pueden aumentar trecientos kilogramos por metro cúbico (300 kg/m^3) . No se debe permitir el uso de agua salada en caso de usar refuerzo o de no tomar medidas para garantizar la protección del acero de refuerzo.

Nota 3: el cono de Marsh especificado corresponde al modelo de ciento cincuenta y dos milímetros (152 mm) en boca de entrada y cuatro coma setenta y seis milímetros (4,76 mm) en boca de salida, embudo de trescientos cinco milímetros (305 mm) de altura y salida de cincuenta milímetros (50 mm) de altura.

Nota 4: las pruebas de viscosidad y pH se deben realizar durante la excavación del pozo, para establecer un patrón de trabajo consistente.

Nota 5: antes de colocar las armaduras del pilote de concreto armado, se deben tomar muestras del lodo de perforación a partir del fondo de la excavación y a intervalos que no excedan los tres metros (3 m) para la altura total del lodo de perforación. Cualquier lodo de perforación altamente contaminado que se haya acumulado en el fondo de la excavación del pilote debe ser reemplazado. Las características del lodo de perforación deben estar dentro de los requisitos especificados en la tabla al momento del vaciado.

621.3 Equipo

La construcción de pilotes preexcavados requiere de equipos para la elaboración de agregados pétreos y la fabricación del concreto, los cuales deben estar de acuerdo con el artículo 630.

En relación con el resto del equipo requerido, depende del sistema de construcción adoptado, pero básicamente incluye grúas, taladros, barrenos, baldes de achique, equipo desarenador, equipo de muestreo, tuberías de vaciado, tuberías de revestimiento, bombas de concreto y, en general, cualquier otro equipo necesario para la correcta ejecución de los trabajos.

621.4 Ejecución de los trabajos

621.4.1 Procedimiento constructivo

Para la ejecución de los trabajos el constructor debe seguir las indicaciones del estudio geotécnico y del diseño estructural de los documentos del proyecto. Este estudio debe definir si la perforación previa es estable en forma natural o si, por el contrario, se requiere estabilizarla con lodo mineral o polimérico, con entibado o encamisado. Los estudios, los diseños y las especificaciones deben estar avalados y firmados por el ingeniero geotecnista.

Se recomienda seguir las indicaciones en cuanto a procedimiento constructivo del documento ACI 336.3R, *Report on design and construction of drilled piers*. Es importante aclarar que los requisitos presentes en esta especificación se deben cumplir por encima de los encontrados en el documento ACI 336.3R. Con suficiente anticipación a la iniciación de los trabajos, el constructor debe presentar para aprobación del interventor el procedimiento constructivo. El informe debe contemplar al menos los siguientes aspectos:

- Procedimiento de fabricación.
- Lista, descripción y documentos técnicos del equipo.
- Detalles de la secuencia de construcción.
- Detalles de los métodos de excavación de pozos.
- Detalles del método por utilizar para garantizar la estabilidad de la excavación y el plan de verificación de la idoneidad del método.
- Detalles del método propuesto para mezclar, recircular y desarenar el lodo de perforación, en caso de que se requiera.
- Detalles de los métodos de limpieza.
- Plan de disposición de material resultante de la excavación y lodos.
- Métodos para verificar la profundidad del pilote.
- Métodos para verificar la forma de las campanas, si ellas se requieren.

- Detalles de la colocación del refuerzo.
- Detalle de instalación y extracción de camisas temporales; instalación de camisas permanentes, en caso que se requieran.
- Detalles de dosificación, colocación, curado (cuando sea necesario) y protección del concreto.
- Detalles de las pruebas de carga requeridas, o pruebas especiales.
- Plan detallado de control de calidad.
- Información adicional requerida por el interventor.

Dentro de dicho informe se debe registrar la localización de los pilotes, las dimensiones generales de las perforaciones, las fechas de perforación y de vaciado, la profundidad y los espesores de los estratos y las características del material de apoyo. Durante la perforación se debe verificar que el material encontrado coincida con el estudio de suelos, para así hacer una verificación de la validez de los diseños de los documentos del proyecto, de acuerdo con lo encontrado en obra.

El constructor no puede iniciar la construcción de pilotes preexcavados mientras el procedimiento constructivo no haya sido aprobado por el interventor. Tal aprobación no lo exime de la responsabilidad por los resultados obtenidos. En caso de realizar algún cambio al plan del proceso constructivo, este debe tener la aprobación del interventor y los especialistas involucrados.

621.4.2 Protección de estructuras existentes

El constructor debe tomar las precauciones necesarias para evitar daños en las estructuras e instalaciones existentes en vecindades de la zona de los trabajos. Estas medidas incluyen, pero no se limitan, a la selección de los métodos y procedimientos de construcción que eviten socavación excesiva en la excavación de pozos, monitoreo y control de vibraciones provenientes del hincado de camisas y de la perforación del pozo o de las voladuras, en caso de que estas se permitan.

Todos los daños y las molestias que se produzcan por este motivo son de su única y absoluta responsabilidad y, por tanto, todas las acciones técnicas y de cualquier otra índole que se deban acometer para enfrentar y resolver la situación planteada, deben ser ejecutadas por el constructor sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS).

621.4.3 Métodos de excavación

Se debe construir una guía antes de iniciar la perforación con el objetivo de preservar la seguridad del personal y la calidad del pilote. El proceso de excavación se debe realizar de forma continua hasta que se complete la excavación y solo se permiten pausas para realizar empalmes de camisas o eliminación de obstrucciones. Se debe seguir el procedimiento constructivo determinado por el estudio geotécnico y se debe garantizar una zona de trabajo idónea, capaz de resistir el peso del equipo utilizado para la excavación.

Toda excavación de fundaciones en las cuales existan pilotes preexcavados o perforados, debe ser terminada antes de iniciar la construcción de los pilotes. Cuando se deban instalar pilotes preexcavados en conjunto con la colocación de terraplenes, los pilotes se deben construir después de la colocación del relleno, a menos que los documentos del proyecto o el interventor indiquen lo contrario.

Se debe llevar un registro continuo de la perforación de cada pilote, donde se consignen la profundidad y la calidad del terreno excavado, además de los rendimientos obtenidos durante el proceso, consecutivo de pilotes, localización (coordenadas), especificaciones de la estabilización, tipo de armadura de refuerzo, método constructivo y demás datos necesarios para la posterior construcción del pilote.

En caso de realizar excavaciones para pilotes a corta distancia entre sí o respecto a otro tipo de estructuras, se deben tomar las medidas necesarias para evitar colapsos, pilotes fuera de posición o daños de estos. El estudio geotécnico debe determinar las distancias mínimas entre pilotes, además del proceso constructivo. Se debe garantizar que en obra se siguen dichas indicaciones.

Las excavaciones de pilote no se deben realizar demasiado cerca de otra excavación en la que el concreto colocado no ha alcanzado la resistencia de diseño.

Para el caso de perforaciones para pilotes con ampliación de la base (campana), esta se debe realizar vertical en los primeros veinte centímetros (20 cm) y luego formar con la horizontal un ángulo no menor de sesenta grados (60°).

Las excavaciones para pilotes acampanados se deben efectuar de acuerdo con las dimensiones y las cotas indicadas en los documentos del proyecto. El método por utilizar es el señalado en dichos documentos y debe ser el adecuado para los fines propuestos y los materiales existentes. Si no se indica ningún método en particular, el constructor puede seleccionar y utilizar el sistema que considere apropiado para realizar el trabajo, el cual debe someter a la aprobación del interventor.

621.4.4 Verificación del fondo de la excavación

Antes de la fundida, se debe realizar la inspección directa o indirecta del fondo de la perforación (donde se apoya el pilote) para evaluar sus características y verificar que todos los materiales derrumbados han sido removidos. La cota de fondo del pilote mostrada en los documentos del proyecto se puede ajustar durante el proceso de construcción, si se determina que el material de fundación encontrado no es adecuado y difiere del considerado en el diseño de los pilotes.

El constructor debe tomar las muestras o núcleos de roca indicados en los documentos del proyecto u ordenados por el interventor para determinar las características del material que se encuentra por debajo de la excavación del pilote. El interventor debe determinar, una vez inspeccionados los núcleos o las muestras, la profundidad final de la excavación del pozo.

Los materiales provenientes de la excavación y los líquidos utilizados en la perforación deben ser retirados, de acuerdo con las disposiciones establecidas en los documentos del proyecto o según lo ordene el interventor.

Cuando los documentos del proyecto indiquen cimientos acampanados, estos deben ser excavados para conformar un área de apoyo de la forma y el tamaño indicados en dichos documentos. La forma de campana se obtiene mediante la utilización de métodos mecánicos de excavación.

621.4.5 Hinca de camisas

Las camisas, que pueden ser temporales o definitivas, se deben hincar con un procedimiento adecuado, empleando equipos previamente aprobados por el interventor.

En el caso de camisas definitivas, al término de la excavación, el encamisado se debe recortar a la cota indicada en los documentos del proyecto. Luego del vertimiento del concreto, todos los espacios entre la camisa y la excavación se deben llenar con material que se aproxime a las propiedades geotécnicas del suelo *in situ*. Cuando se presenten desplazamientos del terreno, se deben realizar mediciones frecuentes del diámetro en al menos dos direcciones; también, verificar las elevaciones de la camisa.

En el caso de camisa permanente y al término de la excavación, el encamisado se debe recortar a la cota indicada.

Las camisas temporales se deben retirar mientras el concreto sea manejable. Generalmente, el retiro de las camisas temporales no se debe iniciar hasta tanto el concreto no se encuentre al nivel o por encima de la superficie del terreno. Se permite el empleo de un movimiento de rotación de la camisa ejerciendo presiones hacia arriba para facilitar su extracción o la utilización de un implemento vibratorio. La extracción de la camisa se debe realizar lentamente, a una velocidad uniforme, con una tracción paralela al eje del pilote. Sobre el fondo de la camisa se debe mantener una cabeza de concreto suficiente para vencer la presión hidrostática ejercida por el agua o el líquido de perforación que esté por fuera de la camisa.

621.4.6 Lodos de perforación

Cuando se requiera emplear la suspensión, cuyas características se han definido en el numeral 621.2.4, su nivel se debe mantener a una altura adecuada para garantizar la estabilidad de la excavación. El nivel debe estar siempre, como mínimo:

- Uno coma cinco metros (1,5 m) por encima del nivel freático y zonas inestables para el caso de lodos minerales.
- Tres metros (3 m) por encima del nivel freático y zonas inestables para lodos con contenido de polímeros. Esta dimensión puede ser menor si la ficha técnica del producto suministrada por el fabricante del lodo lo indica y el interventor lo aprueba.

La suspensión mineral debe ser premezclada con agua dulce y permitírsele suficiente tiempo de hidratación, antes de introducirla en la excavación del pozo.

Cuando lo indiquen los documentos del proyecto, se deben proporcionar tanques adecuados para la suspensión, pero en este caso no se permiten pozos excavados de suspensión, a menos que el interventor lo apruebe por escrito. Se deben tomar las medidas que se requieran, tales como agitación, circulación y ajuste de las propiedades de la suspensión, con el fin de evitar el fragüe de esta en la excavación del pozo.

Antes de colocar el concreto del pilote, se deben tomar muestras de la suspensión desde el fondo y a intervalos que no superen los tres metros (3 m) en toda la altura de la suspensión. Cualquier suspensión altamente contaminada que se haya acumulado en el fondo del pozo, debe ser renovada.

Inmediatamente antes de iniciar el vaciado del concreto para el pilote, la suspensión mineral o polimérica debe estar dentro de los requisitos establecidos en la Tabla 621 — 2. Si estos requisitos no se cumplen, la suspensión se debe renovar hasta obtenerlos para poder iniciar el proceso de colocación del concreto.

621.4.7 Inspección de la excavación

El constructor debe suministrar equipo para verificar las dimensiones y alineamientos de cada excavación de pilotes. Tal verificación la debe hacer bajo la dirección del interventor. La profundidad final del pozo se debe medir luego de completar la limpieza final.

La excavación del pozo se debe limpiar hasta que el cincuenta por ciento (50 %) de la base, como mínimo, tenga menos de un centímetro (1 cm) de sedimento y, en ningún lugar de la base, más de cuatro centímetros (4 cm) de sedimento.

La limpieza del pozo debe ser aprobada por el interventor.

621.4.8 Construcción y colocación de la canasta de refuerzo

La canasta de refuerzo comprende el acero indicado en los documentos del proyecto, adicionado de las varillas de refuerzo de la canasta y de espaciadores, centralizadores y otros accesorios necesarios completamente ensamblados y colocados como una unidad, inmediatamente después de que el interventor inspeccione y acepte la excavación del pozo, y antes de la colocación del concreto. La canasta de refuerzo se debe construir de acuerdo con las especificaciones y los detalles presentados en los documentos del proyecto, incluyendo requisitos para traslapos de armadura, estribos, soldaduras y demás especificaciones de la canasta.

El acero de refuerzo dentro del pozo se debe amarrar y soportar dentro de las tolerancias permitidas, hasta que el concreto lo soporte por sí mismo.

Cuando se coloque el concreto por medio de tubería de vaciado, se deben utilizar dispositivos de anclaje temporales, para evitar que la canasta se levante durante la colocación del concreto.

Los espaciadores de concreto o cualquier otro dispositivo de separación no corrosivo aprobado, deben ser utilizados a intervalos que no excedan de uno coma cinco metros (1,5 m) a lo largo del pozo, para garantizar la posición concéntrica de la canasta dentro de la excavación. Cuando las varillas de refuerzo longitudinal exceden de veinticinco milímetros (25 mm) (nro. 8), dicho espaciamiento no debe ser mayor de tres metros (3 m).

621.4.9 Colocación, curado (cuando sea necesario) y protección del concreto

El concreto debe ser vaciado dentro del pozo, tan pronto como sea posible, luego de colocar la canasta de acero de refuerzo con todos sus aditamentos. La colocación del concreto se debe realizar con procedimientos que eviten la segregación de este y su contaminación. Esta contaminación puede ser con el lodo estabilizador de la perforación o con derrumbes de las paredes de la excavación.

El constructor debe cuidar que, en ningún momento, la altura de caída del hormigón sea mayor de un metro (1,0 m). En caso de que el concreto vaya a ser colocado bajo agua o suspensión, debe ser colocado mediante un tubo de vaciado (tubo tremie) o por medio de bombeo. El tubo tremie se debe mantener en todo momento con su punta hundida a lo menos dos metros (2 m) en el hormigón fresco. De esta forma, se debe garantizar la salida del hormigón contaminado a la superficie para su eliminación.

Se permite realizar la excavación y la construcción de los pilotes, mediante la metodología CFA (*Continuous Flight Auger*). El procedimiento constructivo y pruebas requeridas para los pilotes CFA deben ser presentadas al interventor y evaluadas por él mismo para su aprobación. Solo se puede iniciar la construcción una vez sea aprobado por el interventor.

La colocación del concreto debe ser continua hasta la cota superior del pozo y seguirse una vez llenado este, hasta que se evidencie la buena calidad del concreto. No se deben aceptar, en ningún caso, interrupciones, motivando el rechazo del pilote si esto sucediera.

Para pozos con diámetros inferiores a dos coma cuarenta metros (2,40 m), el tiempo transcurrido desde el comienzo de colocación del concreto hasta su terminación no debe exceder de dos horas (2 h). Para pozos de diámetro igual o mayor, la rata de colocación de concreto no debe ser inferior a nueve metros (9 m) de altura del pozo por cada periodo de dos horas (2 h).

La mezcla del concreto debe ser de un diseño tal, que permita mantener su estado plástico durante el límite de colocación de dos horas (2 h).

Cuando la cota superior del pilote queda por encima del terreno, la porción que sobresale debe ser conformada con una formaleta removible o una camisa permanente, cuando así lo establezcan los documentos del proyecto.

Cuando se desplante la cimentación sobre el concreto sano del pilote se debe dejar, en la parte superior, una longitud adicional de concreto equivalente al noventa por ciento (90 %) del diámetro de este. El concreto que acarrea las impurezas durante el proceso de vaciado, puede ser retirado con un equipo neumático hasta un nivel no menor de veinte centímetros (20 cm) arriba de la cota de desplante. Estos últimos veinte centímetros (20 cm) se deben retirar manualmente evitando que se produzcan fisuras en el concreto del pilote que recibe el resto de la cimentación. En el caso de pilotes excavados manualmente y vaciados en seco, la longitud adicional puede ser hasta de cincuenta por ciento (50 %) del diámetro del pilote, evitando remover el concreto en estado fresco. Esta parte se debe retirar siguiendo los lineamientos previamente indicados.

Se debe garantizar que las varillas de refuerzo del pilote descabezado tengan la longitud necesaria para su anclaje a los elementos estructurales que se deben conectar al pilote.

El concreto del pilote debe ser vibrado o manipulado con una varilla, hasta una profundidad de cinco metros (5 m) debajo de la superficie del terreno, con los equipos de vibrado del concreto necesarios, excepto cuando el material blando o suspensión que permanezca en la excavación se pueda mezclar con el concreto.

Luego de la colocación, las superficies expuestas transitoriamente del pilote de concreto

deben ser curadas. No se deben ejecutar operaciones de construcción por lo menos durante cuarenta y ocho horas (48 h) después de la colocación del concreto, para evitar movimientos del terreno adyacente al pilote. Solamente se permite un vibrado moderado.

Las partes de pilotes expuestas a cuerpos de agua deben ser protegidas contra la acción del agua, dejando las formaletas por lo menos siete días (7 d) después de la colocación del concreto.

Se debe realizar un control del volumen real colocado, es decir, se debe calcular el volumen teórico y compararlo con el volumen real instalado. En el caso en que el volumen real colocado sea apreciablemente menor que el volumen teórico, esto puede indicar que se presentaron colapsos de paredes laterales o contaminación del concreto, por lo cual el constructor debe tomar medidas al respecto.

621.4.10 Perforación de prueba para pilotes preexcavados

Se deben ejecutar perforaciones de prueba para pilotes preexcavados, cuando se establezca de esta forma en los documentos del proyecto o lo ordene el interventor. Dichas pruebas se deben utilizar para determinar si los métodos, el equipo y los procedimientos empleados por el constructor son suficientes para lograr excavaciones de pilotes que cumplan con los requisitos establecidos en los documentos del proyecto.

Durante la ejecución de las perforaciones de prueba, el constructor debe revisar en forma permanente el comportamiento de la excavación y el tipo de suelo obtenido de la excavación, para verificar la información del estudio de suelos. El constructor debe realizar una comparación general entre el perfil de suelos reportado en el estudio de suelos de los documentos del proyecto y el obtenido en la excavación. Si es necesario, de forma oportuna debe solicitar la verificación de los diseños o realizar los ajustes necesarios de los métodos o, el equipo o los procedimientos empleados, con el fin de completar satisfactoriamente la excavación.

La localización de los sitios para la ejecución de las perforaciones de prueba de pilotes debe ser la indicada en los documentos del proyecto o la ordenada por el interventor. El diámetro y la profundidad de las perforaciones de prueba deben ser los mismos de los pilotes preexcavados definitivos mostrados en los documentos del proyecto u ordenados por el interventor. Las perforaciones se deben llenar de la misma manera que los pilotes definitivos, a menos que se muestre en los documentos del proyecto o se indique por el interventor un material diferente de relleno.

621.4.11 Pruebas de carga

En los documentos del proyecto, el diseñador debe establecer las pruebas de carga por realizar para la evaluación de los pilotes de concreto. Para la realización de las pruebas el constructor debe seguir las indicaciones del diseñador consignadas en los documentos del proyecto y aquellas impartidas por el interventor.

La localización de los pilotes de prueba y los pilotes de reacción, las cargas máximas por aplicar, el equipo de prueba que debe suministrar el constructor y la ejecución de las

pruebas de carga, corresponden a lo indicado en los documentos del proyecto, por el diseñador o en las disposiciones especiales allí establecidas. Los tipos de prueba son los establecidos en los documentos del proyecto.

Se debe utilizar el procedimiento que corresponda de los establecidos en las normas indicadas en la Tabla 621 — 3, según el tipo de prueba.

Tabla 621 — 3. Normas de referencia para pruebas de carga de pilotes

Tipo de prueba de carga	Norma ASTM
Carga de compresión axial estática	D1143
Carga de tensión axial estática	D3689
Carga lateral estática	D3966
Prueba de carga dinámica de alta deformación	D4945
Prueba de carga rápida a compresión por pulso de carga tipo *Statnamic*	D7383

Luego de completar la prueba, los pilotes de reacción que no han de ser utilizados como pilotes definitivos, se deben cortar a un metro (1 m) por debajo de la superficie del terreno, y la parte cortada debe ser retirada por el constructor.

El constructor debe suministrar las cotas de punta especificadas para los pilotes definitivos dentro de las dos (2) semanas posteriores a la última prueba de carga, lapso dentro del cual el interventor debe analizar la información de las pruebas. Las cotas de punta reportadas deben ser las establecidas y obtenidas durante la construcción del pilote.

Se debe llevar registro por lo menos de los siguientes aspectos:

- Condiciones del subsuelo en el lugar de la prueba.
- Descripción del pilote.
- Información obtenida durante la instalación y pruebas, incluyendo observaciones e incidentes.
- Datos y descripción del sistema de carga y del método de prueba.
- Tabla de cargas y deformaciones durante las etapas de carga y descarga del pilote.
- Gráfica de la curva asentamientos-tiempo para cada incremento de carga.

621.4.12 Pruebas de integridad

En los documentos del proyecto, el diseñador debe establecer el método (ASTM D5882 o ASTM D6760) para evaluar la integridad de los pilotes de concreto. Igualmente, se debe garantizar que el método es adecuado técnicamente para la relación diámetro profundidad del pilote. El porcentaje de pilotes a ser ensayados debe estar definido por el diseñador en los documentos del proyecto, pero no puede ser inferior del veinte por ciento (20 %) de los pilotes y la cantidad de pilotes a ser ensayados tampoco debe ser menor de dos (2) pilotes.

Para la realización de las pruebas, el constructor debe seguir las indicaciones del diseñador

consignadas en los documentos del proyecto. Se debe utilizar el procedimiento que corresponda de los establecidos en las normas indicadas en la Tabla 621 — 4, según el tipo de prueba.

Tabla 620 — 4. Normas de referencia para pruebas de integridad de pilotes

Tipo de prueba de integridad	Norma ASTM
Prueba de integridad de baja deformación por impacto	D5882
Prueba de integridad por ultrasonido mediante probetas introducidas en tubos paralelos instalados dentro del pilote (*crosshole testing*)	D6760

621.4.13 Manejo ambiental

En adición a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las labores de pilotes preexcavados de concreto se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en los estudios o evaluaciones ambientales del proyecto y las normas y disposiciones vigentes sobre la conservación del ambiente y los recursos naturales.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades deben estar incluidas en los costos del proyecto, por tanto, no deben ser objeto de reconocimiento directo en el contrato.

Para la disposición de desechos tales como material terreo, lodos (bentonítico o polimérico) y escombros como los obtenidos del descabece de los pilotes, el constructor debe destinar un área para recolectar dicho material y transportarlo a algún lugar autorizado por la autoridad ambiental. Para realizar el proceso de disposición de desechos, se debe contar con los certificados de las entidades regulatorias de los botaderos donde se pretenden disponer estos. No se permite hacer vertimientos del lodo en el drenaje urbano.

621.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

621.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos, se adelantan los siguientes controles principales:

- Comprobar permanentemente el estado de funcionamiento del equipo de construcción.
- Vigilar que se apliquen métodos de trabajo apropiados para el tipo de obra en ejecución.
- Realizar métodos para verificar la verticalidad de la excavación en caso de ser solicitados por el interventor.
- Comprobar que los materiales cumplan los requisitos de calidad establecidos en el numeral 621.2.

Adicionalmente, el interventor, en particular, debe adelantar los siguientes controles principales:

- Exigir la presentación de los planos de trabajo por parte del constructor.
- Verificar que el constructor emplee el equipo aprobado.
- Exigir al constructor la adopción de medidas para garantizar la protección de las estructuras vecinas a la zona de trabajo.
- Ordenar las pruebas necesarias para comprobar la integridad y la capacidad de carga de los pilotes y efectuar las determinaciones pertinentes.
- Medir, para efectos de pago, las cantidades de obra ejecutadas por el constructor, en acuerdo con la presente especificación.

621.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

621.5.2.1 Calidad del concreto

En relación con la calidad de los ingredientes y de la mezcla de concreto, rige todo lo aplicable del artículo 630.

No se deben aceptar los pilotes cuya calidad de concreto resulte defectuosa.

El constructor debe ejecutar, sin costo adicional para INVÍAS, las verificaciones técnicas, los diseños y las obras que se requieran para sustituir los pilotes defectuosos por nuevos y reforzar las estructuras que se apoyen en estos, de manera que se conserven las condiciones de resistencia, seguridad y funcionalidad del diseño original.

Las modificaciones propuestas por el constructor deben ser aprobadas por el interventor.

621.5.2.2 Acero de refuerzo

La calidad del acero de refuerzo debe cumplir lo establecido en el artículo 640.

En relación con las canastas de refuerzo, se deben aceptar las tolerancias indicadas en el mismo artículo.

Las canastas de refuerzo que no cumplan estos requisitos no pueden ser instaladas en los pilotes del proyecto.

621.5.2.3 Calidad de la suspensión

Sus características se deben ajustar, en todo, a las exigencias del numeral 621.2.4.

No se puede iniciar la construcción de los pilotes si la suspensión mineral o con polímero que está lista para su uso no cumple con los requisitos establecidos en el mencionado numeral para el momento de introducirla en la perforación; tampoco se debe autorizar el inicio del vaciado del concreto si la suspensión dentro de la perforación no cumple con los requisitos establecidos para el momento del vaciado.

La toma de muestras de la suspensión se debe realizar en presencia del interventor y se debe tomar registro de la fecha, hora, nombres de las personas que tomaron la muestra y los resultados obtenidos.

621.5.2.4 Camisas de acero

Su calidad debe satisfacer las exigencias del numeral 621.2.3. Su diámetro debe ser el establecido en los documentos del proyecto, con las tolerancias que se indican en el siguiente numeral.

Las camisas que no cumplan los requisitos no pueden ser instaladas en los pilotes del proyecto.

621.5.2.5 Tolerancias de construcción

En la construcción de los pilotes preexcavados se deben aceptar las siguientes tolerancias de construcción:

- El desplazamiento horizontal de los pilotes preexcavados, con respecto a la posición indicada en los documentos del proyecto, no debe exceder el menor valor entre el diez por ciento (10 %) del diámetro del pilote y siete coma cinco centímetros (7,5 cm), en cualquier dirección, en el nivel proyectado para la cabeza del pilote.
- El alineamiento vertical de la excavación del pilote no debe variar del alineamiento proyectado en más de dos centímetros por metro (2 cm/m) de profundidad.
- Luego de colocado el concreto, el extremo superior de la canasta de refuerzo no debe quedar más de quince centímetros (15 cm) por encima ni más de siete coma cinco centímetros (7,5 cm) por debajo de la posición proyectada.
- Cuando se utilicen camisas, su diámetro exterior no debe ser inferior al diámetro del pilote indicado en los documentos del proyecto. En caso contrario, el diámetro mínimo del pozo perforado debe ser igual al diámetro indicado en dichos documentos para diámetros de sesenta centímetros (60 cm) o menos, y hasta dos coma cinco centímetros (2,5 cm) menor de dicho diámetro, para pozos de diámetro superior a sesenta centímetros (60 cm).
- El área de apoyo de pilotes acampanados debe ser excavada, como mínimo, igual al área de apoyo proyectada. Cualquier otra dimensión indicada para cilindros acampanados puede variar para ajustarse al equipo utilizado, siempre que lo apruebe el interventor.
- El nivel superior del pozo no debe exceder de dos coma cinco centímetros (2,5 cm) del nivel superior especificado.
- El fondo de la excavación del pozo debe quedar perpendicular a su eje, con una desviación máxima de seis centímetros por metro (6 cm/m) de diámetro del pozo.

No se debe aceptar ningún pilote que no cumpla con las tolerancias estipuladas. En tal caso, el constructor debe remitir para aprobación del interventor los métodos correctivos y no puede continuar con la construcción del pilote, hasta obtener la aprobación respectiva.

621.5.2.6 Ensayos no destructivos

Cuando el pilote se construya por el método húmedo y cuando lo exijan los documentos del proyecto o el interventor, el pilote terminado se debe someter a pruebas no destructivas para determinar el alcance de los defectos que se puedan presentar en este.

El trabajo para tales pruebas se debe realizar de acuerdo con los documentos del proyecto o las instrucciones del interventor, y los materiales, equipos y personal calificado necesarios, deben ser suministrados por el constructor.

Si los resultados de los ensayos no destructivos, tales como ensayos sónicos o de impedancia mecánica, revelaran posibles anomalías, el interventor puede ordenar la comprobación del diseño teórico del pilote o la comprobación de la continuidad del pilote mediante sondeos, de cuya interpretación

puede establecer la necesidad de realizar pruebas de carga, la reparación del pilote o su rechazo, siendo los costos, en cualquier caso, a cargo del constructor.

Si las pruebas realizadas descubren la presencia de vacíos o discontinuidades que, a criterio del interventor, indiquen que el pilote no es estructuralmente adecuado, o que disminuyan su capacidad estructural en más del diez por ciento (10 %), este debe ser rechazado y suspendida la construcción de pilotes adicionales hasta que el constructor repare, reemplace o suplemente el trabajo defectuoso, y el interventor apruebe el trabajo de reparación. La suspensión en la construcción de pilotes preexcavados debe permanecer hasta que el interventor apruebe las modificaciones que se deban hacer a los métodos de construcción de los pilotes, presentadas por el constructor.

Todo defecto de calidad de los materiales, de ejecución o terminación de los pilotes preexcavados debe ser corregido por el constructor, sin costo adicional para INVÍAS, de acuerdo con las instrucciones del interventor y su aprobación.

621.6 Medida

621.6.1 Pilotes preexcavados

La unidad de medida debe ser el metro (m), aproximado a la décima (0,1), de pilotes preexcavados de cada diámetro, construidos de acuerdo con los documentos del proyecto y esta especificación, aprobados por el interventor. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

La medida se debe realizar a lo largo del eje del pilote, a partir de las cotas de punta y de corte señaladas en los documentos del proyecto.

En la medida se deben incluir los pilotes empleados en las pruebas de carga efectuadas por indicación de los documentos del proyecto o por solicitud del interventor, así ellos no queden incorporados en la estructura permanente. No se deben medir para pago los pilotes empleados en las pruebas de carga ordenadas por el interventor por dudas en la calidad de algún pilote, como tampoco los empleados en las pruebas que se efectúen por solicitud del constructor.

621.6.2 Bases acampanadas

La unidad de medida debe ser el metro cúbico (m^3), aproximado a la centésima (0,01), de base acampanada de concreto construida de acuerdo con los documentos del proyecto y esta especificación, aprobada por el interventor. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

El volumen se debe calcular con base en las dimensiones y formas especificadas en los documentos del proyecto y corresponde al volumen por fuera de las dimensiones del pilote que se extiende hasta el fondo de la campana.

621.6.3 Perforación de prueba para pilotes

La unidad de medida debe ser el metro (m), aproximado a la décima (0,1), de perforación de prueba para pilote del diámetro especificado, ejecutada; aprobada por el interventor.

La medida se debe realizar desde la cota del terreno al instante de iniciar la perforación, hasta el fondo de esta. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

621.6.4 Perforaciones de prueba para bases acampanadas

La unidad de medida debe ser el metro cúbico (m^3), aproximado a la centésima (0,01), de perforación de prueba para base acampanada ejecutada; aprobada por el interventor. El volumen se debe calcular aplicando el mismo procedimiento descrito en el numeral 621.6.2. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

621.6.5 Camisas permanentes

La unidad de medida debe ser el metro (m), aproximado a la décima (0,1), de camisa permanente de cada diámetro, suministrada e instalada; aprobada por el interventor. La medida se debe realizar a lo largo de la camisa, desde el nivel superior de ella o del pilote, el que sea menor, hasta el fondo de la camisa en cada lugar donde se haya autorizado su utilización. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

621.6.6 Pruebas de carga

Las pruebas de carga se deben medir por unidad (u), computándose únicamente las establecidas en los documentos del proyecto y las ordenadas por el interventor, salvo en el caso señalado en el párrafo siguiente.

Las pruebas de carga ordenadas por el interventor por dudas en la calidad del pilote no se deben medir para pago, como tampoco las que se efectúen por solicitud del constructor.

621.6.7 Pruebas de integridad

Si los documentos del proyecto contemplan que las pruebas de integridad se pagan por separado, ellas se deben medir por unidad (u), computándose únicamente las establecidas en los documentos del proyecto y las ordenadas por el interventor, salvo en el caso señalado en el párrafo siguiente.

Las pruebas de integridad ordenadas por el interventor por dudas en la calidad del pilote no se deben medir para pago, como tampoco las que se efectúen por solicitud del constructor.

621.6.8 Descabece de pilotes

El descabece de pilotes se debe medir al metro cúbico (m^3), aproximado a la décima (0,1), a las cotas y niveles definidos en los documentos del proyecto, para lo cual se debe verificar el trazo y la nivelación de los pilotes conforme a los niveles establecidos en el diseño definitivo. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

621.7 Forma de pago

621.7.1 Pilotes preexcavados

El pago de pilotes preexcavados se debe realizar de acuerdo con el precio unitario del contrato y debe incluir todos los

costos relacionados con la excavación del pozo, retiro, cargue, transporte y disposición del material proveniente de la excavación, el suministro y la colocación del acero de refuerzo y el concreto, y el curado (cuando sea necesario) de este último, lo mismo que la mano de obra, equipo, materiales, suministro, instalación y remoción de las camisas temporales; así como la provisión de todos los demás accesorios necesarios para completar el trabajo de acuerdo con los documentos del proyecto y esta especificación, aprobados por el interventor.

Si los documentos del proyecto así lo establecen, el precio unitario debe incluir los costos de las pruebas de integridad, incluyendo todos los costos por mano de obra, equipo y materiales requeridos para su correcta ejecución.

El precio unitario debe incluir los costos de preparación de los planos de trabajo, así como los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

621.7.2 Bases acampanadas

El pago se debe realizar al respectivo precio unitario del contrato, por todo volumen de base acampanada construido de acuerdo con esta especificación y aprobado por el interventor. El precio unitario debe incluir los costos de excavación, remoción, cargue, transporte y disposición del material excavado; suministro y colocación del concreto por fuera del diámetro del pilote perforado; así como toda la mano de obra, materiales, equipo y demás costos adicionales que se requieran para la correcta terminación de las bases acampanadas.

El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

621.7.3 Perforación de prueba para pilotes

El pago se debe realizar al respectivo precio unitario del contrato, por toda perforación de prueba para pilotes ejecutada satisfactoriamente. El precio unitario debe incluir todos los costos de excavación, remoción, cargue, transporte y disposición del material excavado; suministro y colocación del concreto o material de relleno; así como toda la mano de obra, materiales, equipos y demás costos adicionales requeridos para la correcta ejecución de las perforaciones de prueba para pilotes de acuerdo con los documentos del proyecto y aprobados por el interventor.

Si los documentos del proyecto así lo establecen, el precio unitario debe incluir los costos de las pruebas de integridad, incluyendo todos los costos por mano de obra, equipo y materiales requeridos para su correcta ejecución. En caso contrario, estas pruebas se deben pagar como se indica en el numeral 621.7.7.

El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

621.7.4 Perforaciones de prueba para bases acampanadas

El pago se debe realizar al respectivo precio unitario del contrato, por toda perforación de prueba para bases acampanadas ejecutada, aprobada por el interventor. El precio unitario debe cubrir todos los costos por concepto de excavación y remoción, cargue, transporte y disposición del material excavado; suministro y colocación del concreto o material de relleno

por fuera del diámetro del pilote perforado; así como toda la mano de obra, materiales, equipos y demás costos adicionales requeridos para la correcta terminación de las perforaciones de prueba para bases acampanadas.

El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

621.7.5 Camisas permanentes

El pago se debe realizar al respectivo precio unitario del contrato, el cual debe cubrir todos los costos por concepto del suministro y la correcta instalación de las camisas permanentes en los sitios y con las dimensiones previstas en los documentos del proyecto o aprobadas por el interventor.

El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

621.7.6 Pruebas de carga

Se deben pagar al respectivo precio unitario del contrato, el cual debe incluir todos los costos relacionados con su correcta ejecución, según lo determine el interventor, incluido el corte de los pilotes de reacción y el retiro y la disposición del material cortado.

Las pruebas de carga en los pilotes de trabajo realizadas porque, a criterio del interventor, existen dudas con respecto a la calidad del pilote, no se deben medir ni pagar, como tampoco las que se efectúen por solicitud del constructor.

El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

621.7.7 Pruebas de integridad

Si los documentos del proyecto contemplan que las pruebas de integridad se deben pagar por separado, el pago se debe realizar al respectivo precio unitario, el cual debe incluir todos los costos por mano de obra, equipo y materiales requeridos para su correcta ejecución.

Las pruebas de integridad realizadas porque, a criterio del interventor, existen dudas con respecto a la calidad del pilote, no se deben medir ni pagar, como tampoco las que se efectúen por solicitud del constructor.

El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

621.7.8 Descabece de pilotes

El pago se debe realizar al respectivo precio unitario del contrato, por toda actividad de descabece de pilotes ejecutada satisfactoriamente. El precio unitario debe incluir todos los costos de demolición, obra falsa, retiro, cargue, transporte y disposición del material; así como toda la mano de obra, materiales, equipos y demás costos adicionales requeridos para la correcta ejecución de las actividades de descabece de pilotes de acuerdo con los documentos del proyecto y aprobados por el interventor.

El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

621.7.9 Otras consideraciones

En todos los casos, el respectivo precio unitario debe incluir los costos necesarios para

la protección de las estructuras aledañas, así como los de señalización preventiva de la vía y ordenamiento del tránsito automotor durante el periodo de ejecución de los trabajos. Los ensayos no destructivos en los pilotes, realizados por dudas en la calidad del pilote surgidas al interventor por causas imputables al constructor, no se deben medir ni pagar, como tampoco los que se efectúen por solicitud de este último.

621.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
621.1	Pilote de concreto vaciado *in situ*, de diámetro ___	Metro (m)
621.2	Base acampanada	Metro cúbico (m^3)
621.3	Perforación de prueba para pilote, de diámetro ___	Metro (m)
621.4	Perforación de prueba para base acampanada	Metro cúbico (m^3)
621.5	Camisa permanente de diámetro exterior ___	Metro (m)
621.6	Prueba de carga tipo ___	Unidad (u)
621.7	Prueba de integridad tipo ___	Unidad (u)
621.8	Descabece de pilotes	Metro cúbico (m^3)

Nota: se deben elaborar ítems de pago independientes por cada diámetro de pilote, por cada diámetro de camisa permanente y por cada tipo de prueba de carga o de integridad que contemplen los documentos del proyecto.

Tablestacados

Artículo 622 – 22

622.1 Descripción

Este trabajo consiste en el suministro o la fabricación, transporte, manejo, almacenamiento e hincado de tablestacas de los tipos, secciones y longitudes indicados en los documentos del proyecto y aprobados por el interventor.

También, comprende el suministro y erección de cualquier arriostramiento, macizos de anclaje, tirantes y otros componentes que muestren los documentos del proyecto y que sean necesarios para la correcta ejecución de los trabajos.

622.2 Materiales

622.2.1 Tablestacado de madera

Se debe utilizar madera aserrada o desbastada, tratada o sin tratar, de la mejor calidad que se encuentre en la zona de las obras, y que su resistencia se haya considerado dentro del diseño previamente realizado a partir de resultados experimentales según lo descrito en la norma ASTM D143, o las que resulten aplicables en función de la propiedad física y mecánica requerida, de acuerdo con lo señalado en los documentos del proyecto o en sus especificaciones particulares. Su calidad debe ser tal, que soporte satisfactoriamente el hincado, sin presentar agrietamientos o daños por el proceso.

622.2.2 Tablestacado de concreto reforzado

Los documentos del proyecto deben definir la clase de concreto para las tablestacas de concreto reforzado; en caso de que esta información no esté indicada en los documentos del proyecto o en especificaciones particulares, el concreto debe tener una resistencia mínima a la compresión de veintiocho megapascales (28 MPa) a veintiocho días (28 d). Los materiales, su preparación y fabricación deben estar de acuerdo con el artículo 630, Concreto estructural. El acero para el refuerzo debe llenar los requisitos del artículo 640, Acero de refuerzo.

622.2.3 Tablestacado de concreto pre-esforzado

Los documentos del proyecto deben precisar la clase de concreto para las tablestacas de concreto pre-esforzado; en caso de que esta información no esté indicada en los documentos del proyecto o en especificaciones particulares, el concreto debe tener una resistencia mínima a la compresión de treinta y cinco megapascales (35 MPa) a veintiocho días (28 d). Los materiales, su preparación y fabricación deben estar de acuerdo con el artículo 630. El acero para refuerzo debe llenar los requisitos del artículo 640; los cables de alta resistencia los del artículo 641, Acero de

preesfuerzo y la lechada para ductos los del artículo 631, Lechada para ductos de concreto preesforzado.

622.2.4 Tablestacado metálico

Se deben utilizar láminas metálicas del tipo, espesores y características físicas, químicas y mecánicas señaladas en los documentos del proyecto o en las especificaciones particulares. Se pueden utilizar perfiles laminados de acero al carbono sin aleación especial, cuya resistencia característica a tracción cumpla con lo establecido en la norma ASTM A328 . En todos los casos, el metal debe cumplir los requisitos del artículo 650, Estructuras de acero, de estas especificaciones.

El tablestacado debe cumplir, también, lo señalado en las especificaciones ASTM A328 y NTC 4537 (ASTM A6) salvo que los documentos del proyecto o las especificaciones particulares indiquen algo diferente.

El acero debe permitir soldadura eléctrica.

622.2.5 Consideraciones especiales respecto de la reutilización de tablestacas

Solamente se debe permitir la reutilización de tablestacas cuando así lo indiquen los documentos del proyecto; en este caso, se debe garantizar que cumplan las especificaciones de este artículo y las especificaciones particulares del proyecto en relación con el tipo, tamaño y calidad de los materiales.

En especial, se debe atender el requerimiento de la flecha formada por el elemento respecto de la recta que definen sus dos extremos, indicada en el numeral 622.5.2.2.

En el caso de que las tablestacas posean pestañas para adosarse unas con otras, estas se deben encontrar en un estado aceptable, permitiendo su unión sin ninguna dificultad.

622.2.6 Mortero

El mortero requerido para el sello de juntas y calafates de tablestacados de concreto debe estar especificado en los documentos del proyecto. En el caso de que no exista información, debe estar compuesto por una mezcla de una (1) parte de cemento y dos (2) de arena limpia, en volumen.

622.3 Equipo

El constructor debe disponer de todos los equipos necesarios para la preparación, transporte e instalación adecuada de las tablestacas. En particular, los equipos y métodos de instalación o hinca, deben ser los comúnmente recomendados para esta clase de trabajos; igualmente, las herramientas para el recorte de tablestacas deben ser adecuadas para el material por cortar.

Los equipos que utilicen martillos para la hinca de las tablestacas, deben tener guías en todo el recorrido para propiciar el golpe, las cuales deben contar con la aprobación del interventor.

622.4 Ejecución de los trabajos

622.4.1 Condiciones generales

En caso de que no existan diseños del tablestacado, es responsabilidad del constructor tanto el proyecto como su construcción. Estos deben poseer la rigidez suficiente para

soportar todas las cargas y demás acciones posibles de ocurrir durante la etapa constructiva y garantizar que la obra acabada tenga la geometría, las dimensiones y los alineamientos indicados en los documentos del proyecto.

622.4.2 Procedimiento constructivo

Con suficiente anticipación a la iniciación de los trabajos, el constructor debe presentar para aprobación del interventor, el procedimiento constructivo. El informe debe contemplar, al menos, los siguientes aspectos:

- Lista completa del equipo.
- Disposición y manejo del patio de fabricación de las tablestacas (si se contempla prefabricación).
- Procedimiento de fabricación (si se contempla prefabricación).
- Procedimiento de cargue, transporte e izado y verificación de la capacidad de las tablestacas para resistir los esfuerzos que se generan con estas operaciones.
- Método y secuencia de hincado.
- Características del martillo, con sus respectivos soportes, acompañadas del análisis del cumplimiento de los requisitos establecidos para el mismo en esta especificación.
- Comprobación de la capacidad del martillo para el cumplimiento de los requisitos del proyecto en cuanto a profundidad y penetración en el estrato portante (si se requiere).
- Verificación de la conservación de las características de las tablestacas en el proceso de hinca.
- Criterio de rechazo, si aplica.
- Programa de ejecución.
- Programa de control de calidad.

El constructor no puede iniciar la construcción del tablestacado, mientras el procedimiento constructivo no haya sido aprobado por el interventor. Tal aprobación no lo exime de la responsabilidad por los resultados obtenidos.

622.4.3 Suministro, manejo y almacenamiento

El constructor debe suministrar los elementos con las dimensiones y las características físicas señaladas en los documentos del proyecto.

El manejo y el almacenamiento de las tablestacas se debe realizar buscando garantizar mayor seguridad de las personas e instalaciones circundantes a la obra, atendiendo la normativa al respecto. Cualquier daño o perjuicio causado es responsabilidad del constructor, quien debe responder por ello con sus propios recursos.

El transporte y manejo del tablestacado se deben efectuar con el mayor cuidado, para evitar cualquier deformación o ruptura total o parcial de los elementos.

Las piezas deben ser almacenadas en sitios limpios en todo momento, bien drenados y protegidos de los efectos de agua. Las piezas deben ser separadas mediante trozos de madera u otros elementos adecuados durante el almacenamiento, para evitar los deterioros que se puedan presentar por el contacto directo entre ellas o por cualquier otro agente, tales como el cambio de la geometría, daños en los elementos de unión y posibles revestimientos que se presenten.

Se debe poner especial cuidado en la forma de almacenamiento y la cantidad por apilamiento, para evitar daños por solicitaciones estructurales no consideradas en el diseño de los elementos.

Si por alguna razón se debe variar alguna de las características geométricas de las tablestacas suministradas, esta debe ser aprobada por el interventor.

622.4.4 Hinca

Se debe disponer de guías para las tablestacas, las cuales pueden consistir en una doble fila de tablones o piezas de madera de mayor sección, colocados a poca altura del suelo, de forma que el eje del hueco intermedio coincida con el de la pantalla de tablestacas a construir. Esta doble fila de tablones debe estar sólidamente sujeta y apuntalada al terreno, y la distancia entre sus caras interiores no debe exceder del espesor de la pared de tablestacas en más de dos centímetros (2 cm).

Para tablestacas muy largas, se puede requerir la instalación de una segunda guía situada por encima de la primera, con el fin de garantizar la verticalidad del tablestacado.

El tablestacado se debe hincar, preferiblemente, mediante martillo vibratorio. En caso de que el martillo vibratorio no consiga hincar la tablestaca hasta las cotas definidas en el proyecto, se puede usar un martillo de hinca por golpes; en este caso, el martinete puede ser de gravedad o de cualquier tipo de acción que se use normalmente en la hinca de pilotes. Si se hinca con martinete, las cabezas de las tablestacas se deben proteger por medio de accesorios adecuados, para evitar su deformación o deterioro por los golpes.

Si los documentos del proyecto así lo contemplan, se puede complementar el trabajo de estos equipos con sistemas de inyección de agua a presión.

En los casos en que se necesiten chorros de agua, se requiere un mínimo de dos (2). El volumen y la presión de agua en las boquillas debe ser tal que erosione libremente el material adyacente.

La hinca de la tablestaca se debe realizar hasta la penetración o capacidad de soporte especificados y aceptados por el interventor.

Las ayudas a la hinca, tales como la preperforación o la lubricación de juntas, pueden ser utilizadas únicamente con el consentimiento por escrito del interventor.

Las tablestacas de concreto con unión machihembrada, en la porción bajo tierra y unión de acanaladura doble en la porción expuesta, deben tener, después de instaladas, las ranuras superiores libres de arena, fango o escombros y totalmente rellenadas por un mortero, cuyas especificaciones deben estar contenidas en los documentos del proyecto. En el caso de que no exista información, se debe adoptar una dosificación de una (1) parte de cemento y dos (2) de arena, en volumen. El tratamiento de mortero se debe aplicar, también, para la corrección de desportilladuras del concreto a causa de la hinca.

622.4.5 Recortes

Terminada la hinca, se deben cortar, si es preciso, los extremos superiores de las tablestacas, de manera que sus cabezas queden alineadas según el perfil definido en los

documentos del proyecto. El corte se debe efectuar con la herramienta apropiada para el material de la tablestaca.

En los tablestacados de madera, después de recortar los excedentes, las partes superiores se tratan abundantemente con naftenato de cobre, con un contenido de cobre de por lo menos dos por ciento (2 %). Se puede emplear otro tratamiento, si así lo contemplan los documentos del proyecto o lo autoriza el interventor.

622.4.6 Limpieza

Terminado el trabajo de tablestacado, el constructor debe retirar del lugar de la obra todos los excedentes y recortes de las tablestacas y demás desperdicios, transportarlos y disponerlos en lugares apropiados según aprobación del interventor. El material retirado debe ser manejado según lo dispuesto en el numeral 106.5.8 del artículo 106, Aspectos ambientales.

622.4.7 Manejo ambiental

Adicional a los aspectos generales indicados en el artículo 106, todas las labores requeridas para la construcción de tablestacados se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en los estudios y evaluaciones ambientales del proyecto, así como en las normas y disposiciones vigentes sobre conservación del ambiente, los recursos naturales y protección de la comunidad.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento de esta especificación deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades deben incluirse en los costos del proyecto; por tanto, no son objeto de reconocimiento directo en el contrato.

Por ningún motivo se debe permitir arrojar materiales sobrantes a los cursos de agua.

622.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

622.5.1 Controles

El plan de calidad y el plan de inspección, medición y ensayo, son de obligatorio cumplimiento tal como se encuentra expresado en el numeral 103.2 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor.

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y funcionamiento de todo el equipo de construcción.
- Constatar el cumplimiento de las disposiciones existentes en el artículo 102, Aspectos generales de seguridad y salud.
- Comprobar que los materiales por utilizar cumplan con los requisitos de calidad exigidos por la presente especificación.
- Comprobar el cumplimiento de las normas ambientales aplicables.
- Supervisar la correcta aplicación del método aceptado previamente, en cuanto a la hinca de los elementos.
- Determinar que los elementos cumplan en cuanto a resistencia, composición y dimensiones.

Adicionalmente, el interventor, en particular, debe adelantar los siguientes controles principales:

- Ordenar la ejecución de los ensayos de control de la madera, el concreto y del acero.
- Exigir la presentación de los planos de trabajo por parte del constructor.
- Verificar que el constructor emplee el equipo aprobado.
- Exigir al constructor la adopción de medidas para garantizar la protección de las estructuras vecinas a la zona de trabajo.
- Medir, para efectos de pago, las cantidades de obra ejecutadas por el constructor, en acuerdo con la presente especificación.

622.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

622.5.2.1 Calidad de los materiales

Las verificaciones de calidad de los materiales constitutivos de las tablestacas se deben realizar conforme lo establece la especificación correspondiente a dicho material.

Previo a la construcción de las tablestacas se debe presentar al interventor, para su aprobación, un informe con una descripción detallada de todas las actividades, materiales, procedimientos y ensayos previstos, a efectos de garantizar la impermeabilidad, como lo indica el numeral 622.4.2.

622.5.2.2 Dimensiones, forma y peso

Las dimensiones, formas y peso de los elementos deben ser los que figuren en los documentos del proyecto y en sus especificaciones particulares, admitiéndose las tolerancias en dimensiones que indica la Tabla 622 – 1.

La flecha máxima, respecto de la recta formada por los dos extremos del elemento, no puede ser mayor a una ducentésima parte (1/200) de su longitud (L).

622.5.2.3 Posición y verticalidad

Salvo que los documentos del proyecto establezcan algo diferente, la posición y la verticalidad de las tablestacas, una vez colocadas, deben cumplir las tolerancias especificadas en la Tabla 622 – 2.

Los sistemas para medir la posición y la verticalidad del tablestacado, deben ser

Tabla 622 – 1. Tolerancias en dimensiones

Dimensión	Tolerancia
Longitud	Entre +200 mm y -50 mm
Ancho	Entre +10 mm y -10 mm
Espesor	Entre +3 mm y -3 mm

Tabla 622 – 2. Tolerancia en posición y verticalidad

Tipo de tablestaca	Descripción	Posición de la cabeza de la tablestaca (todas las direcciones horizontales)	Verticalidad del metro superior (todas las direcciones)
Sencilla	En tierra y en agua	≤ 100 mm	≤ 1,5 %
Combinada	Pilotes primarios	≤ 20 mm	≤ 0,5 %

acordes con la tolerancia permitida y aceptados y aprobados por el interventor.

622.5.2.4 Consideraciones especiales

Si existen estructuras o instalaciones sensibles en el entorno de la obra, se debe verificar mediante pruebas de hinca o por experiencias previas, su seguridad; en todo caso, cualquier daño o perjuicio causado es responsabilidad del constructor, quien debe responder por ello con sus propios recursos.

Todo trabajo de tablestacas donde la calidad de los materiales o del producto terminado exceda las tolerancias indicadas en esta especificación y en las complementarias a ella, debe ser corregido por el constructor, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), hasta conseguir la aprobación por parte del interventor.

622.6 Medida

622.6.1 Tablestacados

La unidad de medida del tablestacado debe ser el metro cuadrado (m^2), aproximado a la décima (0,1), de tablestaca suministrada y colocada en obra, de acuerdo con los documentos del proyecto, la presente especificación y la aprobación del interventor. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

El área de los tablestacados, cualquiera que sea su tipo, se debe medir sobre los documentos del proyecto y teniendo en cuenta las modificaciones aprobadas por el interventor.

622.6.2 Cortes de extremo superior

La unidad de medida para el corte del extremo superior del elemento, una vez hincado, debe ser el metro (m), aproximado a la décima (0,1), debidamente aceptado por el interventor. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

No se deben medir cantidades en exceso de las indicadas en los documentos del proyecto y aprobadas por el interventor. Tampoco se deben medir, para efectos de pago, las lechadas de sello de tablestacados de concreto, los empalmes de soldadura de los tablestacados metálicos, ni los largueros, arriostramientos, macizos de anclaje, tirantes u otros miembros que el constructor deba suministrar y que sean necesarios para ejecutar el trabajo.

622.7 Forma de pago

El pago se debe hacer al precio unitario del contrato por toda obra ejecutada de acuerdo con los documentos de proyecto, la presente especificación y según lo que sea aprobado por el interventor.

El precio unitario debe cubrir todos los costos por concepto de suministro, transportes, manejo, almacenamiento, corte, limpieza, colocación de todos los materiales y elementos requeridos para la construcción del tablestacado, equipos y mano de obra necesarios para ejecutar correctamente el trabajo especificado

El precio unitario debe cubrir, además, los costos de permisos y patentes que utilice el constructor, así como la señalización preventiva de la vía y el ordenamiento del tránsito

automotor durante la ejecución de los trabajos y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución del trabajo especificado.

El precio unitario para el corte del extremo superior del elemento, para cada tipo de tablestacado, debe incluir los costos por concepto de mano de obra, equipo y el retiro de materiales sobrantes al sitio señalado por los documentos del proyecto o por el interventor y, en general, todo costo relacionado para terminar el trabajo de acuerdo con los documentos del proyecto y con la aprobación del interventor.

Cada uno de los precios unitarios debe cubrir, también, los costos de administración, imprevistos y la utilidad del constructor.

622.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
622.1	Tablestacado de madera	Metro cuadrado (m^2)
622.2	Tablestacado metálico	Metro cuadrado (m^2)
622.3	Tablestacado de concreto reforzado	Metro cuadrado (m^2)
622.4	Tablestacado de concreto preesforzado	Metro cuadrado (m^2)
622.5	Corte del extremo superior del elemento	Metro (m)

Anclajes

Artículo 623 – 22

623.1 Descripción

Un anclaje se define como un dispositivo capaz de transmitir una carga de tracción en una zona del terreno que pueda soportar dicho esfuerzo. Los anclajes consisten en barras o cables de acero introducidos en el terreno mediante una perforación y adheridos a este mediante una inyección de lechada o mortero de cemento o resina sintética, para que, una vez tensionados, formen un bulbo de empotramiento dentro de la masa del terreno.

Este trabajo consiste en la perforación de barrenos y la eventual colocación de conductos de protección para la perforación, cuando estos sean requeridos; en la instalación e implementación de los sistemas de protección contra la corrosión; en la introducción de barras o cables de acero con dimensiones adecuadas para resistir las exigencias de su tensionamiento; en la instalación de todos los aditamentos y accesorios requeridos; en la inyección de la lechada o mortero de cemento o resina sintética y en el tensionamiento del elemento de anclaje, de acuerdo con los documentos del proyecto y lo aprobado por el interventor.

623.2 Materiales

623.2.1 Elementos de acero

Las barras de acero y cables deben cumplir los requisitos establecidos en los artículos 640, Acero de refuerzo y 641, Acero de preesfuerzo, respectivamente.

Para acero preesforzado, se acepta el uso de los siguientes materiales para anclajes en terreno:

- NTC 2010 (ASTM A416)
- ASTM A886
- ASTM A882

Cabe anotar que se debe permitir el uso de aceros de mayor resistencia, siempre y cuando el diseñador estructural apruebe su uso.

Las placas de apoyo deben ser fabricadas usando acero conforme con la norma AASHTO M 270 (grado 36) o la NTC 4005 (ASTM A709) (doscientos cincuenta megapascales (250 MPa) mínimo) o de fundición de hierro dúctil de acuerdo con la norma ASTM A536.

Las trompetas usadas para proveer una transición desde el anclaje hasta la longitud de protección de corrosión no adherida, deben ser fabricadas de tubo de acero o tuberías

conforme con los requerimientos de la NTC 3470 (ASTM A53) para tubo y la NTC 4526 (ASTM A500) para tubería. El espesor mínimo de la pared del tubo debe ser de cinco coma cero ocho milímetros (5,08 mm).

Las cubiertas de anclajes para encerrar anclajes expuestos, deben fabricarse de acero, tubo de acero, tubería de acero, fundición de hierro dúctil conforme con la norma AASHTO M 270 (grado 36) o la NTC 4005 (ASTM A709) (doscientos cincuenta megapascales (250 MPa) mínimo) para acero, la NTC 3470 (ASTM A53) para tubo y la NTC 4526 (ASTM A500) para tubería o la norma ASTM A536 para fundición de hierro dúctil. El espesor mínimo debe ser de dos coma cincuenta y cuatro milímetros (2,54 mm).

Las placas de apoyo, las trompetas y las cubiertas de anclajes, deben tener una protección de galvanizado por inmersión en caliente, cuando las condiciones de protección contra la corrosión así lo requieran o la interventoría lo determinen.

623.2.2 Elementos de protección contra corrosión

En especial, deben ser continuos y estancos a la humedad. Las juntas deben estar selladas herméticamente, de tal manera que se impida el paso de la humedad. En los documentos contractuales se define la clase de protección que requiere el anclaje de acuerdo con las condiciones de durabilidad y de agresividad del suelo y del ambiente; en ausencia de dicha definición, el constructor debe presentar, para revisión y aprobación de la interventoría, la clase de protección que va a implementar, para lo cual se deben utilizar las recomendaciones de DC35.1 del *Post-Tensioning Institute* (PTI).

La grasa inhibidora de corrosión debe cumplir con 6.3.4 de AASHTO LFRD *Bridge Construction Specifications*.

Además, la cubierta para la longitud no adherida de un tendón debe consistir en uno de los siguientes elementos:

- Tubo de polietileno (PE) sin costura clasificado acorde con la NTC 2935 (ASTM D3350). El espesor mínimo del tubo de polietileno debe ser de uno coma cincuenta y dos más o menos cero coma doscientos cincuenta y cuatro milímetros (1,52 mm ± 0,254 mm).
- Tubo de polipropileno sin costura clasificado acorde con la NTC 2966 (ASTM D4101). El espesor mínimo del tubo de polipropileno debe ser de uno coma cincuenta y dos más o menos cero coma doscientos cincuenta y cuatro milímetros (1,52 mm ± 0,254 mm).
- Tubo termorretractil (Heat-shrinkable) consistente de tubo de radiación recticulada poliolefina cubierto internamente con un adhesivo sellante. El espesor mínimo de pared del tubo antes de encoger debe ser de cero coma sesenta y un milímetros (0,61 mm). El espesor mínimo del sellante adhesivo debe ser de cero coma cincuenta y un milímetros (0,51 mm).
- Tubo corrugado de policloruro de vinilo (PVC) con un espesor mínimo de cero coma setecientos sesenta y dos milímetros (0,762 mm).

La encapsulación, para la longitud adherida de tendón, debe consistir en uno de los siguientes:

- Tubo corrugado de polietileno de alta densidad (HDPE) con un espesor mínimo de cero coma setecientos sesenta y dos milímetros (0,762 mm) y de acuerdo con los requerimientos de la norma AASHTO M 252.
- Tubo o tubería deformada de acero con un espesor mínimo de cero coma setecientos sesenta y dos milímetros (0,762 mm).
- Tubo corrugado de PVC con un espesor mínimo de cero coma setecientos sesenta y dos milímetros (0,762 mm).
- Epoxy adherido por fusión conforme con los requerimientos de la norma AASHTO M 317 o ASTM D3963, con un espesor mínimo de película de cero coma treinta y ocho milímetros (0,38 mm).

La encapsulación para la longitud no adherida, debe realizarse de acuerdo con los documentos del proyecto; en ausencia de la especificación particular de diseño, el interventor debe definir la necesidad de esta y solicitar al constructor la implementación, si es requerida.

623.2.3 Cemento y agua

El agua y el cemento que se utilicen en la preparación del mortero deben cumplir todos los requisitos estipulados en el artículo 631, Lechada para ductos de concreto. El cemento debe cumplir con lo especificado en el artículo 501, Suministro de cemento hidráulico, y ser del tipo indicado en los documentos del proyecto. El agua utilizada en la mezcla del concreto debe estar limpia y libre de cantidades perjudiciales de cloruros, aceites, ácidos, álcalis, sales, materiales orgánicos y demás sustancias que puedan ser dañinas para el concreto o el anclaje, debiendo cumplir lo estipulado en el numeral 630.2.1.4 del artículo 630, Concreto estructural. Si el agua a utilizar es potable, no se requiere la elaboración de ensayos de calidad. Respecto de la lechada y su control de calidad, se deben seguir las especificaciones contenidas en el artículo 631.

623.2.4 Arena

La arena para la preparación del mortero, debe cumplir los requisitos generales estipulados

Tabla 623 – 1. Granulometría del agregado para morteros utilizados en anclajes

Tipo de gradación	Tamiz (mm / U.S *Standard*)		
	2,36	0,300	0,075
	Nro. 8	Nro. 50	Nro. 200
	Porcentaje que pasa (%)		
Única	100	20 – 60	0 – 3

623.2.5 Aditivos para la lechada o mortero de cemento

Los aditivos que se utilicen en la lechada o mortero de cemento se deben someter a la aprobación previa del interventor. No se pueden utilizar aditivos que contengan cloruro de calcio o iones de cloruro.

Los aditivos expansivos pueden ser utilizados únicamente en la lechada usada para llenar

encapsulaciones selladas, trompetas y anclajes cubiertos. No se deben usar aditivos acelerantes para la lechada.

623.2.6 Resina sintética

La resina sintética debe ser de marca aprobada por el interventor y se debe almacenar y manejar de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. Si los documentos del proyecto o el interventor lo indican, se deben suministrar dos (2) tipos de resina: una de fraguado rápido de tres a cinco minutos (3 min – 5 min) a cinco grados Celsius (5 °C), y otra de fraguado lento de quince a treinta minutos (15 min – 30 min) a veinticinco grados Celsius (25 °C).

623.2.7 Elementos varios

Los elementos de seguro para el tensionamiento deben ser los apropiados para tal fin, compatibles entre sí y deben contar con una adecuada calidad, soportar la tensión de diseño y ser avalados por el interventor.

El antiadherente para un tendón debe consistir de tubo o tubería lisa resistente a la luz ultravioleta y que sea capaz de resistir la abrasión, el impacto y la flexión durante el manejo y la instalación.

Por su parte, los espaciadores para la separación de elementos de tendones de múltiples elementos, deben permitir el flujo libre de la lechada. Deben ser fabricados de plástico, acero o materiales que no sean perjudiciales para el acero de preesfuerzo. No se debe permitir el uso de madera.

Los centralizadores deben ser fabricados de plástico, acero o materiales no perjudiciales para el acero de preesfuerzo o cualquier elemento de protección de corrosión del tendón. No se puede utilizar madera. Los centralizadores deben ser capaces de mantener la posición del tendón hasta obtener una cobertura mínima de lechada del tendón de doce coma siete milímetros (12,7 mm), o que cubra la encapsulación.

623.3 Equipo

El constructor debe proporcionar para la perforación equipos de rotación o de avance con percusión y lavado, dependiendo de las características del suelo o macizo a perforar. La capacidad de los equipos debe ser compatible con los anclajes a instalar.

Para la inyección de la lechada, se debe disponer de una bomba con la capacidad necesaria para suministrar la presión de inyección requerida y cumplir con el numeral 631.3 del artículo 631. El equipo debe estar dotado de un manómetro adecuado para el control de la presión aplicada.

Los equipos de tensionamiento deben ser calibrados regularmente y estar dotados con dispositivos permanentes de medida, que permitan calcular con precisión la fuerza total aplicada al anclaje durante el tensado. Los equipos de tensado deben cumplir con el numeral 641.3 del artículo 641.

623.4 Ejecución de los trabajos

623.4.1 Fabricación

Los tendones para anclajes de terreno pueden ser fabricados en taller o en sitio, usando materiales que cumplan con el numeral 623.2, los tendones deben ser fabricados como se

muestra en los documentos del proyecto aprobados por el interventor. El tendón se debe dimensionar de tal manera que la carga máxima de prueba no exceda el ochenta por ciento (80 %) de la resistencia última garantizada del tendón.

Los anclajes de terreno deben protegerse contra corrosión, cumpliendo con el numeral 11.9.7 de la Norma Colombiana de Diseño de Puentes.

623.4.1.1 Longitud adherida y longitud adherida del tendón

El constructor debe determinar la longitud adherida necesaria para satisfacer los requerimientos del test de carga. La mínima longitud adherida debe ser tres coma sesenta y cinco metros (3,65 m) en roca, cuatro coma cincuenta y siete metros (4,57 m) en suelo o la mínima longitud mostrada en los documentos del proyecto. La mínima longitud adherida del tendón debe ser tres coma cero cinco metros (3,05 m).

623.4.1.1.1 Tendón de anclaje al suelo protegido con lechada

Los espaciadores deben ser colocados a lo largo de la longitud adherida del tendón cumpliendo con el numeral 6.4.1.1 de AASHTO LFRD *Bridge Construction Specifications* o como lo indiquen los documentos del proyecto.

Los centralizadores deben ser colocados a lo largo de la longitud adherida del tendón cumpliendo con el numeral 6.4.1.1 de AASHTO LFRD *Bridge Construction Specifications* o como lo indiquen los documentos del proyecto.

No se requieren centralizadores en tendones instalados en suelos de grano grueso (norma INV E-181), utilizando sistemas de inyección con una presión de inyección mayor a uno coma cero cinco megapascales (1,05 MPa).

623.4.1.1.2 Tendón de anclaje al suelo protegido con encapsulación

La longitud adherida del tendón debe ser encapsulada por un tubo plástico o de acero deformado, relleno de lechada o por un recubrimiento epoxi adherido por fusión.

La inyección de lechada puede ser aplicada dentro de la encapsulación antes o después de insertar el tendón en la perforación. No se debe admitir abrir huecos en la encapsulación para permitir que la lechada fluya desde la encapsulación hacia el hueco o viceversa. El tendón debe ser centrado dentro de la encapsulación y el tubo dimensionado para proveer un promedio de cinco coma cero ocho milímetros (5,08 mm) de cobertura de lechada para el acero de preesfuerzo. Para tendones protegidos por lechada, los espaciadores y centralizadores deben ser usados para satisfacer los mismos requerimientos de 623.4.1.1.1. Los dispositivos de anclaje de tendones protegidos con epoxi adherido por fusión, deben ser eléctricamente aislados.

623.4.1.2 Longitud no adherida

La longitud no adherida del tendón debe ser como mínimo cuatro coma cincuenta y siete metros (4,57 m) o como se indique en los documentos del proyecto, aprobados por el interventor.

Se debe proveer protección contra corrosión por medio de funda o cobertura completamen-

te llena de grasa inhibidora de corrosión o lechada o tubo termocontraible. Si se utiliza grasa inhibidora de corrosión, se deben tomar las previsiones adecuadas para evitar que la grasa escape por las puntas. La grasa debe cubrir completamente el tendón y llenar los intersticios entre los alambres del tendón. Se debe proveer continuidad de la protección contra la corrosión desde la transición de longitud adherida hasta la longitud no adherida del tendón.

Si la cubierta suministrada no corresponde a un tubo liso, se debe proveer un antiadherente.

623.4.1.3 Anclaje y trompeta

Se deben usar anclajes no reajustables a menos que los documentos del proyecto indiquen el uso de anclajes ajustables.

El tamaño de las placas de apoyo no debe ser menor a los mostrados en los documentos del proyecto aprobados por el interventor.

La trompeta debe ser soldada a la placa de apoyo y tener un diámetro interno de al menos seis coma treinta y cinco milímetros (6,35 mm) mayor que el diámetro del tendón en el anclaje. La trompeta debe tener una longitud suficiente para acomodar los movimientos de la estructura durante las pruebas de carga y el preesforzado. Para tendones con encapsulación sobre la longitud no adherida, la trompeta debe tener una longitud suficiente para permitir a los tendones hacer la transición desde el diámetro del tendón en la longitud no adherida hasta el diámetro del tendón en la cabeza de anclaje sin dañar la encapsulación. Las trompetas rellenas con grasa inhibidora de corrosión, tienen una protección contra corrosión de un caucho permanente de Nitrilo (Buna-N) o un sello aprobado entre la trompeta y la longitud no adherida. Las trompetas rellenas con lechada deben tener una protección contra la corrosión de un sello temporal entre la trompeta y la longitud no adherida.

623.4.1.4 Almacenaje y manejo de tendones

Los tendones deben ser almacenados y manejados de tal manera que se evite el daño y la corrosión. Daños en tendones de acero de preesfuerzo como resultado de abrasión, cortes, abolladuras, soldadura y salpicadura de soldadura son causa de rechazo por el interventor. Antes de insertar un tendón dentro del hueco perforado, se deben examinar sus elementos de protección contra la corrosión. Cualquier daño encontrado en los elementos de protección debe ser reparado por el constructor y aprobado por el interventor, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS). Las reparaciones de la encapsulación deben hacerse acorde con las recomendaciones del proveedor.

El transporte y el manejo del equipo se deben efectuar con las condiciones de seguridad necesarias para evitar inconvenientes y atrasos en la ejecución de los anclajes.

Todas las partes constitutivas del anclaje, sin excepción, deben ser almacenadas y manipuladas en ambientes limpios y secos, cuidando de no causar deterioros, golpes, torceduras o curvaturas excesivas a los elementos, lo cual debe ser causa de rechazo del anclaje.

623.4.2 Instalación

El constructor debe seleccionar el método de perforación, el procedimiento y la presión de inyección que debe usar para la instalación del anclaje de terreno, que sea necesario para satisfacer los requerimientos de los test de carga.

623.4.2.1 Planos de trabajo, metodología y programa de instalación

Al menos cuatro (4) semanas antes del comienzo de la instalación, el constructor debe someter para aprobación del interventor los planos completos de trabajo y los cálculos, describiendo el sistema y método de trabajo que va a implementar y el programa de instalación. La documentación para someter a aprobación debe incluir:

- La programación de anclajes de terreno, proporcionando:
  - Número de anclaje a terreno.
  - Carga de diseño de anclaje.
  - Tipo y tamaño del tendón.
  - Longitud mínima de anclaje.
  - Longitud mínima adherida.
  - Longitud mínima adherida del tendón y longitud mínima no adherida.
- Plano con el tendón de anclaje a terreno y el sistema de protección contra corrosión incluyendo:
  - Espaciadores separando elementos del tendón y su localización.
  - Centralizadores y su localización.
  - Sistema de protección contra corrosión de la longitud no adherida.
  - Sistema de protección contra corrosión de la longitud adherida.
  - Anclaje y trompeta.
  - Sistema de protección contra corrosión del anclaje.
  - Tamaño del orificio perforado o del hueco formado.
  - Nivel de cada etapa de la inyección.
  - Detalles estructurales necesarios para acomodar el sistema de anclaje a terreno.
- Diseño de la mezcla de lechada y procedimiento de inyección.

El interventor debe aprobar o rechazar los planos y procedimientos de trabajo del constructor. No se pueden iniciar trabajos de anclajes de terreno hasta que los planos de los documentos del proyecto y procedimientos hayan sido aprobados por escrito por el interventor. Esta aprobación no exime al constructor de la responsabilidad por la correcta ejecución del trabajo y la estabilidad de la obra.

623.4.2.2 Perforación

El método de perforación usado debe prevenir la pérdida de suelo por encima del hueco perforado que pueda ser perjudicial para la estructura o estructuras existentes. Si se utilizan carcasas para huecos de anclaje, estas deben ser removidas. La localización, inclinación y alineamiento de los huecos perforados

debe ser la indicada en los documentos del proyecto. La inclinación y alineamiento de los huecos perforados debe estar dentro de los más o menos tres grados (± 3°) del ángulo planificado en la placa de apoyo y dentro de los más o menos cero coma tres metros (± 0,3 m) de la localización planificada en la superficie del terreno (punto de entrada).

623.4.2.3 Inserción de tendón

El tendón debe ser insertado dentro del hueco perforado hasta la profundidad deseada sin ninguna dificultad. Cuando el tendón no pueda ser insertado completamente, este debe ser retirado, el hueco perforado limpiado o reperforado para permitir la inserción. No se deben permitir tendones parcialmente introducidos o forzados para su introducción.

Las perforaciones para la instalación de los anclajes se deben realizar exactamente del diámetro que indiquen los documentos del proyecto aprobados por el interventor y hasta las profundidades indicadas en los mismos. Antes de instalar un anclaje, se debe limpiar con aire a presión, utilizando un compresor que genere un volumen de aire no menor a siete metros cúbicos por minuto (7 m^3/min).

La operación de tensado de los anclajes se debe hacer, preferentemente, en una sola operación. La secuencia del proceso del tensado de los anclajes se debe especificar antes del inicio de los trabajos.

Durante los ensayos y las fases de tensado de los anclajes, se debe asegurar que no se produzca ningún deterioro en ellos.

623.4.2.4 Inyección de lechada

Se debe usar una lechada limpia de cemento o arena cemento conforme con el artículo 631. Los aditivos, si son usados, deben ser aprobados por el interventor, no deben exceder las cantidades recomendadas por el fabricante y cumplir con el numeral 623.2.5.

La lechada debe ser inyectada desde el punto más bajo del hueco perforado; puede ser bombeada a través de los tubos de inyección, carcasas, sinfines, huecos de barreno, o barras de perforación. La lechada puede ser colocada antes o después de la inserción del tendón. Se debe llevar un registro de la cantidad de lechada y la presión de inyección. La lechada y la presión de inyección deben ser controladas para prevenir levantamiento del suelo o la formación de fracturas en la roca.

Excepto en suelos de grano fino (INV E-181) con perforaciones mayores de quince centímetros (15 cm), la lechada sobre la parte superior de la longitud adherida puede ser colocada al mismo tiempo que la lechada de la longitud adherida, pero esta no puede ser colocada bajo presión. La lechada en la parte superior del hueco perforado debe parar quince centímetros (15 cm) desde la parte posterior de la estructura o desde la base de la trompeta la que sea menor.

Si el anclaje de terreno es instalado en un suelo de grano fino (INV E-181) usando un orificio perforado de diámetro mayor a quince centímetros (15 cm), entonces la lechada de la parte superior de la longitud adherida debe colocarse después de que el anclaje haya sido sometido a pruebas de carga. El orificio perforado se debe inyectar al mismo tiempo, si se demues-

tra que el sistema de anclaje a terreno no deriva una porción significativa de su resistencia a la carga del suelo por encima de la porción de longitud adherida del anclaje de terreno.

Las técnicas de inyección a presión deben ser implementadas si los tendones protegidos son usados para anclajes en roca.

La inyección a presión requiere que el orificio perforado sea sellado y que la lechada sea inyectada hasta que una presión de cero coma treinta y cinco megapascales (0,35 MPa) pueda ser mantenida dentro de la longitud adherida por un periodo de cinco minutos (5 min).

Una vez completada la inyección, el tubo de lechada puede permanecer en el orificio de perforación siempre que esté lleno de lechada.

Después de inyectado, el tendón no debe ser cargado hasta mínimo pasados tres días (3 d).

La inyección de la lechada o del mortero de cemento, se debe realizar con equipos y procedimientos aprobados por el interventor. El método empleado debe asegurar la eliminación del aire y del agua para conseguir rellenar íntegramente la perforación.

Cuando se utilice resina sintética, se debe hacer siguiendo las instrucciones del fabricante para los sitios indicados y aprobados por el interventor.

El tiempo transcurrido entre la perforación y la instalación del anclaje debe ser el mínimo posible, pero en ningún caso podrá exceder de seis horas (6 h).

623.4.2.5 Trompeta y anclaje

Se debe usar una lechada limpia de cemento o arena cemento conforme con el artículo 631. Los aditivos, si son usados, deben ser aprobados por el interventor, no exceder las cantidades recomendadas por el fabricante y cumplir con el numeral 623.2.5.

623.4.3 Limpieza

Terminado el trabajo de colocación e instalación de los anclajes, el constructor debe retirar del lugar de la obra todos los excedentes y equipos empleados en la perforación. En cuanto a los desperdicios, deben ser transportados y dispuestos en lugares apropiados y aprobados por el interventor.

623.4.4 Ensayos de carga y tensados

El ensayo de carga debe ser realizado con el fin de evaluar la calidad y la resistencia de los anclajes. Las pruebas de carga se deben utilizar para tres (3) propósitos: en la fase de experimentación, para poner a punto los procedimientos constructivos; para la aceptación del trabajo o en caso de duda, para verificar la calidad de los anclajes.

La localización de los anclajes de prueba, las cargas máximas por aplicar, el equipo de prueba que deba suministrar el constructor y la ejecución de las pruebas de carga, deben corresponder a lo indicado en los documentos del proyecto aprobados por el interventor.

Se deben realizar todos los ensayos y pruebas requeridos acorde con el numeral 11.9.8.1 de la Norma Colombiana de Diseño de Puentes y

el artículo 6.5.5 de AASHTO LRFD *Bridge Construction Specifications*.

De las aplicaciones de carga durante el tensado y las pruebas de carga, se deben llevar registros detallados sobre carga y deformación en el tiempo, según protocolo aprobado por la interventoría.

623.4.5 Manejo ambiental

En adición a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las labores requeridas para la construcción de anclajes se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en los estudios y evaluaciones ambientales del proyecto, así como en las normas y disposiciones vigentes sobre conservación del ambiente, los recursos naturales y protección de la comunidad.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación, deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades deben estar incluidas en los costos del proyecto; por tanto, no son objeto de reconocimiento directo en el contrato.

623.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

623.5.1 Controles

El plan de calidad y el plan de inspección, medición y ensayo, son de obligatorio cumplimiento tal como se encuentra expresado en el numeral 103.2 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor.

Durante la ejecución de los trabajos se deben adelantar, principalmente, los siguientes controles:

- Verificar el estado de funcionamiento de todo el equipo de construcción y de ensayos, así como su calibración certificada.
- Constatar el cumplimiento de las disposiciones existentes en el artículo 102, Aspectos generales de seguridad y salud.
- Comprobar que los materiales que van a ser utilizados cumplan con los requisitos de calidad establecidos en el presente artículo.
- Efectuar los ensayos de control que sean necesarios para los materiales y la lechada.
- Verificar que se implementen los procedimientos e instalen los elementos de protección contra la corrosión.
- Supervisar la correcta aplicación del método previamente aceptado para la instalación de los anclajes.
- Efectuar los ensayos y pruebas requeridas en el numeral 11.9.8.1 de la Norma Colombiana de Diseño de Puentes y el artículo 6.5.5 de AASHTO LRFD *Bridge Construction Specifications*.
- Medir las cantidades de obra correctamente ejecutadas.

El interventor debe ordenar las pruebas necesarias para comprobar la capacidad de los anclajes.

623.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

623.5.2.1 Calidad de los materiales

En relación con la calidad de los materiales que componen el anclaje y la inyección, se debe cumplir con todas sus características y, en especial, con lo establecido en el numeral 623.2.

La diferencia máxima aceptable en el espesor de las cubiertas de protección es de más o menos diez por ciento (± 10 %).

El diámetro interno de la cubierta de protección debe ser al menos cero coma setenta y seis milímetros (0,76 mm) mayor que el diámetro del tendón.

623.5.2.2 Tolerancias de construcción

En la construcción de anclajes, se deben aceptar las tolerancias indicadas en el numeral 623.4.2.2.

- El desplazamiento de la cabeza del anclaje no debe diferir de lo prescrito, en más de cincuenta milímetros (50 mm), medidos en cualquier dirección.
- El alineamiento de la excavación del anclaje no debe variar del alineamiento proyectado en más de veinte milímetros por metro (20 mm/m) de profundidad, medidos en cualquier dirección.

623.5.2.3 Pruebas de carga

Los criterios de aceptación de las pruebas de carga son los establecidos por el artículo 6.5.5.5. de AASHTO LRFD *Bridge Construction Specifications.*

Si en la realización de las pruebas de carga establecidas por esta especificación, en los documentos del proyecto u ordenadas por el interventor, se producen desplazamientos mayores a los permitidos en los documentos del proyecto o en esta especificación, el interventor puede ordenar la ejecución de nuevas series de control sobre muestras de tres (3) anclajes por cada anclaje defectuoso encontrado, sin que ello implique costo adicional para INVÍAS.

Todo anclaje defectuoso por problemas de calidad de los materiales, por incumplimiento en las tolerancias de construcción o por comportamiento no satisfactorio en las pruebas de carga, debe ser reemplazado y ensayado por el constructor por uno o varios anclajes nuevos, sin costo adicional para INVÍAS, de manera que se conserven las condiciones de resistencia, seguridad y funcionalidad del diseño original. El plan de disposición de los nuevos anclajes que proponga el constructor para suplir los anclajes deficientes, debe ser aprobado por el interventor.

623.6 Medida

623.6.1 Anclajes

La unidad de medida debe ser el metro (m), aproximado a la décima (0,1), de anclaje construido satisfactoriamente, con las dimensiones y alineamientos mostrados en los documentos del proyecto aprobados por el interventor. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

No se deben medir, para efectos de pago, longitudes de anclaje en exceso de las indicadas en los documentos del proyecto u ordenadas por el interventor.

El interventor solo debe medir los anclajes cuando el constructor los haya completado totalmente y hayan superado las pruebas de calidad establecidas en los documentos del proyecto y esta especificación.

623.6.2 Pruebas de carga

Las pruebas de carga se deben medir por unidad (u), computándose únicamente las establecidas en estas especificaciones, los documentos del proyecto y las ordenadas por el interventor. No deben ser contabilizadas, para pago, aquellas realizadas debido a los anclajes que no superen la prueba de carga, como se indica en el numeral 623.5.2.3.

Las pruebas de carga realizadas en anclajes por dudas en la calidad del mismo debido a trabajos defectuosos imputables al constructor, no se deben medir ni pagar, como tampoco las que se efectúen por solicitud de este último.

623.7 Forma de pago

623.7.1 Anclajes

El pago se debe hacer al precio unitario del contrato. Debe cubrir el suministro e instalación de las barras y cables de anclaje. También debe incluir el suministro e instalación de todos los materiales y accesorios adicionales necesarios; la perforación de los barrenos; recubrimiento de la perforación, el suministro e instalación de los conductos de protección, recubrimientos, procedimientos y elementos de protección contra corrosión, el suministro e inyección de la lechada o mortero de cemento o resina sintética; el tensionamiento y, en general, el suministro de todos los equipos y mano de obra necesarios para realizar correctamente los trabajos correspondientes a esta unidad de obra. No se deben pagar el retiro y el reemplazo de los anclajes que no hayan cumplido con lo establecido en esta especificación.

El precio unitario debe considerar, además, los costos de patentes que utiliza el constructor, la señalización preventiva de la vía y el ordenamiento del tránsito automotor durante la ejecución de los trabajos y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución del trabajo especificado.

El precio unitario debe incluir, también, la administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

623.7.2 Pruebas de carga

Se debe pagar al precio unitario del contrato, el cual debe incluir todos los costos relacionados con su correcta ejecución. El precio unitario debe incluir, también, la administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

623.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
623-1	Anclaje tipo _____	Metro (m)
623-2	Prueba de carga	Unidad (u)

Concreto estructural

Artículo 630 – 22

630.1 Descripción

Esta especificación consiste en el suministro de materiales, fabricación, transporte, colocación, vibrado, curado y acabado de los concretos de material cementante de tipo hidráulico, utilizados para la construcción de puentes, estructuras de drenaje, muros de contención y estructuras en general, de acuerdo con los documentos del proyecto.

Algunos elementos o estructuras de concreto deben cumplir adicionalmente las especificaciones del Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) realizadas para un fin específico. A continuación, se presenta una lista de dichas especificaciones disponibles por tipo de estructura o elemento:

- Artículo 500, Pavimento de concreto hidráulico.
- Artículo 505, Base de concreto hidráulico.
- Artículo 510, Pavimento de adoquines de concreto.
- Artículo 620, Pilotes prefabricados de concreto.
- Artículo 621, Pilotes preexcavados.
- Artículo 632, Barandas de concreto.
- Artículo 660, Tubería de concreto simple.
- Artículo 661, Tubería de concreto reforzado.
- Artículo 671, Cunetas revestidas en concreto.
- Artículo 672, Bordillos en concreto.
- Artículo 680, Muros de tierra estabilizada mecánicamente con paneles de concreto.
- Y todas las demás estructuras de concreto estructural reglamentadas en las especificaciones INVÍAS.

630.2 Materiales

630.2.1 Concreto estructural

Está conformado por una mezcla homogénea de material cementante, agregados, agua, aditivos y eventualmente adiciones suplementarias y/o complementarias; materiales que deben cumplir los requisitos básicos que se mencionan a continuación.

630.2.1.1 Cemento hidráulico

El cemento hidráulico y su suministro deben cumplir el artículo 501, Suministro de cemento hidráulico. Se pueden utilizar cementos bajo la denominación ASTM C150 y ASTM C595.

El constructor debe presentar los resultados de todos los ensayos físicos relacionados con el material cementante, como parte del diseño de la mezcla. De igual forma, todo material cementante usado en obra debe ser de la misma marca, tipo y planta de fabricación al empleado en el diseño de la mezcla. Es posible emplear diferentes tipos de material cementante siempre que se cuente con el diseño de la mezcla, mezclas de prueba y la aprobación del interventor.

Si por alguna razón el material cementante ha fraguado parcialmente o contiene terrones del producto endurecido, no se puede utilizar. Tampoco se debe utilizar el material cementante sobrante en bultos abiertos en jornadas anteriores, cuando este sea suministrado en bolsas.

630.2.1.2 Adiciones suplementarias

Cuando la adición suplementaria es incluida como materia prima para la fabricación del clínker o incluida durante la fabricación del cemento, se debe verificar que el material cementante resultante cumpla las exigencias de la NTC 121.

En caso de que la adición suplementaria sea incluida en la elaboración del concreto por parte del constructor o proveedor del concreto, se deben presentar los resultados de todos los ensayos físicos y químicos relacionados con las adiciones suplementarias, como parte del diseño de la mezcla. Las cenizas volantes y puzolanas naturales calcinadas o crudas deben satisfacer las exigencias de la NTC 3493 (ASTM C618) o ACI 232.1R, Reporte sobre el uso de puzolanas naturales o procesadas en concreto; las escorias de alto horno la NTC 4018 (ASTM C989) o ACI 233R, Escoria en concreto y mortero; y el humo de sílice la norma ASTM C1240.

No se permite el uso de otros tipos de adiciones diferentes a las mencionadas anteriormente.

No se deben utilizar adiciones suplementarias que presenten grumos o indicios de prehidratación. Se debe garantizar que la adquisición de la adición suplementaria cumpla los requisitos legales ambientales vigentes.

630.2.1.3 Agregados

En el presente numeral, se especifican los requisitos de los agregados para concreto estructural. Se permite el uso de agregados gruesos reciclados de tipo RCD (Residuos de Construcción y Demolición) si se comprueba que el desempeño de estos es, como mínimo, igual o mejor que el de los agregados gruesos que cumplen los requisitos de este artículo y son aprobados por el interventor.

Para la elaboración del concreto estructural, la cantidad de agregado grueso reciclado por adicionar en la mezcla de concreto no debe superar el diez por ciento (10 %) en peso sobre el contenido total de agregado grueso. En todos los casos en que se use se debe demostrar que no se afectan las condiciones de durabilidad del concreto.

Aparte de los requisitos presentados en este numeral, durante la selección y la caracterización de los agregados, se debe realizar la evaluación de la reactividad y el diseño de la mitigación de la reacción álcali-agregado descrito en el numeral 630.2.6.1.3.

Se debe garantizar que la adquisición del agregado cumpla los requisitos legales ambientales vigentes. Los documentos como títulos, licencias y permisos se deben entregar al interventor.

630.2.1.3.1 Agregado fino

Se considera como tal, a la fracción que pase el tamiz de 4,75 mm (nro. 4). Debe provenir de arenas naturales o de la trituración de rocas, gravas, escorias siderúrgicas u otro producto que resulte adecuado, a criterio del interventor. Cuando las arenas son de origen calizo,

el porcentaje de arena de trituración no puede constituir más del quince por ciento (15 %) del agregado fino, o hasta el treinta por ciento (30 %) si con un programa experimental aprobado por el interventor se demuestra que no tienen incidencia en el comportamiento del concreto en estado endurecido.

Si en la mezcla se emplean arenas provenientes de escorias siderúrgicas, se debe comprobar que no contengan silicatos inestables ni compuestos ferrosos, ni cualquier otro material que genere algún mecanismo de daño en el concreto o disminución de la resistencia.

El agregado fino debe cumplir los requisitos que se indican en la Tabla 630 — 1 y su gradación se debe ajustar a la indicada en la Tabla 630 — 2.

En ningún caso, el agregado fino puede tener más de cuarenta y cinco por ciento (45 %) de material retenido entre dos tamices consecutivos de los mostrados en la Tabla 630 — 2.

Un agregado fino que no cumpla los requisitos de granulometría y módulo de finura especificados en este numeral puede ser aceptado si se demuestra, a criterio del interventor, que hay una evidencia adecuada de comportamiento satisfactorio de concretos del mismo tipo y para el mismo uso, construidos con ese agregado.

Tabla 630 — 1. Requisitos del agregado fino para concreto estructural

Característica	Norma de ensayo INV	Requisito
Composición		
Granulometría: - Análisis granulométrico de los agregados finos - Material que pasa tamiz de 0,075 mm (nro.200)	 E-213 E-214	 Ver Tabla 630 — 2
Módulo de finura (Nota 1)	E-213	2,3 — 3,1
Durabilidad (O)		
Pérdidas en el ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%). (Nota 2): - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	E-220	 10 15
Limpieza (F)		
Terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%). (Nota 3)	E-211	3
Partículas livianas, máximo (%): - Cuando la apariencia superficial del concreto sea de importancia, máximo (%) - Todos los demás concretos, máximo (%)	E-221	 0,5 1,0
Contenido de materia orgánica (F)		
Color más oscuro permisible	E-212	Igual al color de referencia o de la placa orgánica nro. 3

Característica	Norma de ensayo INV	Requisito
Características químicas (O)		
Contenido de sulfatos, expresado como $SO_4^=$, máximo (%)	E-233	1,2

Nota 1: adicional a esta especificación, es necesario probar el comportamiento competente del material en obras ya construidas. Durante el período de construcción no se permiten variaciones mayores de dos décimas (0,2) en el módulo de finura, con respecto al valor correspondiente a la curva adoptada para la fórmula de trabajo. Cuando se presenten variaciones superiores del módulo de finura, se debe revisar que no haya modificaciones a la curva adoptada de trabajo y se deben chequear afectaciones en los diseños. Si hay variaciones, se debe ajustar una nueva curva de trabajo y se debe corregir el diseño en caso de que haya lugar.

Nota 2: el ensayo se puede realizar con sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

Nota 3: el porcentaje de terrones de arcilla y partículas deleznables puede ser hasta de un tres por ciento (3 %) siempre y cuando no afecte la durabilidad y la resistencia del concreto.

Si el agregado fino no cumple el requisito indicado en la Tabla 630 — 1 para el contenido de materia orgánica, se puede aceptar si al ser ensayado en relación con el efecto de las impurezas orgánicas sobre la resistencia del mortero, se obtiene una resistencia relativa a siete días (7 d) no menor de noventa y cinco por ciento (95 %), calculada de acuerdo con el procedimiento descrito en la norma de ensayo ASTM C87.

Tabla 630 — 2. Granulometría del agregado fino para concreto estructural

Tipo de gradación	**Tamiz (mm / U.S. *Standard*)**							
	9,5	4,75	2,36	1,18	0,600	0,300	0,150	0,075
	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 8	Nro. 16	Nro. 30	Nro. 50	Nro. 100	Nro. 200
	Pasa tamiz (%)							
Única	100	95 — 100	80 — 100	50 — 85	25 — 60	5 — 30	0 — 10	0 — 3 (Nota 1 y Nota 2)

Nota 1: para concretos que no estén sometidos a abrasión, el límite para el material más fino que el tamiz de 0,075 mm (nro. 200) debe ser de máximo cinco por ciento (5 %).

Nota 2: para finos obtenidos de trituración u otros agregados reciclados, si el material más fino que el tamiz de 0,075 mm (nro. 200) compuesto de polvo de trituración, esencialmente libre de arcillas o esquistos, este límite puede ser cinco por ciento (5 %) para concretos sometidos a abrasión y máximo siete por ciento (7 %) para concretos no sujetos a abrasión.

630.2.1.3.2 Agregado grueso

Se denomina agregado grueso la porción del agregado retenida en el tamiz de 4,75 mm (nro. 4). Dicho agregado debe estar compuesto de grava, grava triturada o roca triturada o su combinación o concreto triturado fabricado con cemento hidráulico que cumpla los requisitos para el agregado de este artículo. Sus fragmentos deben ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables. Debe estar exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan afectar adversamente la calidad de la mezcla. No se permite la utilización de agregado grueso proveniente de escorias de alto horno.

El agregado grueso debe cumplir los requisitos que se indican en la Tabla 630 — 3 y su gradación se debe ajustar a alguna de las indicadas en la Tabla 630 — 4. La gradación por utilizar es la especificada en los documentos del proyecto para cada tipo de concreto, cuyo tamaño máximo depende de la estructura que se trate, la separación del refuerzo y el tipo de concreto especificado.

La curva granulométrica obtenida al mezclar los agregados grueso y fino en el diseño y construcción del concreto debe ser continua y asemejarse a las teóricas obtenidas al aplicar las fórmulas de Fuller, Bolomey o cualquier otro método validado por alguna institución técnica de reconocido prestigio nacional o internacional y aprobado por el interventor.

Optimización granulométrica: en caso de no cumplir los requisitos propuestos por algunas de las metodologías de dosificación mencionadas anteriormente, se pueden realizar optimizaciones granulométricas con base en métodos de empaquetamiento granular. El constructor debe revisar la propuesta con aprobación del interventor, mediante la elaboración de mezclas de prueba, con el fin de comprobar que las características proporcionadas en el diseño cumplan los requisitos del concreto tanto en estado fresco como en estado endurecido para el proyecto en particular.

Tabla 630 — 3. Requisitos del agregado grueso para concreto estructural

Característica	Norma de ensayo INV	Requisito
Dureza (O)		
Desgaste en la máquina de Los Ángeles, máximo (%): - En seco, 500 revoluciones, máximo (%) - En seco, 100 revoluciones, máximo (%)	E-218	 40 8
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%). (Nota 1): - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	E-220	 12 18

Característica	Norma de ensayo INV	Requisito
Limpieza (F)		
Terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%). (Nota 2)	E-211	3
Partículas livianas, máximo (%)	E-221	0,5
Geometría de las partículas (F)		
Índice de alargamiento, máximo (%)	E-230	25
Índice de aplanamiento, máximo (%)	E-230	25
Características químicas (O)		
Contenido de sulfatos, expresado como $SO_4^=$, máximo (%)	E-233	1,0

Nota 1: el ensayo se puede realizar con sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

Nota 2: para concreto arquitectónico, el límite máximo es dos por ciento (2 %).

Tabla 630 — 4. Franjas granulométricas de agregado grueso para concreto estructural

Tipo de gradación		Tamiz (mm / U.S. *Standard*)													
		100	90	75	63	50	37,5	25,0	19,0	12,5	9,5	4,75	2,36	1,10	0,3
INVÍAS	**ASTM C33**	4 Pulgadas	3 ½ Pulgadas	3 Pulgadas	2 ½ Pulgadas	2 Pulgadas	1 ½ Pulgadas	1 Pulgada	3/4 Pulgada	1/2 Pulgada	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 8	Nro. 16	Nro. 50
		Pasa tamiz (%)													
	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 — 100	10 — 40	0 — 10	0 — 5
	89	-	-	-	-	-	-	-	-	100	90 — 100	20 — 55	5 — 30	0 — 10	0 — 5
	8	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 — 100	10 — 30	0 — 10	0 — 5	-
AG-19	**7**	-	-	-	-	-	-	-	100	90 — 100	40 — 70	0 — 15	0 — 5	-	-
AG-25	**67**	-	-	-	-	-	-	100	90 — 100	-	20 — 55	0 — 10	0 — 5	-	-
	6	-	-	-	-	-	-	100	90 — 100	20 — 55	0 — 15	0 — 5	-	-	-
AG-38	**57**	-	-	-	-	-	100	95 — 100	-	25 — 60	-	0 — 10	0 — 5	-	-
	56	-	-	-	-	-	100	90 — 100	40 — 85	10 — 40	0 — 15	0 — 5	-	-	-
	5	-	-	-	-	-	100	90 — 100	20 — 55	0 — 10	0 — 5	-	-	-	-
AG-50-1	**467**	-	-	-	-	100	95 — 100	-	35 — 70	-	10 — 30	0 — 5	-	-	-
AG-50-2	**4**	-	-	-	-	100	90 — 100	20 — 55	0 — 15	-	0 — 5	-	-	-	-
AG-63-1	**357**	-	-	-	100	95 — 100	-	35 — 70	-	10 — 30	-	0 — 5	-	-	-
AG-63-2	**3**	-	-	-	100	95 — 100	35 — 70	0 — 15	-	0 — 5	-	-	-	-	-
	2	-	-	100	90 — 100	35 — 70	0 — 15	-	0 — 5	-	-	-	-	-	-
	1	100	90 — 100	-	25 — 60	-	0 — 15	-	0 — 5	-	-	-	-	-	-

El tamaño máximo nominal del agregado grueso no debe tener un valor mayor que ninguno de los siguientes:

- 1/5 de la menor separación entre los lados del encofrado.
- 1/3 de la altura de la losa.
- 3/4 del espaciamiento mínimo libre entre las barras o alambres individuales de refuerzo, paquetes de barras, tendones individuales, paquetes de tendones o ductos.

Los valores límite de tamaño máximo nominal se pueden omitir, si el interventor lo aprueba y el profesional facultado para diseñar la mezcla y los métodos de compactación del concreto garantizan la colocación sin hormigueros o vacíos.

630.2.1.3.3 Agregado liviano

El agregado liviano y el concreto estructural liviano deben cumplir lo requerido en la NTC 4045 (ASTM C330). Cuando el agregado liviano se utilice para realizar curado interno, debe cumplir lo establecido en la norma ASTM C1761.

630.2.1.3.4 Agregado para concreto ciclópeo

El agregado ciclópeo debe ser roca triturada o canto rodado de buena calidad, preferiblemente angular y su forma tendiente a ser cúbica. La relación entre las dimensiones mayor y menor de cada piedra no debe ser mayor que dos a uno (2:1).

El tamaño máximo admisible del agregado ciclópeo depende del espesor y del volumen de la estructura de la cual forma parte. En cabezales, aletas y obras similares con espesor no mayor de ochenta centímetros (80 cm) se admiten agregados ciclópeos con dimensión máxima de treinta centímetros (30 cm). En estructuras de mayor espesor se pueden emplear agregados de mayor tamaño, previa aprobación del interventor y con las limitaciones establecidas en el numeral 630.4.8.4.

El material constitutivo del agregado ciclópeo no puede presentar un desgaste mayor de cuarenta por ciento (40 %), al ser sometido a la prueba en la máquina de Los Ángeles, según la norma de ensayo INV E-219 (NTC 93).

630.2.1.4 Agua

El agua que se emplee para las mezclas de concreto hidráulico o para el curado de las estructuras de concreto, debe cumplir los requisitos de la norma ASTM C1602. No debe contener aceites, ácidos, azúcares, detergentes, sólidos disueltos, sales, materia orgánica o cualquier otra sustancia perjudicial para el concreto terminado. En cualquier caso, se deben cumplir los requisitos dados en la Tabla 630 — 5 y en la Tabla 630 — 6.

Tabla 630 — 5. Requisitos para el agua de mezclado

Propiedad	Norma de ensayo	Límites
pH, mínimo	NTC 3651 (ASTM D1293)	6,5
Resistencia a la compresión en cubos de mortero, porcentaje (%) mínimo en control a siete días (7 d)	NTC 220 (ASTM C109)	90
Tiempo de fraguado, desviación respecto del tiempo de control (horas:minutos)	NTC 118 (ASTM C403)	de 1:00 inicial a 1:30 final

Para aprobar el agua con la que se piensa preparar la mezcla de concreto se deben realizar dos series de ensayos sobre cubos de mortero, según la NTC 220 (ASTM C109). En la primera serie se preparan los cubos de mortero con el agua que se desea emplear en la obra, mientras que en la segunda serie se utiliza agua destilada. Las resistencias promedio a la compresión a la edad de siete días (7 d) del mortero con el agua que se desea emplear en la obra deben ser superiores al noventa por ciento (90 %) de las obtenidas con el agua destilada.

En relación con el requisito sobre tiempo de fraguado, las medidas se realizan mediante la resistencia a penetración de morteros extraídos de muestras de concreto, elaboradas como se describió en el párrafo anterior.

Tabla 630 — 6. Límites químicos para el agua de mezclado

Contaminante	Norma de ensayo ASTM	Límite máximo (ppm) (Nota 1)
Ion Cloro (Cl^-)	C114	500 (Nota 2) o 1 000 (Nota 3)
Sulfatos ($SO_4^=$)	C114	3 000
Álcalis como (Na_2O + 0,658 K_2O). (Nota 4)	C114	600
Sólidos totales	C1603	50 000

Nota 1: ppm corresponde a partes por millón.

Nota 2: concreto pretensado.

Nota 3: concreto reforzado.

Nota 4: se pueden emplear también las normas ASTM D4191 y ASTM D4192.

630.2.1.5 Aditivos y adiciones complementarias

Se pueden usar aditivos y adiciones complementarias de reconocida calidad que cumplan los requisitos normativos correspondientes, para modificar las propiedades del concreto, con el fin de que sea más adecuado para las condiciones particulares de la estructura a construir.

Los aditivos reductores de agua y para control de fraguado deben cumplir los requisitos de la NTC 1299 (ASTM C494). Los inclusores de aire se deben ajustar a las exigencias de la norma ASTM C260. El concreto reforzado con fibras debe cumplir los requisitos de la NTC 5541 (ASTM C1116). Los pigmentos utilizados en concretos, con el propósito de producir mezclas coloreadas integralmente, deben cumplir la norma ASTM C979. Adicionalmente, se permite el uso de todos los aditivos que cumplan ACI 212.3R, Reporte de aditivos químicos para el concreto.

Su empleo se debe definir por medio de ensayos efectuados con antelación a la obra, con dosificaciones que garanticen el efecto deseado, sin perturbar las propiedades restantes de la mezcla.

Los aditivos y las adiciones complementarias deben estar libres de sustancias que, por su naturaleza o cantidad, afecten la resistencia o la durabilidad del concreto, armaduras, aceros de alta resistencia u otros elementos insertados.

Los aditivos que contengan altos contenidos de cloruros no deben ser adicionados al concreto reforzado, concreto preesforzado, concreto que contengan aluminio embebido o en concreto construido con encofrados permanentes de acero, a menos que se demuestre experimentalmente que no se afecta su durabilidad y sean aprobados por el interventor. También, se prohíbe el uso de aditivos ricos en álcalis solubles para la elaboración de cualquier tipo de concreto, a menos que se demuestre experimentalmente que no se afecta la durabilidad del concreto y sean aprobados por el interventor.

Para la validación de los aditivos y adiciones complementarias se deben realizar mezclas de prueba con los materiales por usar, en las cantidades establecidas para la mezcla en obra y en las condiciones específicas de sitio a las que está expuesta la estructura. Para establecer la dosis del aditivo se deben realizar mezclas de prueba con el fin de verificar el desempeño requerido. Las dosis ensayadas y aprobadas no se deben modificar a menos que se realicen nuevamente mezclas de prueba y se verifique el desempeño requerido.

Para todo aditivo o adición complementaria que se utilice como parte del diseño de la mezcla de concreto, el constructor debe presentar los resultados de todos los ensayos físicos y químicos que sean requeridos según el material y deben ser aprobados por el interventor.

El uso del aditivo es responsabilidad directa del constructor, así haya sido aprobado por el interventor.

El uso de aditivos y adiciones complementarias de cualquier naturaleza en las mezclas de concreto debe ser probado bajo las condiciones específicas del sitio de obra, de tal manera que se demuestre que no se afectan las propiedades y las características del concreto y se obtiene el desempeño deseado.

El proveedor debe suministrar un documento en donde se presenten las recomendaciones de uso del aditivo. El seguimiento, almacenamiento y demás requisitos para el uso del aditivo se deben realizar siguiendo el documento con las recomendaciones del proveedor.

630.2.2 Acero

En los documentos del proyecto se debe indicar el acero de refuerzo necesario para las diferentes estructuras de concreto. Al respecto, se deben cumplir los requisitos del artículo 640, Acero de refuerzo.

Para elementos preesforzados, el suministro, la colocación y el tensionamiento de acero de preesfuerzo, se debe dar cumpliendo a los requisitos del artículo 641, Acero de preesfuerzo.

Se deben tomar todas las medidas necesarias para evitar la corrosión del acero de refuerzo, tales como:

- Almacenar adecuadamente el acero y evitar su contacto con la humedad.
- Limitar el contenido total de cloruros en la mezcla de concreto, según las tablas de tipo de exposición y requisitos presentadas en este artículo.
- Garantizar que los recubrimientos cumplen los requisitos mínimos de diseño.
- Dosificar mezclas con relaciones agua/material cementante (a/mc) bajas que promuevan concretos densos y de baja permeabilidad.
- En vez de acero (barras, mallas, fibras) utilizar otros materiales que no sean afectados por los cloruros. Se debe establecer por parte del diseñador y el interventor la viabilidad de esta medida.
- Recubrir el acero con materiales que sirvan como barrera física a los agentes agresivos. Se debe establecer por parte del diseñador y el interventor la viabilidad de esta medida.

El concreto reforzado con fibras debe cumplir los siguientes requisitos:

- Las fibras deben cumplir la norma ASTM C1116.
- Se debe aplicar el método de ensayo presentado en la norma ASTM C1609.
- El tipo de fibra, la cantidad y las características de colocación de las fibras deben ser determinadas por el diseñador, esto debe quedar registrado en los documentos del proyecto y debe ser cumplido en obra.

630.2.3 Productos para el curado del concreto

El curado del concreto debe seguir los lineamientos de la guía ACI 308R, Guía para curado del concreto.

Este se puede llevar a cabo a través de:

- Métodos que mantienen un ambiente húmedo mediante la aplicación continua o frecuente de agua por medio de inundación, rociado, nebulización o cubiertas húmedas saturadas.
- Métodos que mantienen la presencia de parte del agua de mezclado de concreto, durante el periodo inicial de endurecimiento, mediante materiales que sellan la superficie expuesta, tales como láminas impermeables de papel o plástico o con la aplicación de compuestos químicos para formar membranas impermeables de curado.

- Métodos que aceleran la ganancia de resistencia suministrando calor y humedad adicional al concreto, esto se logra normalmente con la aplicación de vapor de agua directo, serpentines de calentamiento embebidos en el concreto o formaletas calentadas eléctricamente.
- Otros métodos que fomentan la retención del agua dentro del concreto mediante la utilización de productos químicos dentro de la masa, desde que no se afecten las propiedades establecidas para el concreto.

En caso de usar láminas de curado que pueden ser de polietileno blanco o de papel, se debe cumplir la norma ASTM C171. En caso de usar membranas de curado se debe cumplir la norma ASTM C309. El agua usada para el curado debe cumplir los requisitos del numeral 630.2.1.4 y no debe ser más fría en once grados Celsius (11 °C) que la temperatura interna del concreto.

Para cualquier metodología de curado que se realice en la estructura se debe hacer curado estándar y curado en campo, conforme lo establecido en la norma INV E-420/NTC 550, es decir, así como se toman muestras para el control de la calidad de la mezcla, se deben preparar y curar especímenes en las condiciones de la obra (elementos cerca de la estructura) para determinar la eficiencia del curado y la protección del concreto de la estructura.

La efectividad de los productos para el curado del concreto se debe demostrar mediante experiencias previas exitosas o ensayos al inicio de la colocación del concreto.

630.2.4 Productos para las juntas

Cuando el diseño lo requiera en los documentos del proyecto, el diseñador debe proporcionar la ubicación y los detalles de todas las juntas de construcción, contracción y dilatación, estos detalles deben ser seguidos por el constructor en obra. El material utilizado para la elaboración de las juntas debe ser aplicado o instalado según las recomendaciones consignadas en la ficha técnica del producto suministrada por el fabricante. Los productos para juntas deben cumplir los requisitos del artículo 500.

630.2.5 Resina polimérica y material para reparación parcial de estructuras en concreto

Cuando se trate de anclaje de barras, reparación de fisuras y puente de adherencia para reparaciones, se debe usar un material que cumpla los requisitos establecidos en la norma ASTM C881. La selección del tipo de resina epóxica debe estar en función del tipo de adherencia, el grado de viscosidad (baja, media o alta), la clase (rangos de temperatura para su aplicación) y el color que estén planteados en los documentos del proyecto.

En anclajes con consideraciones de riesgo sísmico o concreto fisurado se deben considerar anclajes de resinas epóxicas que estén acorde con la ACI 355.4, Calificación de anclajes adhesivos post-instalados en concreto.

Para la reparación de desportillamientos y para el tratamiento de juntas de emergencia, se debe utilizar un mortero base cemento de alta especificación que cumpla los requisitos de la norma ASTM C928 tipo 3.

En todo caso, las resinas poliméricas y los materiales para la reparación parcial de estructuras en concreto deben ser aprobados por el interventor.

630.2.6 Requisitos de durabilidad, resistencia y clase del concreto

El diseño de mezcla de cada tipo de concreto debe cumplir todos los requisitos de:

- Durabilidad
- Clase de concreto
- Resistencia

Para ello, se deben tomar como requisitos límite, los parámetros más conservadores de estos tres aspectos.

Una vez definido el diseño de la mezcla de cada tipo de concreto por usar en obra, se debe entregar al interventor la caracterización de la mezcla de concreto, entre los documentos del proyecto. Cada tipo de concreto debe estar caracterizado, como mínimo, con los siguientes parámetros:

- Tipo de uso: concreto pretensado, postensado, reforzado, liviano, simple o ciclópeo.
- Tipo de colocación especial, si es aplicable. Por ejemplo: para instalar con bomba, para instalar bajo agua (tremie).
- Categoría y clase de exposición: se debe definir de acuerdo con el numeral 630.2.6.1.
- Reactividad álcali-sílice y álcali-carbonato.
- Requisitos asociados a la clase de exposición, según el numeral 630.2.6.1: relación a/mc, resistencia mínima a la compresión, contenido de aire y tipo de material cementante, entre otros.
- Tipo de cemento hidráulico y adiciones suplementarias, el cual debe ser definido en función de las condiciones particulares de cada estructura, teniendo en cuenta los requisitos asociados a la clase de exposición.
- Aditivos y adiciones complementarias, en el caso de ser requeridas.
- Tamaño máximo y tipo de gradación del agregado grueso.
- Relación a/mc, valor máximo.
- Mínima resistencia a la compresión (norma de ensayo INV E-410/NTC 673) para una edad específica.
- Asentamiento (norma de ensayo INV E-404/NTC 396), intervalo de valores, pero en caso de mezclas muy fluidas se debe realizar el ensayo para medir el flujo libre (NTC 5222).
- Contenido de aire (norma de ensayo INV E-406/NTC 1032), intervalo de valores.
- En caso de usar concretos especiales, se debe determinar el método constructivo.

630.2.6.1 Durabilidad

El concreto hidráulico se debe diseñar para las resistencias especificadas en los documentos del proyecto y para requisitos de durabilidad, según las condiciones de exposición. Además, se debe tener en cuenta el tipo de refuerzo de la estructura, especialmente en relación con los requisitos de corrosión del acero.

El diseño por durabilidad se puede hacer de manera prescriptiva o por desempeño verificado, según se explica a continuación. Así mismo, no se pueden combinar los dos métodos en el diseño. Si ambos llegaran a quedar especificados, deben prevalecer para el diseño los requisitos más exigentes.

Es responsabilidad del diseñador establecer los requisitos de durabilidad aplicables, con base en las condiciones de exposición (FSPC) de la estructura de concreto hidráulico, tanto para métodos prescriptivos como para métodos por desempeño verificado. El constructor puede optar por construir la obra utilizando uno u otro método.

630.2.6.1.1 Método prescriptivo

Se deben definir las condiciones de exposición de la estructura de concreto y clasificarla según la categoría y grado de severidad, con el objetivo de determinar los requisitos por durabilidad que debe cumplir la mezcla.

El diseñador debe consignar en los documentos del proyecto, las categorías de exposición de forma completa según la Tabla 630 — 7.

Por ejemplo, F0S1P0C2, para un concreto que no está expuesto a ciclos de congelamiento y descongelamiento (F0), con exposición moderada a sulfatos (S1), sin requisitos de permeabilidad (P0), y concreto reforzado que está expuesto a la humedad y a fuentes externas de cloruros (C2).

Sin importar los requisitos dados por el tipo de exposición o resistencia, se deben cumplir los requisitos de material cementante, expresados como el cemento hidráulico más los cementantes suplementarios (puzolanas), de acuerdo con lo establecido en la Tabla 630 — 7.

La Tabla 630 — 7 presenta las categorías y las clases de exposición para las estructuras de concreto hidráulico. Como una estructura puede estar expuesta a dos o más categorías de exposición, se deben aplicar los requisitos prescriptivos más estrictos que se especifican para cada requisito de formulación (relación a/mc; $f'c$, y requisitos adicionales, tipo de cementantes, etc.).

Se deben aplicar los criterios de exposición para corrosión solo para estructuras de concreto hidráulico reforzado con acero, como mallas de refuerzo, macrofibras y microfibras de acero, barras de refuerzo, entre otros.

Tabla 630 — 7. Categorías de exposición, severidad y requisitos prescriptivos para el diseño por durabilidad del concreto

Categoría	Severidad	Clase	Condición	Rel. a/mc máx. (Nota 9)	*f´c* mín. (MPa)	Requisitos mínimos adicionales	
						Contenido de aire	Límites en los cementantes
F Congelamiento y deshielo	No aplicable	F0	Concreto no expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo	-	17	-	-
	Moderada	F1	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo y exposición ocasional a la humedad	0,55	24	Tabla 630 – 8	-
	Severa	F2	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo y en contacto continuo con la humedad	0,45	31	Tabla 630 – 8	-
	Muy severa	F3	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo, que está en contacto continuo con la humedad y expuesto a productos químicos descongelantes	0,40	35	Tabla 630 – 8	Tabla 630 – 9

			Sulfatos solubles en agua (SO4) en el suelo, porcentaje (%) en peso (Nota 1)	Sulfato (SO4) disuelto en agua (ppm) (Nota 2)			Tipos de material cementante (Nota 3)			Uso de aditivo cloruro de calcio
							ASTM C150	ASTM C595	NTC 121	
S Sulfato	No aplicable	S0	$SO_4^= < 0,10$	$SO_4^= < 150$	N/A	17	Sin restricción en el tipo	Sin restricción en el tipo	Sin restricción en el tipo	Sin restricción
	Moderada	S1	$0,10 \leq SO_4^= < 0,20$	$150 \leq SO_4^= < 1\,500$	0,50	28	II (Nota 4 y Nota 5)	Tipos con designación MS	MS	Sin restricción

Categoría	Severidad	Clase	Condición		Rel. a/mc máx. (Nota 9)	*f´c* mín. (MPa)	Requisitos mínimos adicionales			
							Contenido de aire			Límites en los cementantes
			Sulfatos solubles en agua (SO4) en el suelo, porcentaje (%) en peso (Nota 1)	Sulfato (SO4) disuelto en agua (ppm) (Nota 2)			Tipos de material cementante (Nota 3)			Uso de aditivo cloruro de calcio
							ASTM C150	ASTM C595	NTC 121	
S Sulfato	Severa	S2	$0,20 \leq SO_4^{=} < 2,00$	$1\,500 \leq SO_4^{=} < 10\,000$	0,45	31	V (Nota 5)	Tipos con designación HS	HS	No se permite
	Muy severa	S3	$SO_4^{=} > 2,00$	$SO_4^{=} > 10\,000$	0,45	31	V más puzolanas o escoria (Nota 6)	Tipos con designación HS más puzolanas o escoria (Nota 6)	HS y puzolanas o escoria (Nota 6)	No se permite
P Concreto en contacto con el agua	No aplicable	P0	En contacto con el agua donde no se requiere baja permeabilidad		N/A	17	Ninguno			
	Requerida	P1	En contacto con el agua donde se requiere baja permeabilidad		0,50	28	Ninguno			
							Contenido máximo de iones de cloruro (Cl-) soluble en agua en el concreto, porcentaje por peso de cemento			Requisitos relacionados
							Concreto reforzado	Concreto preesforzado		
	No aplicable	C0	Concreto seco o protegido contra la humedad		N/A	17	1,00	0,06		Ninguno

Categoría	Severidad	Clase	Condición	Rel. a/mc máx. (Nota 9)	f´c mín. (MPa)	Requisitos mínimos adicionales		
						Contenido de aire		Límites en los cementantes
						Contenido máximo de iones de cloruro (Cl-) soluble en agua en el concreto, porcentaje por peso de cemento		Requisitos relacionados
						Concreto reforzado	Concreto preesforzado	
C Protección del refuerzo para la corrosión	Moderada	C1	Concreto expuesto a la humedad, pero no a una fuente externa de cloruros	0,50	17	0,30	0,06	Ninguno
	Severa	C2	Concreto expuesto a la humedad y a una fuente externa de cloruros provenientes de productos químicos descongelantes, sal, agua salobre, agua de mar o salpicaduras del mismo origen	0,40	35	0,15	0,06	(Nota 8)

Nota 1: el porcentaje en masa de sulfato en el suelo se debe determinar por medio de la norma ASTM C1580.

Nota 2: la concentración de sulfatos disueltos en agua en partes por millón, se debe determinar por medio de la norma ASTM D516 o la norma ASTM D4130.

Nota 3: se permiten combinaciones alternativas de materiales cementantes diferentes a los mencionados en la Tabla 630 – 7, siempre y cuando sean ensayados para comprobar la resistencia a los sulfatos y se cumplan los criterios de la Tabla 630 – 11.

Nota 4: para exposición al agua marina, son permitidos otros tipos de cemento Portland, con contenidos de hasta diez por ciento (10 %) de aluminato tricálcico (C3A) si la relación a/mc no excede cero coma cuarenta (0,40).

Nota 5: se permiten otros tipos de cemento como el tipo III o el tipo I en exposiciones clase S1 o S2, si el contenido de C3A es menor al ocho por ciento (8 %) o cinco por ciento (5 %), respectivamente.

Nota 6: la cantidad de fuente específica de puzolana o escoria que se use, no debe ser inferior a la cantidad que haya sido determinada, por experiencia en mejorar la resistencia a sulfatos, cuando se usa en concretos que contienen cemento tipo V. De manera alternativa, la cantidad de la fuente específica de puzolana o escoria usada, no debe ser menor a la cantidad ensayada, según la NTC 3330 (ASTM C1012) y debe cumplir los requisitos de la Tabla 630 – 11.

Nota 7: el contenido de iones cloruro, solubles en agua, provenientes de los ingredientes -incluyendo el agua-, agregados, materiales cementantes y aditivos de la mezcla de concreto, deben ser determinados según los requisitos de la NTC 4049 (ASTM C1218M), a edades que van de veintiocho días (28 d) a cuarenta y dos días (42 d).

Nota 8: se deben cumplir los requisitos de la NSR referentes a «Protección de concreto para el refuerzo: Pernos con cabeza para refuerzo de corte», «Protección de concreto para el refuerzo: Ambientes corrosivos» y «Protección contra la corrosión de tendones de preesforzado no adheridos».

Nota 9: los límites máximos de la relación a/mc no se aplican al concreto de peso liviano.

Como complemento de la Tabla 630 — 7, a continuación, se presentan requisitos adicionales para la exposición a congelamiento y deshielo en la Tabla 630 — 8. La tolerancia de aire incorporado debe ser de más o menos uno coma cinco por ciento (± 1,5 %). Para concretos de *f'c* mayores de treinta y cinco megapascales (35 MPa), los valores de la Tabla 630 — 8 se pueden reducir hasta en uno por ciento (1 %).

Tabla 630 — 8. Contenido total de aire para concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo

Tamaño máximo nominal del agregado (mm)	Contenido de aire (%)	
	Exposición Clase F1	Exposición Clases F2 y F3
9,5	6,0	7,5
12,5	5,5	7,0
19,0	5,0	6,0
25,0	4,5	6,0
37,5	4,5	5,5
50,0 (Nota)	4,0	5,0
75,0 (Nota)	3,5	4,5

Nota: estos contenidos de aire se aplican a la mezcla total. Al ensayar estos concretos, sin embargo, se retiran las partículas de agregado mayores de cuarenta milímetros (40 mm) sacándolas mediante tamizado y se determina el contenido de aire en la fracción tamizada (la tolerancia en el contenido de aire incorporado se aplica a ese valor). El contenido de aire de la mezcla total se calcula a partir del valor determinado en la fracción cribada que pasa el tamiz de 40 mm, indicado en la norma INV E-406/NTC 1032 (ASTM C231).

En la Tabla 630 — 9 se presenta el límite de materiales cementantes para concreto sometido a clase de exposición F3.

Tabla 630 — 9. Requisitos para concreto sometido a clase de exposición F3

Materiales cementantes	Porcentaje máximo sobre el total de materiales cementantes en peso (Nota 1)
Cenizas volantes u otras puzolanas que cumplen NTC 3493 (ASTM C618)	25
Escoria que cumple NTC 4018 (ASTM C989)	50
Humo de sílice que cumple ASTM C1240	10

Materiales cementantes	Porcentaje máximo sobre el total de materiales cementantes en peso (Nota 1)
Total de cenizas volantes u otras puzolanas, escoria y humo de sílice	50 (Nota 2)
Total de cenizas volantes u otras puzolanas y humo de sílice	35 (Nota 2)

Nota 1: el total de materiales cementantes también incluye cementos ASTM C150, ASTM C595, NTC 4578 (ASTM C845) y NTC 121. Los porcentajes máximos de esta tabla incluyen:
a. Cenizas volantes u otras puzolanas presentes en cementos adicionados tipo IP, según la norma ASTM C595 o NTC 121.
b. Escoria usada en la fabricación de cementos adicionados Tipo IS, según la norma ASTM C595 o NTC 121.
c. Humo de sílice, según la norma ASTM C1240, presente en cementos adicionados.

Nota 2: las cenizas volantes u otras puzolanas y el humo de sílice no deben constituir más del veinticinco por ciento (25 %) y diez por ciento (10 %).

Para el caso de elementos estructurales expuestos a condiciones ambientales, tales como obras hidráulicas y estructuras en contacto permanente con el agua, los requisitos de durabilidad son aplicables, a excepción de la relación a/mc y *f'c* mínimo para las clases de exposición presentadas en la Tabla 630 — 10. Para el caso de estructuras que están expuestas a condiciones de exposición severas, con presencia de agentes químicos concentrados, se deben cumplir ciclos de humedecimiento y secado, y ciclos de congelamiento y deshielo del concreto saturado en algunas regiones. La clase de exposición Q se refiere a concretos expuestos a químicos corrosivos.

Tabla 630 — 10. Requisitos de concreto adicionales para estructuras ambientales

Clase de exposición	Relación a/mc máx.	*f'c* mín. (MPa)
F3	0,42	31
S0	0,45	28
S1	0,42	31
S2	0,40	35
S3	0,40	35
P1	0,45	28
Q1	0,42	31

Adicionalmente, se deben cumplir los requisitos de juntas, protección contra la erosión y la protección contra químicos, presentados en la norma NSR para elementos ambientales.

630.2.6.1.2 Métodos por desempeño verificado

En caso de evaluar la durabilidad por el método de desempeño verificado, para exposiciones a sulfatos y al ion cloruro, el diseñador debe consignar en los documentos del proyecto los requisitos de diseño por desempeño verificado para los diferentes tipos de exposición, con base en los siguientes criterios: penetrabilidad al ion cloruro, en culombios (C), resistencia a sulfatos, en porcentaje (%) de expansión y permeabilidad al agua (NTC 4483). Se debe hacer la verificación experimental de los requisitos de durabilidad para el material colocado en obra.

No se establecen requisitos de contenido mínimo de cementante o de tipo de cemento, siempre y cuando se cumplan los requisitos de desempeño verificado y los requisitos de resistencia especificada para el concreto.

630.2.6.1.2.1 Exposición a sulfatos

Para la elaboración de concretos hidráulicos expuestos a sulfatos, provenientes del suelo, el agua freática y el agua marina, entre otras, se permite el uso de cualquier tipo de cemento que, solo o mezclado con un contenido mínimo de material suplementario, demuestre un valor máximo de expansión en relación con la severidad de la exposición, según el método de ensayo de la norma ASTM C1012 y lo establecido en la Tabla 630 — 11. No se permite la aprobación de la expansión a edades menores ni el uso de ecuaciones de proyección. En cuanto al diseño de la mezcla por exposición a sulfatos, se deben cumplir todos los requisitos limite dados en la Tabla 630 — 11.

Tabla 630 — 11. Requisitos del concreto con exposición de sulfatos

Tipo de exposición a sulfatos	Descripción	Sulfatos en el suelo, solubles en agua ($SO_4^=$), porcentaje (%) en peso	Sulfatos disueltos en agua (ppm)	Expansión según NTC 3330	Permeabilidad al agua según NTC 4483	$f'c$, mín. (MPa)	Uso de acelerantes basados en cloruros
S0	Sin requisitos	< 0,1	< 150	Sin requisitos	Media	28	Sin restricción
S1	Moderada	Entre 0,1 y 0,2	Entre 150 y 1 500	0,1 % a 6 meses	Media	31	Sin restricción
S2	Severa	Entre 0,2 y 2,0	Entre 1 500 y 10 000	0,5 % a 6 meses y 0,1 % a 1 año	Media	35	No se permite
S3	Muy severa	> 2,0	> 10 000	0,1 % a 18 meses	Baja	35	No se permite

Para la evaluación de la permeabilidad al agua se debe seguir lo indicado en la Tabla 630 — 12.

Tabla 630 — 12. Penetración de agua en el concreto según NTC 4483

Tipo de ensayo	Unidades	Permeabilidad		
		Baja	Media	Alta
Coeficiente de permeabilidad al agua	m/s	$< 10^{-12}$	Entre 10^{-12} y 10^{-10}	$> 10^{-10}$
Profundidad de penetración	mm	< 30	Entre 30 y 60	> 60

630.2.6.1.2.2 Penetración al ion cloruro

Para el caso de concreto que contenga acero de refuerzo, bien sea en barras, mallas, macrofibra, microfibra, entre otros, el diseño de la mezcla de concreto por desempeño verificado para la protección a la penetración del ion cloruro se puede realizar con base en la Tabla 630 — 13, de acuerdo con el tipo de exposición. El ensayo se debe realizar de acuerdo con la norma de ensayo ASTM C1202. Los requisitos de durabilidad por desempeño verificado para la corrosión del refuerzo requieren, sin embargo, el cumplimiento de los valores de resistencia a la compresión mínima y relación a/mc máxima de la Tabla 630 — 7.

Tabla 630 — 13. Requisitos de penetrabilidad a cloruros y tipo de exposición de concreto

Carga que pasa (C) ASTM C1202	Penetración de ion cloruro	Tipo de exposición del pavimento con elementos de acero (se excluyen los pasadores de transferencia)
> 4 000	Alta	Concretos sin exposición a cloruros.
Entre 2 000 y 4 000	Moderada	Concretos con exposición leve a cloruros en ambientes secos o interiores.
Entre 1 000 y 2 000	Baja	Concretos en exposición directa a agua marina, o freática con alto contenido de cloruros (severa).
Entre 100 y 1 000	Muy baja	Pavimentos reforzados y continuamente reforzados, expuestos de forma directa al agua con cloruros (severa). Pavimentos en puertos, puentes y viaductos.
< 100	Despreciable	Estructuras que si son dañadas generan grandes pérdidas económicas y/o ambientales irreparables.

630.2.6.1.3 Diseño para la mitigación de la reacción álcali-agregado

Sin importar el tipo de exposición del concreto, se debe evaluar y mitigar, de ser necesario, la reacción álcali-agregado según lo establecido en la norma ASTM C1778 y los demás requisitos del presente artículo.

630.2.6.1.3.1 Evaluación de la reacción álcali-carbonato

Si el agregado por utilizar en un proyecto proviene de una fuente que contiene material calcáreo, se debe caracterizar el potencial de reactividad álcali-carbonato con base en su composición química, particularmente el

contenido de magnesio (MgO), cal (CaO) y alúmina (Al_2O_3). Se debe determinar si la relación CaO/MgO a Al_2O_3 del agregado se encuentra entre los rangos de composición de los agregados que son considerados potencialmente expansivos según se muestra en la Figura 630 — 1.

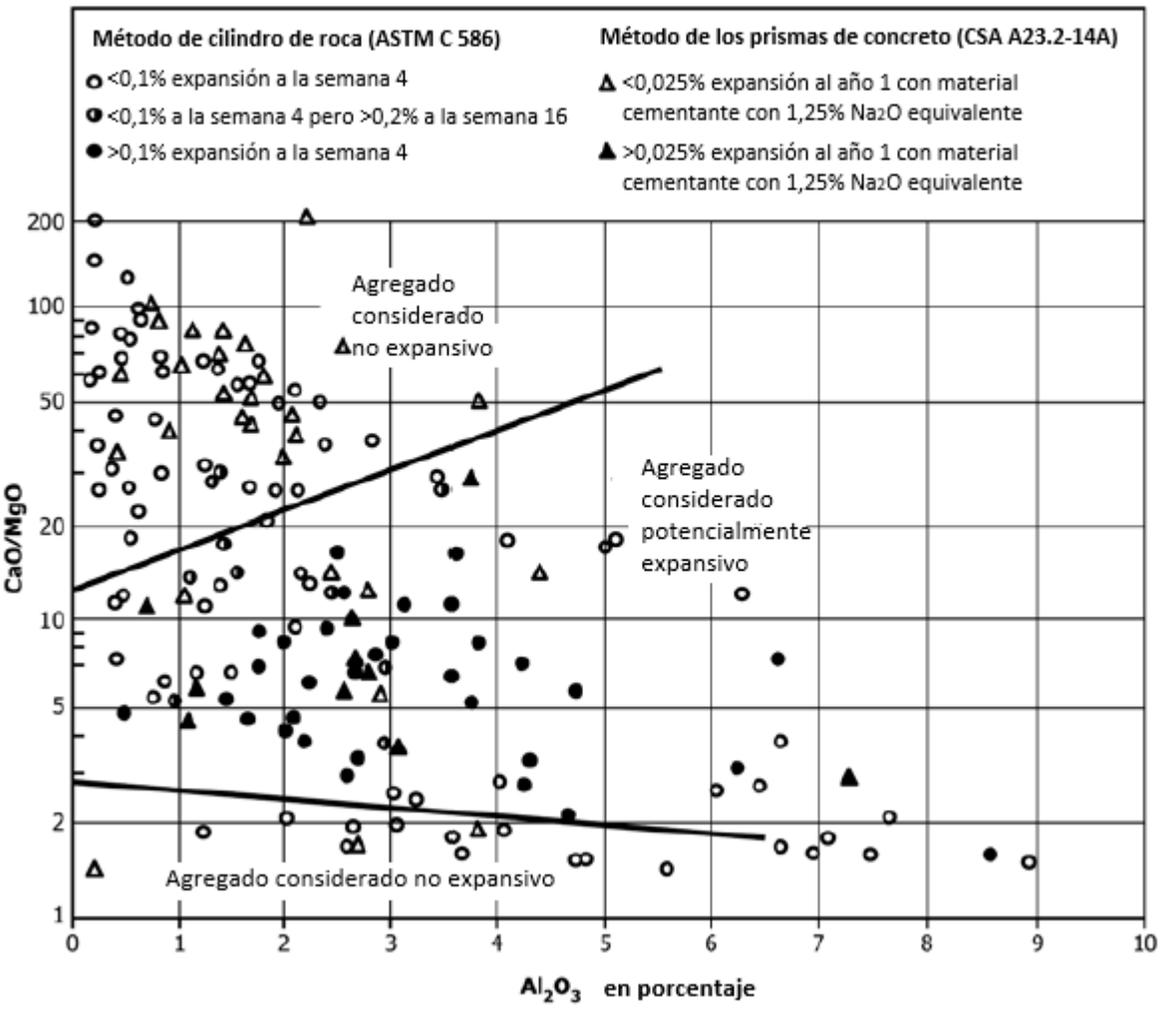


Figura 630 — 1. Franjas de composición para calificar el potencial de reacción álcali-carbonato de rocas calcáreas

Fuente: Figura adaptada de la norma ASTM C1778.

En cualquier caso, bien sea que el agregado se encuentre o no fuera de la franja de agregado potencialmente reactivo, el agregado calcáreo debe ser analizado para determinar su potencial, con el fin de desarrollar la reacción álcali-sílice y si esta se presenta, se debe proceder a su mitigación.

Si el agregado calcáreo se encuentra en el rango considerado potencialmente expan-

sivo para reacción álcali-carbonato, se debe ensayar utilizando el método de prismas de concreto por el método ASTM C1293 o por el método ASTM C1105, usando un contenido reducido de álcali (uno coma ocho kilogramos por metro cúbico (1,8 kg/m^3) para minimizar el riesgo de una expansión perjudicial como resultado de la reacción álcali-sílice). Según los resultados obtenidos en estos ensayos, se puede utilizar o no el agregado para la elaboración de concreto con base en los siguientes criterios:

- Cuando se usa solamente el método de la norma ASTM C1293 y con este se determina una expansión mayor que cero coma cero cuatro por ciento (0,04 %) a doce (12) meses, se debe realizar un análisis petrográfico para determinar si en el concreto hubo reacción álcali-carbonato y reacción álcali-sílice. Si el análisis petrográfico muestra que ocurrió reacción álcali-carbonato, solo o en combinación con reacción álcali-sílice, el agregado no puede ser utilizado para hacer concreto. Solo se puede usar el agregado si se implementa una explotación selectiva de la fuente, que demuestre que el nuevo agregado obtenido cumple los requisitos de expansión máxima por reacción álcali-carbonato.
- Cuando se usa el método ASTM C1105, el procedimiento se debe modificar de tal forma que el contenido de álcalis en el ensayo se mantenga por debajo de uno coma ocho kilogramos por metro cúbico (1,8 kg/m^3), para evitar que se genere reacción álcali-sílice. Si el resultado de expansión por este método es cero coma cero veinticinco por ciento (0,025 %) o mayor a los seis (6) meses, o cero coma cero tres por ciento (0,03 %) o mayor a los doce (12) meses, el agregado se considera reactivo y no se puede utilizar para hacer concreto. Los agregados calcáreos que muestren valores de expansión menores pueden ser utilizados para la elaboración de concreto. Aun si cumple este requisito, se debe evaluar el potencial de expansión por reacción álcali-sílice por el método ASTM C1260 o ASTM C1293, y de ser necesario, realizar la mitigación.

630.2.6.1.3.2 Evaluación de la reacción álcali-sílice

En el caso de la reacción álcali-sílice, se puede realizar la inspección petrográfica de los agregados al cumplir la norma ASTM C295, la cual sirve para determinar la presencia de sílice amorfa, sílice microcristalina, policristalina o criptocristalina.

La evaluación petrográfica, por sí sola, no se debe tomar como un indicativo de la reactividad de los agregados, la cual se debe analizar solamente por desempeño verificado.

La evaluación del potencial de expansión por reacción álcali-sílice se debe realizar según lo establecido en la NTC 6222 (ASTM C1260) (método de las barras de mortero) o, alternativamente, por la norma ASTM C1293 (método de los prismas de concreto). Para estas pruebas diagnósticas, solo se debe usar el cemento estándar (Portland Tipo I) definido por dichas normas. No se puede usar el cemento que se va a emplear en la obra. La calificación de reactividad de los agregados se realiza con base en los parámetros que se dan en la Tabla 630 — 14.

Tabla 630 — 14. Calificación de reactividad de los agregados

Norma	Material involucrado	Proceso	Requisito	Calificación	Valor
ASTM C1260	Agregados finos y gruesos. Solo se ensaya el agregado fino si ambos son de la misma fuente.	Diagnóstico de reactividad	Expansión en barras de mortero	Agregado inocuo	< 0,1 %
				Agregado potencialmente reactivo	≥ 0,1 %
				Agregado reactivo	≥ 0,2 %
ASTM C1567	Agregados finos y gruesos. Solo se ensaya el agregado fino si ambos son de la misma fuente. Cementante suplementario.	Mitigación de la reactividad	Expansión en barras de mortero	Mezcla mitigada	< 0,1 % a 16 días, si la curva de expansión tiene tendencia asintótica horizontal a los 16 días
ASTM C1293	Agregados finos y gruesos que se usan en la mezcla.	Diagnóstico de la reactividad	Expansión de los prismas de concreto	Potencialmente no reactivo	< 0,04 % a 1 año
				Potencialmente dañino	≥ 0,04 % a 1 año
	Agregados finos y gruesos, y cementante suplementario que se van a usar en la mezcla.	Mitigación de la reactividad	Expansión de los prismas de concreto	Mezcla mitigada	< 0,04 % a 2 años (Nota)

Nota: si no se cuenta con datos, se trabaja solo con las normas ASTM C1260 y ASTM C1567, como lo establece la norma ASTM C1778.

La mitigación de la reacción álcali-sílice mediante la aplicación de la norma ASTM C1567 o ASTM C1293, solo se puede realizar usando el cemento especificado en la norma de ensayo. No se admite el diseño de la mitigación usando el cemento de la obra.

El diseño de la mitigación se puede realizar mediante el método por desempeño verificado o el método prescriptivo, ambos descritos en la norma ASTM C1778 secciones 7, 8 y 9.

Cuando se emplee el método ASTM C1567 y se utilice, para la elaboración del concreto, agregado de diferentes fuentes, se debe mitigar la reacción álcali-sílice, con base en el material más reactivo. Además, para la mitigación de la reacción álcali-sílice se usan los criterios de diseño por el método prescriptivo o por el método de desempeño verificado que son detallados en la guía ASTM C1778.

630.2.6.1.3.3 Mitigación de reacción álcali-sílice por método prescriptivo

Para aplicar el criterio de diseño prescriptivo del método ASTM C1778 se deben tener en cuenta los siguientes requisitos:

- Emplear los valores de expansión por reactividad álcali-sílice de los agregados, según los resultados de la NTC 6222 (ASTM C1260) o ASTM C1293, o ambas.
- Determinar la ocurrencia de la reacción álcali-agregado en función de la exposición.
- Determinar la clase de severidad de las consecuencias en los casos que ocurra reacción álcali-sílice.
- Determinar el nivel de prevención requerido, con base en los resultados anteriores.
- Especificar con los requisitos más restrictivos.

630.2.6.1.3.4 Mitigación de reacción álcali-sílice por el método de desempeño verificado

En el caso del diseño de la mitigación de la reacción álcali-sílice por el método de desempeño verificado, se deben conocer los valores de expansión de los agregados por la NTC 6222 (ASTM C1260) o ASTM C1293 o ambas cuando estén disponibles. Es decir, con los resultados de los ensayos se determina la reactividad del material y se procede a diseñar directamente la mitigación. Uno de los métodos de mitigación es emplear material cementante suplementario, determinando la cantidad por los métodos de la ASTM C1567 o ASTM C1293.

630.2.6.2 Clases de concreto

Para el caso de puentes, estructuras auxiliares de puentes, estructuras hidráulicas de la infraestructura vial y muros de contención se debe definir la clase de concreto por usar, de acuerdo con la clasificación en la Norma Colombiana de Diseño de Puentes (CCP).

Una vez determinada la clase del concreto, se debe realizar el diseño de mezcla cumpliendo con los requisitos por clase de concreto presentados en el CCP. Para el caso la de relación a/mc, contenido de aire y resistencia a la compresión a los veintiocho días (28 d), se deben cumplir los requisitos límite del CCP y los requisitos de los numerales 630.2.6.1 y 630.2.6.3, es decir, se debe diseñar la mezcla con los parámetros límite más conservadores entre los establecidos por clase de concreto, durabilidad y resistencia.

630.2.6.3 Resistencia

También, se deben cumplir los siguientes requisitos para la resistencia:

- Concreto ciclópeo: la resistencia no debe ser menor de diecisiete megapascales (17 MPa) a los veintiocho días (28 d).
- Concreto simple: la resistencia no debe ser menor de diecisiete megapascales (17 MPa) a los veintiocho días (28 d).
- Concreto reforzado: la resistencia no debe ser menor de veintiún megapascales (21 MPa) a los veintiocho días (28 d).
- Concreto pretensado y postensado: la resistencia no debe ser menor de treinta y dos megapascales (32 MPa) a los veintiocho días (28 d).

Para el caso de concreto liviano, los límites máximos de la relación a/mc hallados en el numeral 630.2.6.1 no aplican.

Por otra parte, el valor de resistencia a la compresión del concreto liviano no debe ser mayor de treinta y cinco megapascales (35 MPa), es decir, elementos que requieran concreto con una resistencia a la compresión mayor de treinta y cinco megapascales (35 MPa) no se pueden construir con este tipo de concreto, a menos que se demuestre experimentalmente que, elementos estructurales elaborados con el concreto liviano a usar en obra proporcionan una resistencia y tenacidad iguales o mayores que las de elementos comparables hechos con concreto de peso normal de la misma resistencia.

630.3 Equipo

Es responsabilidad del constructor disponer de los equipos y elementos para el suministro de los materiales, fabricación, transporte, colocación, vibrado, curado y acabado del concreto estructural. También, equipos y elementos necesarios para la ejecución de juntas, equipos para limpieza, reparaciones, etc.

El constructor debe garantizar la calibración periódica de los equipos, de acuerdo con el plan de mantenimiento y calibración de estos, fijado en el plan de calidad del proyecto. Las calibraciones deben ser realizadas por laboratorios de calibración que cuenten con la acreditación por parte del Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC) para la unidad de medida por verificar, garantizando que las mediciones realizadas por la empresa sean trazables al Sistema Internacional de Unidades (SI).

A continuación, se presentan los requisitos de los principales equipos y herramientas requeridos para la elaboración de concretos y la construcción de estructuras con este material.

630.3.1 Equipo para la elaboración de agregados

Para la producción de los agregados pétreos se requieren equipos para su explotación, cargue, transporte y proceso. La unidad de proceso consiste en una unidad clasificadora y una planta de trituración provista de trituradora primaria, secundaria y terciaria, siempre que esta última se requiera, así como un equipo de lavado. La planta debe estar provista de los filtros y demás accesorios necesarios para controlar la contaminación ambiental, de acuerdo con la reglamentación vigente.

630.3.2 Producción de la mezcla de concreto

La producción del concreto debe cumplir los lineamientos establecidos en la NTC 3318 (ASTM C94), tanto para el concreto producido *in situ* como para el concreto producido por un proveedor externo, en planta externa.

Si se prevé la incorporación de aditivos a la mezcla, la central debe dosificarlos con precisión suficiente. Los aditivos en polvo se deben dosificar en masa y los aditivos en forma de líquido o de pasta en masa o en volumen, con una precisión no inferior al tres por ciento (± 3 %) de la cantidad especificada de producto.

El temporizador del amasado y el de la descarga del mezclador deben estar protegidos de tal forma que, durante el funcionamiento del mezclador, no se pueda producir la descarga hasta que haya transcurrido el tiempo de amasado previsto.

630.3.2.1 Mezcla en el sitio

Se permite el empleo de mezcladoras estacionarias en el lugar de la obra, previa aprobación del interventor, cuya capacidad no debe exceder de tres metros cúbicos (3 m^3).

630.3.3 Equipo para el transporte del concreto al sitio de las obras

La utilización de cualquier sistema de transporte o de conducción del concreto debe contar con la aprobación del interventor. Dicha aprobación no se debe considerar definitiva por el constructor y la condición del uso del sistema de conducción o transporte se debe suspender inmediatamente, si el asentamiento o flujo de la mezcla (según sea el tipo de consistencia del concreto) excede los límites especificados o si la segregación de esta es excesiva. Se debe garantizar la homogeneidad de la mezcla mediante la prueba de uniformidad del concreto, de acuerdo con el procedimiento definido en el apéndice A de la NTC 3318 (ASTM C94).

Se debe garantizar la homogeneidad de la mezcla de concreto. Para esto es necesario que el transporte cumpla el horario programado considerando los tiempos de fraguado. De lo contrario, se debe hacer uso de aditivos retardantes de fraguado.

630.3.3.1 Transporte del concreto en camiones mezcladores

El transporte del concreto a la obra se realiza en camiones mezcladores o agitadores provistos de tambor giratorio cerrado con paletas internas, los cuales están equipados con cuentarrevoluciones. Deben ser capaces de proporcionar mezclas homogéneas y descargar su contenido sin que se produzcan segregaciones.

630.3.3.2 Transporte del concreto en volquetas

Para distancias cortas se emplean camiones del tipo volqueta, sin elementos de agitación, de forma que se impida toda segregación, exudación, evaporación de agua o intrusión de cuerpos extraños. Su caja debe ser lisa y estanca, y estar limpia, para lo cual se debe disponer de un equipo adecuado. El sistema de descarga puede ser basculante o por medio de bandas o tornillos. Estos camiones deben estar siempre provistos de una lona o cobertor para proteger el concreto fresco durante su transporte, evitando la excesiva evaporación del agua o la intrusión de elementos extraños.

Se debe disponer de los equipos necesarios para la limpieza de los elementos de transporte, antes de recibir una nueva carga de concreto.

630.3.3.3 Transporte del concreto en otros tipos de equipos

Se pueden utilizar otros vehículos de transporte de concreto tales como camiones agitadores, *buggies*, entre otros, si el concreto no pierde sus propiedades y uniformidad.

Los diferentes tipos de equipo de transporte deben ser seleccionados, de acuerdo con la tecnología utilizada para la construcción, la logística y el entorno del proyecto y el tipo de concreto, previa aprobación del interventor.

El constructor debe tener en cuenta y cumplir todas las disposiciones vigentes sobre

tránsito automotor y ambiente, emanadas por las autoridades competentes, en especial el Ministerio de Transporte y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Independiente del sistema de transporte escogido, el interventor tiene la autoridad de rechazar o aceptar la mezcla antes de su colocación. Debe verificar que las propiedades y la uniformidad del concreto no se modificaron durante el transporte.

630.3.4 Equipos de puesta en obra del concreto

El constructor debe disponer de los medios de colocación del concreto que permitan una buena regulación de la cantidad de mezcla depositada, para evitar salpicaduras, segregación y choques contra las formaletas o el refuerzo.

630.3.4.1 Formaleta y obra falsa

El constructor debe suministrar e instalar todas las formaletas necesarias para confinar y dar forma al concreto, de acuerdo con las líneas mostradas en los documentos del proyecto. Las formaletas se deben poder ensamblar firmemente y tener la resistencia suficiente para contener la mezcla de concreto, sin que se formen combas entre los soportes u otras desviaciones de las líneas y contornos que muestran los documentos del proyecto, ni se pueda escapar el mortero.

La obra falsa o armazones provisionales deben ser construidos sobre cimientos suficientemente resistentes para soportar las cargas sin asentamientos perjudiciales. Toda la obra falsa debe ser diseñada y construida con la solidez necesaria que le permita soportar, sin sufrir deformación apreciable, las cargas a que puede estar sometida, las cuales deben incluir, además del peso de la superestructura, las correspondientes a las formaletas, arriostramientos, carriles de circulación y otras cargas que le puedan ser impuestas durante la construcción. La obra falsa debe ser convenientemente apuntalada y amarrada, para prevenir distorsiones y movimientos que puedan producir vibraciones y deformaciones en la formaleta de la superestructura.

630.3.4.2 Vibradores

Los vibradores para la compactación del concreto deben ser de tipo interno simple y tener una intensidad suficiente para producir la plasticidad y la adecuada consolidación del concreto, pero sin llegar a causar la segregación de los materiales.

Para fundiciones delgadas, donde las formaletas estén especialmente diseñadas para resistir la vibración, se deben emplear vibradores externos de formaleta, reglas y mesas vibratorias, entre otras.

En la selección del equipo más apropiado para cada elemento estructural se recomienda consultar el documento ACI 309R, Guía para la consolidación del concreto.

630.4 Ejecución de los trabajos

630.4.1 Explotación de materiales y elaboración de agregados

Rige lo establecido en el numeral 105.13.3 del artículo 105, Desarrollo de los trabajos.

630.4.2 Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo

La dosificación del concreto determina las proporciones en que se deben combinar los diferentes materiales componentes, como son: agregados, material cementante, adiciones suplementarias, agua, aditivos y eventualmente adiciones complementarias, de modo que se obtenga un concreto que cumpla la resistencia, la consistencia, la manejabilidad, la durabilidad y las demás exigencias requeridas por las especificaciones particulares de los documentos del proyecto y las presentes especificaciones.

Con suficiente antelación al inicio de los trabajos, el constructor debe suministrar al interventor, para su verificación, muestras representativas de los agregados, material cementante, adiciones suplementarias, agua, aditivos y, eventualmente, adiciones complementarias por utilizar, avaladas por los resultados de ensayos de laboratorio que garanticen la conveniencia de emplearlos en el diseño de la mezcla.

Una vez el interventor realice las comprobaciones que considere necesarias y dé su aprobación a los materiales con base en el cumplimiento de los requisitos de la presente especificación, el constructor debe diseñar la mezcla y debe definir una fórmula de trabajo, la cual debe someter a consideración del interventor. Dicha fórmula señala:

- El tipo y la marca de cemento.
- El tipo y la marca de adiciones suplementarias.
- Las proporciones en que se deben mezclar los agregados disponibles y la gradación media a que da lugar dicha mezcla, por los tamices correspondientes a la granulometría aceptada, así como la franja de tolerancia dentro de la cual es válida la fórmula propuesta.
- Las dosificaciones de material cementante, agregados grueso y fino, adiciones suplementarias, aditivos y eventualmente adiciones complementarias, se deben hacer en peso por volumen unitario de concreto (usualmente un metro cúbico de concreto, o fracción de este). La cantidad de agua y aditivos líquidos se puede dar por peso o por volumen. Cuando se contabilice el cemento por bolsas, la dosificación de la bachada por producir debe corresponder a un número entero de bolsas (aproximado al entero superior).
- El módulo de finura del agregado fino.
- El contenido de aire (si se ha especificado).
- La resistencia a compresión de la mezcla a veintiocho días (28 d) de curado, y las edades adicionales que se especifiquen en el concreto a usar, la cual se mide según la norma INV E-410/NTC 673.
- La consistencia del concreto debe estar dentro de los límites indicados en los documentos del proyecto para cada tipo de concreto. Si la consistencia se mide según el ensayo de asentamiento, se debe utilizar la norma de ensayo INV E-404/NTC 396 (aplicable para mezclas entre los trece y los doscientos treinta milímetros (13 mm – 230 mm) de asentamiento). Si la consistencia se mide según el ensayo de flujo libre, se debe utilizar la NTC 5222 (aplicable para mezclas de más de doscientos treinta milímetros (230 mm)). Se pueden utilizar medios electrónicos para medir la consistencia del concreto desde que previamente se realicen correlaciones con los ensayos de las normas INV E-404/

NTC 396 o NTC 5222, la que sea aplicable, y con aprobación del interventor. Para la aprobación de cualquier medio electrónico, el interventor puede solicitar los datos experimentales que dan sustento a las correlaciones, sin perjuicio de los datos que sean presentados por parte del fabricante del equipo.
- Cumplimiento de la ACI 308, Guía para el curado del concreto.

El constructor debe determinar la consistencia de cada concreto teniendo en cuenta las condiciones específicas del proyecto (sistema de colocación, condiciones ambientales, tipo de estructura, materiales componentes, entre otras) y este debe ser aprobado por el interventor.

La fórmula de trabajo se debe reconsiderar cada vez que varíe alguno de los siguientes factores:

- El tipo o clase del material cementante.
- El tipo, absorción y tamaño máximo del agregado grueso.
- El módulo de finura del agregado fino en más de dos décimas (0,2).
- La gradación del agregado combinado en una magnitud tal, que ella se salga de la tolerancia fijada.
- La naturaleza y la proporción de los aditivos.
- El método de puesta en obra del concreto.
- La procedencia del agua.
- Las tolerancias granulométricas indicadas en la Tabla 630 — 18.

En caso de variar cualquier otro parámetro, el interventor puede exigir la modificación de la fórmula de trabajo para que esta se ajuste a la variación de los parámetros realizada.

El constructor debe considerar que el concreto sea dosificado y elaborado para asegurar una resistencia a la compresión promedio suficientemente superior a la especificada en los documentos del proyecto, según el tipo de concreto, de manera que se minimice la frecuencia de los resultados de pruebas por debajo del valor especificado. La dosificación también debe estar en función de los requisitos mínimos de durabilidad. Se deben cumplir los lineamientos de dosificación del concreto de la NSR. Con este fin, el constructor debe tener en cuenta que, la magnitud en que el promedio de resistencia de la mezcla deba exceder la resistencia especificada de diseño, depende de la desviación estándar de la resistencia durante la etapa de producción y de la precisión con la que dicho valor pueda ser estimado a partir de datos históricos sobre mezclas iguales o similares.

Para casos en que los valores se encuentren por debajo de la especificación, se debe cumplir lo especificado en la NSR: «El nivel de resistencia de una clase determinada de concreto se considera satisfactorio si cumple con los dos siguientes requisitos:

a. Cada promedio aritmético de tres ensayos de resistencia consecutivos es igual o superior a *f'c*.
b. Ningún resultado del ensayo de resistencia es menor que *f´c* por más de 3,5 MPa cuando *f'c* es 35 MPa o menor; o por más de 0,10 * *f'c* cuando *f'c* es mayor a 35 MPa».

Al efectuar las mezclas de prueba en el laboratorio para el diseño de la mezcla, las muestras para los ensayos de resistencia deben ser elaboradas y curadas de acuerdo con la norma INV E-402/NTC 1377 y ensayadas según la norma de ensayo INV E-410/ NTC 673. Se deben elaborar curvas que muestren la variación de la resistencia a la

compresión a veintiocho días (28 d) (o a la edad definida para el tipo de concreto) en función de la relación a/mc y del contenido de material cementante. Estas curvas se deben basar en no menos de tres (3) puntos y preferiblemente cinco (5) puntos, que representen mezclas de prueba que den lugar a resistencias a la compresión por encima y por debajo de la requerida. Cada punto debe representar el promedio de, por lo menos, dos (2) cilindros estandarizados de ciento cincuenta milímetros (150 mm) de diámetro por trescientos milímetros (300 mm) de altura o tres (3) cilindros estandarizados de cien milímetros (100 mm) de diámetro por doscientos milímetros (200 mm) de altura, ensayados a veintiocho días (28 d) (o a la edad definida para el tipo de concreto).

Los valores de la relación a/mc máxima y el contenido mínimo de material cementante admisibles por resistencia para el concreto a emplear en la estructura, son los que permiten obtener una resistencia promedio por encima de la resistencia de diseño del elemento y cumplir los requisitos de durabilidad y clase de concreto.

En todos los casos, la relación a/mc y el contenido de material cementante deben cumplir los valores máximo y mínimo, respectivamente, permitidos por las consideraciones de durabilidad y clase de concreto correspondientes a los definidos en los documentos del proyecto.

La aprobación que dé el interventor al diseño de la mezcla no implica necesariamente la aceptación posterior de las obras de concreto que se construyan con base en dicho diseño, ni exime al constructor de su responsabilidad de cumplir todos los requisitos de los documentos del proyecto. La aceptación de las obras para fines de pago depende de su correcta ejecución, el cumplimiento de los requisitos de durabilidad y clase de concreto, y de la obtención de la resistencia a la compresión mínima especificada para el respectivo tipo de concreto, resistencia que debe ser comprobada con base en las mezclas realmente incorporadas en tales obras.

No se permite ningún cambio al diseño de la mezcla, sin aprobación del interventor.

El diseño debe llevar una copia de todos los resultados de ensayo, incluyendo las fechas de las pruebas, una lista completa de los materiales, indicando tipo, fuente y características especificadas, tipo y resultados de las pruebas físicas y químicas sobre agregados, material cementante, adiciones, agua y aditivos. También, debe incluir el módulo de finura de la arena y el contenido de aire en la mezcla. La producción industrial de la mezcla no puede comenzar hasta que el interventor apruebe el informe de diseño por escrito.

Los laboratorios en donde se realicen los ensayos necesarios para el desarrollo de la fórmula de trabajo de la mezcla deben ser empresas legalmente constituidas que cuenten con experiencia y/o trayectoria en ejecución de pruebas y ensayos de control de calidad de materiales, que puedan demostrar apropiadamente la competencia de su personal de laboratorio y cuyos informes de resultados informados contengan la aprobación y la autorización para su emisión, mediante la firma del responsable técnico facultado para ello. El laboratorio debe contar con todo el equipamiento principal y auxiliar necesario para el correcto desempeño de sus actividades y asegurar que estos cuenten con

la exactitud y la precisión adecuadas para lograr resultados válidos. El laboratorio debe contar con un programa de calibración de sus equipos y se debe asegurar de que los resultados de la medición sean trazables al SI mediante alguna de las siguientes alternativas:

- La calibración de los equipos proporcionados por un laboratorio de metrología acreditado por ONAC.
- La comparación directa o indirecta a patrones nacionales o internacionales que cuenten con unidades del SI.
- Los valores certificados de materiales de referencia (MRC) proporcionados por productores competentes con trazabilidad metrológica establecida al SI.

El constructor es el responsable de garantizar que todos los ensayos necesarios se realicen. Los informes deben ser entregados rutinariamente al interventor, el profesional a cargo del diseño, a los proveedores de material y a la autoridad competente que verifique el cumplimiento de la calidad o que tome acciones correctivas.

630.4.3 Almacenamiento de materiales

Los agregados, el material cementante, las adiciones suplementarias, los aditivos y las adiciones complementarias se deben almacenar, de tal forma que se prevenga su deterioro o contaminación. Cualquier material que se haya deteriorado o contaminado no se debe usar para la elaboración del concreto. Para prevenir esta situación, los materiales se deben almacenar de acuerdo con las siguientes indicaciones.

630.4.3.1 Almacenamiento de los agregados pétreos

Los agregados se deben producir o suministrar en fracciones granulométricas diferenciadas, que se deben acopiar y manejar por separado, hasta su introducción en las tolvas de agregados. Cada fracción debe ser suficientemente homogénea y se debe poder acopiar y manejar sin peligro de segregación, atendiendo las precauciones que se detallan a continuación:

- El agregado grueso no debe permanecer almacenado durante un tiempo prolongado porque los finos de este tienden a asentarse y acumularse. Sin embargo, cuando el almacenamiento sea necesario, el método de almacenamiento utilizado debe minimizar la segregación, rotura de agregados, excesiva variación en la granulometría y contaminación.
- Las existencias se deben acumular en capas horizontales o de pendiente suave, garantizando la homogenización del material en acopio.
- Se deben disponer sistemas de drenaje apropiados. Para tal efecto, los patios de almacenamiento deben estar en pendiente, de tal manera que se garantice la captación, conducción y evacuación del agua, con el objeto de que los agregados finos y gruesos mantengan una humedad homogénea.
- Los camiones, cargadores u otros equipos no deben ser operados sobre los acopios porque, además de fracturar el agregado, lo contaminan.
- Se debe proteger el agregado seco y fino ante la posibilidad de ser separado por el viento, mediante el uso de lonas o rompevientos.

- Se debe prevenir la contaminación cruzada entre los diferentes tamaños de agregado mediante muros o amplios espacios entre acopios.
- El almacenamiento de los agregados se puede realizar sobre patios pavimentados construidos para este fin. Sin embargo, si los acopios se disponen sobre el terreno natural, no se deben utilizar los quince centímetros (15 cm) inferiores de los mismos.
- En lo posible, los acopios deben ser cubiertos. En caso, de no contar con cubiertas, se deben implementar todos los procedimientos y los controles que garanticen el producto.
- Cuando se detecten anomalías en el suministro de los agregados, ellos se deben acopiar por separado hasta confirmar su aceptación. Esta misma medida se debe aplicar cuando se autorice el cambio de procedencia de un agregado. No se deben emplear métodos de transporte, desde los acopios hasta las tolvas de la central, que pudieran causar segregación, degradación o mezcla de fracciones de distintos tamaños.
- El sistema de abastecimiento de agregados se debe programar de manera tal que la cantidad de agregado sea suficiente para cumplir la programación prevista en el proyecto.

Para todo lo anterior, se sugiere consultar el documento ACI 304R, Guía para medir, mezclar, transportar y colocar concreto; que contiene las prácticas recomendables de almacenamiento y manejo de agregados.

630.4.3.2 Almacenamiento del material cementante y adiciones suplementarias

El material cementante en sacos se debe almacenar en sitios secos y aislados del suelo (sobre estibas) y de muros, en acopios de no más de siete metros (7 m) de altura.

Si el material cementante se suministra a granel, se debe almacenar en sitios aislados de la humedad. La capacidad mínima de almacenamiento debe ser la suficiente para el consumo de dos (2) jornadas de producción normal.

Todo cemento y adición suplementaria que tenga más de dos (2) meses de almacenamiento en sacos, o tres (3) meses en silos, debe ser evaluado y avalado por el interventor, para verificar si aún es susceptible de utilización.

630.4.3.3 Almacenamiento de aditivos y adiciones complementarias

Los aditivos y las adiciones complementarias se deben proteger convenientemente de la intemperie y de toda contaminación. Los productos que vengan en sacos se deben almacenar bajo cubierta y conservando las mismas precauciones que en el caso del almacenamiento del material cementante y las adiciones suplementarias. Los aditivos y las adiciones complementarias suministrados en forma líquida se deben almacenar en recipientes estancos. Para todo caso, los proveedores de los productos deben suministrar dentro de la ficha técnica o por separado, en documento escrito, las recomendaciones para el almacenamiento de los productos, de tal manera que no se afecte su calidad. Se deben seguir todas las disposiciones y recomendaciones consignadas en la ficha técnica del producto suministrada por el fabricante.

630.4.4 Preparación de la zona de los trabajos

La excavación necesaria para las cimentaciones de las estructuras de concreto y su

preparación para la cimentación, incluyendo su limpieza y apuntalamiento, cuando sea necesario, se debe efectuar conforme se estipula en el artículo 600, Excavaciones varias. Cualquier deterioro ocurrido después de terminada la excavación, debe ser subsanado por el constructor, sin costo adicional para INVÍAS, utilizando procedimientos aprobados por el interventor.

630.4.5 Instalación de la formaleta y obra falsa

Todas las formaletas para confinar y soportar la mezcla de concreto mientras se endurece, deben ser diseñadas por el constructor y aprobadas por el interventor, de tal manera que permitan la colocación y la consolidación adecuadas de la mezcla en su posición final y su fácil inspección. Así mismo, deben ser suficientemente herméticas para impedir pérdidas del mortero de la mezcla.

La aprobación del diseño de las formaletas por parte del interventor no exime al constructor de su responsabilidad respecto de la seguridad, la calidad del trabajo y el cumplimiento de todas las especificaciones.

Las formaletas se deben ensamblar firmemente y deben tener la resistencia suficiente para contener la mezcla de concreto sin deformaciones y manteniendo las tolerancias propias de la norma vigente (por ejemplo: reglamento NSR vigente, código de puentes u otros).

Antes de iniciar la colocación del concreto se deben limpiar de impurezas, incrustaciones de mortero y cualquier otro material extraño. Su superficie interna se debe cubrir con productos antiadherentes, que no manchen la superficie del concreto, que impida la absorción de humedad por parte del encofrado y no sea absorbido por el concreto. La colocación del desmoldante en el encofrado se debe realizar siguiendo las indicaciones del proveedor que deben ser suministradas en un documento escrito. Se debe aplicar el desmoldante antes de colocar el acero y no se debe permitir que este entre en contacto con el acero.

Las abrazaderas que se utilicen para sostener las formaletas y que queden embebidas en el concreto, deben ser pernos de acero provistos de rosca, tuercas y acoples adecuados, que permitan retirar los extremos exteriores, sin producir daños en las superficies del concreto. Todos los huecos resultantes del retiro de las abrazaderas se deben llenar con un mortero de consistencia seca.

No se puede colocar concreto dentro de las formaletas si estas no han sido inspeccionadas y aprobadas por el interventor. No se debe mover la cimbra o hacer alguna modificación cuando el concreto haya alcanzado su fraguado inicial.

Las formaletas se pueden remover parcial o totalmente, tan pronto como la mezcla haya adquirido la resistencia suficiente, comprobada mediante ensayos, para sostener su propio peso y el peso de cualquier otra carga.

De acuerdo con los lineamientos del diseñador establecidos en los documentos del proyecto, el constructor debe presentar al interventor un procedimiento apropiado para el retiro de la obra falsa, de manera tal, que la estructura vaya tomando las cargas en la secuencia indicada por el diseñador de la estructura.

Toda obra falsa o cimbra para la construcción de puentes u obras similares debe ser diseñada por el constructor, quien debe someter el diseño a consideración del interventor. Para la aprobación de la obra falsa o cimbra se deben entregar al interventor las memorias de cálculo y los planos de taller debidamente avalados por el profesional facultado para el diseño de estos elementos. En el diseño se deben tener en cuenta las cargas muertas y vivas a las que puede estar sometida la obra falsa durante y después de la colocación del concreto. Las eventuales deflexiones de la obra falsa, debido a las cargas, se deben compensar mediante contraflechas, de tal forma que la estructura terminada se ajuste a los niveles indicados en los documentos del proyecto.

En la construcción de cimbras para arcos, se deben proveer los medios adecuados que permitan un descenso gradual de los centros hasta obtener el autosoporte del arco.

630.4.6 Elaboración de la mezcla

Cuando la mezcla se produce en una planta central, sobre camiones mezcladores o por una combinación de estos procedimientos, el trabajo se debe efectuar de acuerdo con los requisitos aplicables de la NTC 3318 (ASTM C94).

630.4.6.1 Mezclado manual para concretos no estructurales

La mezcla manual solo se puede efectuar, previa aprobación del interventor, para estructuras pequeñas no estructurales que requieran concreto de resistencia a la compresión no superior a catorce megapascales (14 MPa) a los veintiocho días (28 d), o en casos de emergencia que requieran un reducido volumen de concreto. En tal caso se debe colocar un veinte por ciento (20 %) adicional de cemento, en peso, sobre el requerido según el diseño de la mezcla.

El mezclado manual se debe hacer en bachadas no mayores de cero coma veinticinco metros cúbicos (0,25 m^3), sobre una superficie lisa e impermeable.

Las cargas mezcladas a mano no se pueden emplear para concreto colocado debajo del agua, ni concreto estructural.

630.4.6.2 Reablandamiento del concreto

Solo se permite la adición de agua a la mezcla en estado plástico, en el sitio de obra, hasta recuperar la consistencia de diseño de la mezcla, siempre y cuando se realice antes de que se haya presentado el tiempo de fraguado inicial del concreto y que no se exceda por ningún motivo la relación a/mc de diseño, determinada previamente, verificada por medio de mezclas de prueba y aprobada por el interventor.

En caso de adicionar agua en el sitio de obra, se debe demostrar y registrar de forma documental que la relación a/mc no excede el valor de diseño y que este procedimiento se realizó antes de que se haya presentado el tiempo de fraguado inicial del concreto. Todo lo anterior también debe ser corroborado por el interventor.

También se permite la adición de aditivos súper reductores, los cuales deben ser contemplados desde el diseño inicial.

630.4.7 Descarga, transporte y entrega de la mezcla

El concreto, al ser descargado de mezcladoras estacionarias, debe tener la consistencia,

la trabajabilidad y la uniformidad requeridas para la obra.

Cuando se empleen camiones mezcladores o agitadores, la descarga de la mezcla, el transporte, la entrega y la colocación del concreto deben ser completados en un tiempo máximo de uno coma cinco horas (1,5 h), desde el momento en que el material cementante se añade a los agregados, salvo que el interventor fije un plazo diferente según las condiciones climáticas, el uso de aditivos o las características del equipo de transporte y que así esté definido desde el diseño de la mezcla.

El concreto descargado de camiones mezcladores o de camiones agitadores debe ser entregado con la consistencia, la trabajabilidad y la uniformidad requeridas para la obra. La velocidad de descarga del concreto premezclado debe ser controlada por la velocidad de rotación del tambor, en la dirección de la descarga, con la canaleta o compuerta de descarga completamente abierta. Si es necesario agregar agua adicional a la mezcla para alcanzar o mantener el asentamiento especificado, sin exceder la relación a/mc requerida, se debe mezclar nuevamente el contenido del tambor, por un mínimo de veinte (20) revoluciones a la velocidad de mezclado, antes de proceder a la descarga del concreto. En caso de adicionar agua en el sitio de la obra, se debe cumplir con los requisitos del numeral 630.4.6.2.

El concreto puede ser transportado en camiones tipo volqueta u otro equipo provisto de agitadores, si los documentos del proyecto lo admiten o el interventor aprueba por escrito esta posibilidad. En tal caso, los recipientes deben ser metálicos, lisos en su interior, con las esquinas redondeadas, equipados con compuertas para controlar la descarga y provistos de cobertores adecuados para proteger el concreto contra la intemperie. El concreto transportado en estos equipos debe ser mezclado previamente y entregado con la consistencia y la uniformidad requeridas en la NTC 3318 (ASTM C94). La descarga en el punto de entrega debe ser completada en cuarenta y cinco minutos (45 min) desde que el cemento sea puesto en contacto con los agregados, lapso que el interventor puede variar según las condiciones climáticas del lugar o el uso de aditivos.

A su entrega en la obra, el interventor debe rechazar todo concreto que haya desarrollado algún endurecimiento inicial, así como aquel que no sea entregado dentro del límite de tiempo aprobado o no tenga el asentamiento dentro de los límites especificados.

El concreto que por cualquier causa haya sido rechazado por el interventor, debe ser retirado de la obra y reemplazado por el constructor, a su costa, por un concreto satisfactorio.

630.4.8 Colocación del concreto

630.4.8.1 Preparación para la colocación del concreto

Por lo menos cuarenta y ocho horas (48 h) antes de colocar concreto en cualquier lugar de la obra, el constructor debe notificar por escrito al interventor al respecto, para que este verifique y apruebe los sitios de colocación.

La colocación no puede comenzar, mientras el interventor no haya aprobado el encofrado, el refuerzo, las partes embebidas y

la preparación de las superficies que han de quedar contra el concreto. Dichas superficies deben estar completamente libres de suciedad, lodo, desechos, grasa, aceite, partículas sueltas y cualquier otra sustancia perjudicial. La limpieza puede incluir el lavado por medio de chorros de agua y aire, excepto para superficies de suelo o relleno, para las cuales este método puede no ser el adecuado.

Se debe eliminar toda agua estancada o libre de las superficies sobre las cuales se coloque la mezcla y controlar que, durante la colocación de esta y el fraguado, no se mezcle agua que pueda lavar o dañar el concreto fresco.

Las fundaciones en suelo contra las cuales se coloque el concreto, deben ser humedecidas completamente, o recubrirse con una delgada capa de concreto, si así lo exige el interventor.

630.4.8.2 Requisitos generales

La colocación del concreto se debe efectuar en presencia del interventor, salvo en determinados sitios específicos aprobados previamente por este.

El concreto no se puede colocar cuando esté lloviendo, a no ser que el constructor suministre cubiertas que, a criterio y aprobación del interventor, sean adecuadas para proteger el concreto desde su colocación hasta su fraguado.

Todo el concreto debe ser vaciado en horas de luz solar y su colocación en cualquier parte de la obra no se debe iniciar si no es posible completarla en dichas condiciones, a menos que se disponga de un adecuado sistema de iluminación, aprobado por el interventor.

El concreto no se debe exponer a la acción del agua antes del fraguado final, excepto lo que se dispone en el numeral 630.4.8.5 para el concreto depositado bajo agua. El concreto se debe colocar en un ambiente seco y, durante su colocación o después de ella, no ser expuesto a la acción de aguas o suelos que contengan soluciones alcalinas, hasta pasado un periodo por lo menos de tres días (3 d), o de agua salada hasta los siete días (7 d). Durante este lapso, el concreto se debe proteger bombeando el agua perjudicial fuera de las formaletas y ataguías.

En todos los casos, el concreto se debe depositar lo más cerca posible de su posición final y no se debe hacer fluir por medio de vibradores. Los métodos utilizados para la colocación del concreto deben permitir una buena regulación de la mezcla depositada, evitando su caída con demasiada presión o chocando con las formaletas o el refuerzo. No se permite la caída libre del concreto desde alturas superiores a un metro (1,0 m), a menos que se compruebe que a una mayor altura el concreto no presente segregación y cambios en la mezcla que conlleven a reducciones del desempeño, la resistencia y la durabilidad, y debe ser aprobado por el interventor.

Al verter el concreto se debe remover enérgica y eficazmente, para que las armaduras queden perfectamente envueltas, cuidando especialmente los sitios en que se reúna gran cantidad de ellas, y procurando que se mantengan los recubrimientos y separaciones de la armadura.

En todos los casos que sea difícil colocar el concreto junto a las formaletas, debido a las obstrucciones producidas por el acero de refuerzo o por cualquier otra condición, se debe procurar el contacto apropiado entre el concreto y las caras interiores de

las formaletas, vibrando estas últimas por medio de golpes en sus superficies exteriores con mazos de caucho o madera o por medio de vibradores de formaleta.

Cuando se vayan a usar equipos inclinados (canoas, canaletas), estos deben tener una longitud máxima de siete metros (7 m), manteniendo un flujo continuo, a una velocidad uniforme del concreto, con pendientes según el asentamiento del concreto (norma de ensayo INV E-404), no sobrepasando los valores de la Tabla 630 — 15.

Tabla 630 — 15. Pendientes máximas de equipos según el asentamiento del concreto

Asentamiento del concreto (mm)	Pendiente (V:H)
10 — 80	1:2
80 — 120	1:3

No se permite la colocación de concreto al cual se haya agregado agua después de salir de la mezcladora. Tampoco se permite la colocación de la mezcla fresca sobre concreto, total o parcialmente endurecido, sin que las superficies de contacto hayan sido preparadas como juntas, según se describe en el numeral 630.4.15.

El constructor debe tener la precaución de no mover los extremos del refuerzo que sobresalga del concreto, por lo menos durante las primeras veinticuatro horas (24 h) luego de colocado el concreto.

A menos que los documentos del proyecto indiquen algo contrario por el tipo de obra, el concreto se debe colocar en capas continuas horizontales cuyo espesor no exceda de treinta centímetros (0,3 m).

Las descargas deben suceder una tras otra, y cada una de ellas se debe colocar y compactar antes de que la precedente haya alcanzado el fraguado inicial, para que no quede una separación entre las mismas. La superficie superior de cada capa de concreto se debe dejar algo áspera para lograr una liga eficiente con la capa subsiguiente. Cada capa superior debe ser compactada de forma que se evite la formación de una junta de construcción entre ella y la capa inferior.

Las capas que se completen en un día (1 d) de trabajo o que hayan sido colocadas poco antes de interrumpir temporalmente las operaciones, se deben limpiar de cualquier material objetable tan pronto como las superficies sean lo suficientemente firmes para retener su forma. En ningún caso se debe suspender o interrumpir temporalmente el trabajo dentro de los cuarenta y cinco centímetros (45 cm) debajo de la parte superior de cualquier superficie, a menos que los detalles de la obra tengan en cuenta un coronamiento de menos de dicho espesor, en cuyo caso, la junta de construcción se puede hacer en la parte inferior de dicho coronamiento.

El método y la manera de colocar el concreto se deben regular de forma que todas las juntas de construcción se coloquen en las zonas de bajo esfuerzo cortante y, en lo posible, en sitios que no sean visibles.

630.4.8.3 Colocación por bombeo

La colocación del concreto por bombeo puede ser permitida dependiendo de la adaptabilidad del método que se va a usar en la obra. El equipo se debe disponer de manera que las vibraciones derivadas de su operación no deterioren el concreto recién colocado.

Al emplear bombeo mecánico, la operación de la bomba debe ser tal que se produzca una corriente continua del concreto, sin bolsas de aire. Cuando se terminen las operaciones de bombeo, en caso de que se vaya a usar el concreto que quede en las tuberías, este se debe expeler de tal manera que no se contamine o se produzcan segregaciones.

Al emplear bombeo neumático, el equipo de bombeo se debe colocar lo más cerca posible del depósito de concreto. Las líneas de descarga deben ser horizontales o inclinadas hacia arriba respecto de la máquina de bombeo.

Cuando se utilice equipo de bombeo, siempre se debe disponer de los medios alternativos para continuar la operación de colocación del concreto en caso de que se dañe la bomba. El bombeo debe continuar hasta que el extremo de la tubería de descarga quede completamente por fuera de la mezcla recién colocada.

Los equipos de bombeo se deben limpiar cuidadosamente después de cada periodo de operación.

630.4.8.4 Colocación del agregado ciclópeo

La colocación del agregado ciclópeo se debe ajustar al siguiente procedimiento:

La roca, limpia y húmeda, se debe colocar cuidadosamente a mano, sin dejarla caer por gravedad en la mezcla de concreto simple, para no causar daño a las formaletas, a las alcantarillas, en el caso de cabezales, o al concreto adyacente parcialmente fraguado.

En estructuras cuyo espesor sea inferior a ochenta centímetros (80 cm), la distancia libre entre rocas o entre una roca y la superficie de la estructura, no debe ser inferior a diez centímetros (10 cm). En estructuras de mayor espesor, la distancia mínima se aumenta a quince centímetros (15 cm). En estribos y pilas no se puede usar agregado ciclópeo en los últimos cincuenta centímetros (50 cm) debajo del asiento de la superestructura o placa.

Si se interrumpe la fundición, al dejar una junta de construcción se deben dejar rocas sobresaliendo no menos de diez centímetros (10 cm) para formar una llave. Antes de continuar el vaciado del concreto, se debe limpiar la superficie donde se va a colocar el concreto fresco y humedecer la misma con agua limpia.

El concreto ciclópeo no se debe usar en estructuras cuya altura sea menor de sesenta centímetros (60 cm) y/o en las que el espesor sea inferior a treinta centímetros (30 cm).

La proporción máxima del agregado ciclópeo debe ser el cuarenta por ciento (40 %) del volumen total de concreto.

630.4.8.5 Colocación del concreto bajo agua

La construcción de estructuras de concreto bajo agua contempla diferentes técnicas,

entre las cuales está el tipo tremie o descargas directas, para ello la mezcla debe ser de alta cohesión (antideslave). En otros casos, se debe estudiar la posibilidad de remover el agua mientras se hace el vaciado del concreto.

En cada caso, se debe revisar el diseño de la mezcla para ajustarla a las condiciones de colocación y debe ser aprobado por el interventor. Se debe verificar la efectividad de la mezcla de concreto antideslave, mediante la realización de una mezcla de prueba y sometiéndola a procedimientos o ensayos de laboratorio, aprobados por el interventor, que demuestren que el producto cumple su propósito.

Cuando haya colocación de concreto bajo agua, este se debe ubicar cuidadosamente en su lugar, en una masa compacta, mediante un sistema de colocación que permita depositarla en una operación continua.

No se debe colocar concreto dentro de corrientes de agua, y las formaletas diseñadas para retenerlo deben ser impermeables. El concreto se debe colocar de tal manera que se logren superficies aproximadamente horizontales, y que cada capa se deposite antes de que la precedente haya alcanzado su fraguado inicial, con el fin de asegurar la adecuada unión entre las mismas.

630.4.8.6 Temperatura del concreto

En condiciones normales de exposición y en concretos convencionales, la temperatura de la mezcla de concreto, inmediatamente antes de su colocación, debe estar entre diez y treinta y cinco grados Celsius (10 °C – 35 °C). Cuando existan otras condiciones particulares específicas, ya sean del material, del ambiente o ambas, se deben realizar análisis pertinentes para determinar la temperatura máxima apropiada antes de la colocación, o el tratamiento más adecuado para reducir la temperatura del concreto.

Cuando se pronostique una temperatura ambiente inferior a cuatro grados Celsius (4 °C) durante el vaciado o en las veinticuatro horas (24 h) siguientes, la temperatura del concreto no puede ser inferior a trece grados Celsius (13 °C) cuando se emplee en secciones de menos de treinta centímetros (30 cm) en cualquiera de sus dimensiones, ni inferior a diez grados Celsius (10 °C) para otras secciones.

Durante la colocación, la temperatura no debe exceder de treinta y cinco grados Celsius (35 °C), para que no se produzcan pérdidas en el asentamiento, fraguado falso o juntas frías. Cuando la temperatura de las formaletas metálicas o de las armaduras exceda de cincuenta grados Celsius (50 °C) se deben enfriar mediante rociadura de agua, inmediatamente antes de la colocación del concreto.

En caso de lluvia, se permite la colocación del concreto siempre y cuanto se implementen las acciones necesarias para garantizar la calidad del material y de la estructura.

630.4.9 Recubrimiento

Los recubrimientos del refuerzo en general deben cumplir lo establecido en el diseño de la estructura en los documentos del proyecto, pero en ningún caso estar por debajo de los mínimos establecidos en la NSR (requisitos de recubrimiento del refuerzo convencional y de tendones de preesfuerzo no adheridos).

La tolerancia del recubrimiento debe estar, de igual manera, de acuerdo con la NSR.

630.4.10 Agujeros para drenaje

Los agujeros para drenaje o alivio se deben construir de la manera y en los lugares señalados en los documentos del proyecto. Los dispositivos de salida, bocas o respiraderos para igualar la presión hidrostática se deben colocar más abajo que las aguas mínimas y también de acuerdo con lo indicado en los documentos del proyecto.

Los moldes para practicar agujeros a través del concreto pueden ser de tubería metálica, plástica o de concreto, cajas de metal o de madera. Si se usan moldes de madera, estos deben ser removidos después de colocado el concreto.

630.4.11 Vibración

El concreto colocado se debe consolidar mediante vibración interna, hasta obtener la mayor densidad posible, de manera que quede libre de cavidades producidas por partículas de agregado grueso y burbujas de aire, y que cubra totalmente las superficies de los encofrados y los materiales embebidos. Durante la consolidación, el vibrador se debe operar a intervalos regulares y frecuentes, en posición casi vertical y con su cabeza sumergida profundamente dentro de la mezcla.

Para lograr la compactación de cada capa antes de que se deposite la siguiente sin demorar la descarga, se debe usar un número suficiente de vibradores, con el fin de consolidar el concreto que se está recibiendo, dentro de los quince minutos (15 min) siguientes a su colocación dentro de las formaletas. Para evitar demoras en el caso de averías, se debe disponer de un (1) vibrador auxiliar en el sitio de la obra para fundiciones individuales hasta de cincuenta metros cúbicos (50 m^3), y dos (2) vibradores auxiliares para fundiciones de mayor volumen.

Las vibraciones se deben aplicar en el punto de descarga y donde haya concreto depositado poco antes.

Los vibradores no deben ser empujados rápidamente, sino que se permite que ellos mismos se abran camino dentro de la masa de concreto y se retiren lentamente para evitar la formación de cavidades.

La vibración debe ser tal, que el concreto fluya alrededor del refuerzo y otros elementos que deban quedar embebidos en este y llegue hasta las esquinas de las formaletas.

La vibración no debe ser aplicada sobre el refuerzo, ni forzarse a secciones o capas de concreto que hayan endurecido a tal grado que el concreto no pueda volverse plástico por su revibración.

No se debe colocar una nueva capa de concreto, si la precedente no está debidamente consolidada.

La vibración no se debe usar para transportar mezcla dentro de las formaletas, ni aplicar directamente a estas o al acero de refuerzo, especialmente si ello afecta masas de mezcla recientemente fraguada.

Con el fin de obtener un concreto debidamente compactado, carente de cavidades, hormigueros y similares, la vibración mecánica

debe ser completada con la compactación manual que sea necesaria a lo largo de las superficies de las formaletas, y en las esquinas y puntos donde sea difícil obtener una vibración adecuada.

Las dimensiones de las agujas de los vibradores de inmersión y, en general, los tiempos de vibrado deben ser cuidadosamente controlados, de manera que se obtengan las densidades máximas sin sobrevibrar.

En el evento de que se utilicen mezclas autocompactantes, se debe estudiar la conveniencia de usar vibradores o no.

630.4.12 Protección y curado

Las medidas de protección y curado del concreto se deben implementar en todo momento, antes, durante y después de la colocación, con el fin de garantizar el desarrollo de las propiedades del concreto y de la estructura en general.

Los sistemas de protección y curado se deben utilizar, de acuerdo con las características del concreto, las condiciones ambientales en el sitio de la construcción (humedad relativa, temperatura ambiente, velocidad del viento, entre otras) y las características de la estructura. En todo caso se debe seguir lo establecido en el documento ACI 308R, Guía para el curado del concreto. El constructor debe realizar las pruebas necesarias para determinar el método más eficaz y eficiente de curado, el cual debe ser aprobado por el interventor.

En casos especiales, en los documentos del proyecto, el diseñador de la estructura debe establecer los tipos, los métodos, los procedimientos y los tiempos de protección y curado del concreto, específicos para el proyecto.

Se deben tomar todas las precauciones necesarias para proteger el concreto fresco contra las altas temperaturas y los vientos, que puedan causar un secado prematuro y la formación de agrietamientos superficiales. De ser necesario, se deben colocar cortinas protectoras contra el viento, hasta que el concreto haya endurecido lo suficiente para recibir el tratamiento de curado.

Durante el curado del concreto, este no debe estar expuesto a cargas e impactos no previstos por el diseñador.

También, se pueden usar selladores o sellantes regidos por la norma ASTM C1315, que al entrar en contacto con el concreto forman una película que endurece y sella, y poseen propiedades especiales como resistencia a los álcalis, resistencia a los ácidos, cualidades adhesivas y resistencia a la degradación por la luz ultravioleta. Estos compuestos ayudan al curado, protegen la estructura de daños causados por la penetración de líquidos perjudiciales para el concreto, brindan mayor durabilidad y minimizan la generación de polvo, algunos mejoran la apariencia del concreto.

630.4.13 Requisito en concretos masivos

Se debe realizar un plan de control de temperatura para la colocación y el curado del concreto masivo, con el fin de tomar todas las medidas pertinentes para no comprometer la resistencia y la durabilidad del concreto. El plan de control debe contener:

- Materiales y dosificación de la mezcla de concreto.
- Elevación de la temperatura ya sea calculada o medida.
- Temperatura máxima del concreto en el momento de su colocación y detalle de las medidas y equipos usados para garantizar que esta no se exceda.
- Descripción de las medidas y los equipos por usar para garantizar que no se exceda la diferencia de temperatura máxima.
- Descripción de los equipos y la metodología para el monitoreo de la temperatura del concreto y el diferencial de temperatura a lo largo del tiempo.
- Ubicación de los sensores de temperatura. La ubicación de estos sensores debe ser determinada por el diseñador en los documentos del proyecto, y como mínimo deben estar ubicados en los puntos en donde se presente la mayor y la menor temperatura.
- Medidas para el manejo y la reducción de la temperatura y del diferencial de la misma.
- Descripción de los procedimientos de curado.
- Descripción de la metodología para retirar la formaleta evitando altos diferenciales de temperatura.

Durante el proceso de fraguado y curado, la temperatura máxima del concreto no debe exceder los setenta grados Celsius (70 °C), y la diferencia de esta entre el centro y la superficie del concreto no debe exceder los diecinueve grados Celsius (19 °C). Cuando se proyecten estructuras con la presencia de concretos masivos, el diseñador estructural puede establecer, en los documentos del proyecto, los requisitos de temperatura máxima para la verificación del interventor. El constructor debe establecer todas las estrategias necesarias para no sobrepasar dichos valores, y se debe hacer seguimiento a las temperaturas durante los primeros días de construcción.

Se puede usar cemento con bajo o moderado calor de hidratación, o un material cementante con contenido de ceniza volante o escoria clase F. No se deben usar aditivos acelerantes. Durante el mezclado, la colocación y el curado de un elemento con concreto masivo, se debe seguir el plan de control de temperatura aprobado por el interventor.

Se recomienda seguir la ACI 207.1R, Guía para el concreto masivo.

630.4.14 Remoción de las formaletas y de la obra falsa

El tiempo de remoción de formaletas y obra falsa está condicionado por el tipo y la localización de la estructura, el curado, el clima y otros factores que afecten el endurecimiento del concreto.

El constructor debe cumplir lo establecido por el diseñador estructural en los documentos del proyecto en cuanto a las resistencias mínimas a las cuales se puedan remover las formaletas.

Si las operaciones de campo son controladas por ensayos de resistencia de cilindros de concreto, la remoción de formaletas y demás soportes, se puede efectuar al lograrse las resistencias fijadas en el diseño. Los cilindros de ensayo deben ser curados bajo condiciones iguales a las más desfavorables de la estructura que representan.

La remoción de formaletas y soportes se debe hacer cuidadosamente y en forma tal, que permita al concreto tomar gradual y uniformemente los esfuerzos debidos a su peso propio.

De acuerdo con los lineamientos del diseñador consignados en los documentos del proyecto, el constructor debe presentar al interventor un procedimiento apropiado para el retiro de la obra falsa, de manera tal, que la estructura vaya tomando las cargas en la secuencia indicada por el diseñador de la estructura.

630.4.15 Juntas

Se deben construir juntas de construcción, contracción y dilatación, con las características y en los sitios indicados en los documentos del proyecto. El constructor no puede introducir juntas adicionales o modificar el diseño de localización de las indicadas en dichos documentos, sin la aprobación del interventor. La resistencia y la durabilidad de la estructura no se debe ver afectada por las juntas.

En superficies expuestas, las juntas deben ser horizontales o verticales, rectas y continuas, a menos que se indique lo contrario. En general, se debe dar un acabado pulido a las superficies de concreto en las juntas y se deben utilizar para las mismas los rellenos, los sellos o los retenedores indicados en los documentos del proyecto.

630.4.16 Acabado

Todas las superficies de concreto deben recibir un acabado inmediatamente después del retiro de las formaletas. El tipo de acabado depende de lo establecido por el diseñador, en los documentos del proyecto, para cada estructura en particular.

Independiente del tipo de acabado establecido por el diseñador en los documentos del proyecto, se deben mantener los recubrimientos mínimos establecidos en el diseño.

630.4.16.1 Acabado convencional

Es el procedimiento usado para la mayoría de las estructuras. Inmediatamente después de remover las formaletas, todas las rebabas y salientes irregulares de la superficie del concreto se deben cincelar a ras de la superficie.

No se permite que sobresalgan elementos de refuerzo estructural como varillas, alambres o elementos no estructurales. En caso de que sobresalgan de la superficie se deben realizar procedimientos de intervención y acabado, aprobados por el interventor.

Cualquier irregularidad de la superficie, como cavidades pequeñas, grandes, profundas u hormigueros, debe ser corregida por el constructor, a su costa, mediante procedimientos adecuados para cada situación, previamente aprobados por el interventor.

Las zonas con hormigueros excesivos pueden ser causa de rechazo de la estructura, en cuyo caso, el constructor debe demoler y reconstruir, a su costa, la parte afectada.

Todas las juntas de construcción y de dilatación en la obra terminada, se deben dejar cuidadosamente trabajadas y sin restos de mortero y concreto. El relleno de las juntas

debe quedar con los bordes limpios en toda su longitud.

630.4.16.2 Acabado de pisos de puentes

Si el piso va a ser cubierto con una capa asfáltica, basta con asegurar que la superficie de concreto sea correctamente nivelada, para que presente las pendientes transversales indicadas en los documentos del proyecto.

Si el piso del puente se va a usar como capa de rodadura, debe ser sometido a las operaciones de acabado descritas en el artículo 500, para los pavimentos de concreto hidráulico.

630.4.16.3 Acabado de losas de pisos

Si los documentos del proyecto no establecen otra cosa diferente, su acabado debe ser como el descrito en el artículo 500, para los pavimentos de concreto hidráulico, exceptuando el macrotexturizado.

630.4.16.4 Acabado de andenes de concreto

El acabado superficial de los andenes debe ser el establecido en los documentos del proyecto, evitando superficies resbaladizas.

El diseño debe incluir la modulación y ejecución de las juntas, en cuyo caso se deben seguir los mismos procedimientos establecidos en el artículo 500.

630.4.17 Limpieza final

Al terminar la obra, y antes de la aceptación final del trabajo, el constructor debe retirar del lugar toda obra falsa, materiales excavados o no utilizados, desechos, basuras y construcciones temporales, restaurando en forma aceptable para el interventor, toda propiedad, tanto pública como privada, que pudiera haber sido afectada durante la ejecución de este trabajo y dejar el lugar de la estructura limpio y presentable. Cumpliendo todos los requisitos de manejo de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) establecidos en la legislación colombiana.

630.4.18 Afectaciones por sismo

En la eventualidad de que se produzca un sismo durante el proceso de curado, el constructor debe tener especial cuidado en efectuar una revisión detallada del concreto colocado y de la estructura, luego de su ocurrencia, informando al interventor sobre cualquier daño motivado por el fenómeno. Sin perjuicio de ello, si así lo estima el interventor, se deben realizar los ensayos que considere convenientes para verificar la calidad del concreto, pudiendo ordenar el retiro de este si, a su criterio, los ensayos realizados revelaren alteraciones al concreto colocado.

630.4.19 Conservación

El concreto hidráulico debe ser mantenido en perfectas condiciones por el constructor, cumpliendo los requisitos mínimos establecidos en el presente artículo, hasta el recibo definitivo de los trabajos, sin que ello implique costo adicional alguno para INVÍAS.

Todo concreto defectuoso o deteriorado que no cumpla las características establecidas en los documentos del proyecto, debe ser intervenido por el constructor para llevarlo a las condiciones de diseño, sin costo adicional

para INVÍAS. En todo caso, los procedimientos deben ser aprobados por el interventor, cualquiera sea el tipo de intervención. Se deben dejar registrados, en los documentos del proyecto, las reparaciones realizadas y el método de reparación.

630.4.20 Manejo ambiental

En adición a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las labores de ejecución de obras de concreto estructural se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en los estudios o evaluaciones ambientales del proyecto y las normas y disposiciones vigentes sobre la conservación del ambiente y los recursos naturales.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades deben estar incluidas en los costos del proyecto, por tanto, no deben ser objeto de reconocimiento directo en el contrato.

Se debe asegurar que la adquisición de los recursos y el manejo de los residuos cumplan los requisitos legales ambientales vigentes. Se deben realizar todos los estudios, los tramites, los procedimientos y las actividades en obra necesarios para cumplir con las normas ambientales. Se debe entregar al interventor la documentación de la gestión ambiental.

630.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles principales por parte del constructor, con la supervisión y la aprobación del interventor:

- Verificar el estado y el funcionamiento de todo el equipo de construcción.
- Supervisar la correcta aplicación del método aceptado previamente, en cuanto a la elaboración y manejo de los agregados, así como la manufactura, el transporte, la colocación, la consolidación, la ejecución de juntas, el acabado y el curado de las mezclas.
- Comprobar, mediante ensayos por parte del constructor, que los materiales por utilizar cumplan los requisitos de calidad exigidos por la presente especificación.
- Efectuar los ensayos necesarios para el control de la mezcla.
- Vigilar la regularidad en la producción de los agregados y en la mezcla de concreto, durante el periodo de ejecución de las obras.
- Verificar el cumplimiento de todas las medidas requeridas sobre seguridad y ambiente.
- Tomar, de manera cotidiana, muestras de la mezcla elaborada para determinar su resistencia, de acuerdo con el plan de calidad, previamente aprobado por el interventor, y la NSR.
- Realizar medidas para determinar las dimensiones de la estructura y comprobar la uniformidad de la superficie.
- Medir, para efectos de pago, los volúmenes de obra satisfactoriamente ejecutados.

Los laboratorios en donde se realicen los ensayos necesarios para el control de la calidad de los materiales del concreto y el control de la calidad del concreto deben ser empresas legalmente constituidas que cuenten con experiencia y/o trayectoria en ejecución de pruebas y ensayos de control de calidad de materiales, que puedan demostrar apropiadamente la competencia de su personal

de laboratorio y cuyos informes de resultados informados contengan la aprobación y la autorización para su emisión, mediante la firma del responsable técnico facultado para ello. El laboratorio debe contar con todo el equipamiento principal y auxiliar necesario para el correcto desempeño de sus actividades y asegurar que estos cuenten con la exactitud y la precisión adecuadas para lograr resultados válidos. El laboratorio debe contar con un programa de calibración de sus equipos y se debe asegurar de que los resultados de la medición sean trazables al SI, mediante alguna de las siguientes alternativas:

- La calibración de los equipos proporcionados por un laboratorio de metrología acreditado por ONAC.
- La comparación directa o indirecta a patrones nacionales o internacionales que cuenten con unidades del SI.
- Los valores certificados de materiales de referencia (MRC) proporcionados por productores competentes con trazabilidad metrológica establecida al SI.

El constructor es el responsable de garantizar que todos los ensayos necesarios se realicen. Los informes de ensayos deben ser entregados rutinariamente al interventor, al profesional a cargo del diseño, a los proveedores de material y a la autoridad competente que verifique el cumplimiento de la calidad o que tome acciones correctivas.

630.5.1 Control de materiales

Para cada uno de los materiales se deben realizar los ensayos y procedimientos definidos en el plan de calidad. Si estos no son satisfactorios, se debe rechazar el material y el concreto que se haya elaborado con este.

Además, cada vez que lo considere necesario, el interventor debe efectuar u ordenar la ejecución de los ensayos de control que permitan verificar la calidad del material.

Se debe tener un registro de todos los ensayos y procedimientos de calidad, los cuales deben ser presentados al interventor.

630.5.1.1 Calidad del cemento hidráulico

Para todo cemento que llegue a la central de fabricación, sea esta de propiedad del constructor o de un proveedor, se deben realizar los ensayos de las normas mencionadas en el artículo 501 y con la frecuencia especificada en el mismo. Los resultados de los ensayos deben ser remitidos para su aprobación por parte del interventor.

630.5.1.2 Calidad de las adiciones suplementarias

El constructor debe verificar, mediante ensayos, las características de las adiciones suplementarias definidas en el plan de calidad o las especificadas en los documentos del proyecto. Para cada adición se deben verificar los requisitos de las normas definidas en el numeral 630.2.1.2 con la siguiente frecuencia:

- Una (1) vez por cada mes de ejecución de las obras y como mínimo tres (3) veces a intervalos convenientemente espaciados si la obra dura menos de tres (3) meses.
- Cada vez que se modifique el material suministrado.
- Cada vez que el interventor lo solicite.

630.5.1.3 Calidad del agua

Se deben ejecutar los ensayos relacionados en la Tabla 630 — 5 y la Tabla 630 — 6. El agua usada en la mezcla y el curado debe cumplir los límites establecidos en estas, y solo se acepta si se cumplen dichos límites.

630.5.1.4 Calidad de los agregados

De cada fuente de agregados por utilizar en la producción de concreto y para cualquier volumen previsto, se deben tomar cuatro (4) muestras y se deben ejecutar los ensayos que permitan verificar el cumplimiento de los requisitos establecidos en los numerales 630.2.1.3.1 y 630.2.1.3.2.

Para el caso de los agregados ciclópeos, de igual forma se deben realizar y documentar los ensayos para la verificación del cumplimiento de los requisitos mencionados en este artículo.

Los resultados de todas estas pruebas deben satisfacer las exigencias de los numerales anteriormente citados. Los agregados que no las cumplan no pueden ser utilizados en la elaboración de la mezcla de concreto, a no ser que se realicen pruebas o ensayos adicionales que demuestren que, la mezcla de concreto cumple las características establecidas para cada proyecto y sean aprobadas por el interventor.

En el caso de uso de agregados reactivos, se deben evaluar procedimientos o diseños de mezcla que permitan mitigar esa condición, previa aprobación del interventor. El proceso de evaluación de la reactividad y el diseño del plan de mitigación se debe realizar conforme a los requisitos de este artículo, en el numeral 630.2.6.1.

Durante la etapa de producción, el interventor debe examinar los acopios y ordenar el retiro de los agregados que, a simple vista, presenten restos vegetales, materia orgánica o tamaños superiores al máximo especificado. También, debe ordenar acopiar por separado aquellos que presenten alguna anomalía de aspecto (tal como distinta coloración), segregación, partículas alargadas o aplanadas y debe vigilar la disposición de todos los acopios y el estado de sus elementos separadores.

Además, sea que el constructor elabore la mezcla o tenga un proveedor que se la suministre, se debe verificar la calidad de los agregados, mediante la realización de los ensayos que se relacionan en la Tabla 630 — 16, con la frecuencia indicada en ella.

La curva granulométrica de cada ensayo individual, se debe ajustar a la franja de tolerancia construida a partir de la granulometría de diseño de la mezcla (fórmula de trabajo), con los límites fijados en la Tabla 630 — 18.

En caso de que los valores obtenidos excedan la franja de tolerancia definida para la fórmula de trabajo, pero no se salgan de las franjas normativas, el proveedor o el constructor deben preparar en laboratorio una mezcla con la gradación defectuosa, la cual se debe someter a todas las pruebas de valoración descritas en el presente artículo. En caso de que no cumpla todos los requisitos, el constructor debe demoler, a sus expensas, los elementos cuestionados y los debe reponer, sin costo alguno para INVÍAS.

Tabla 630— 16. Ensayos de verificación sobre los agregados para concreto estructural

Característica	Norma de ensayo	Frecuencia (Nota 1)
Composición (F)		
Granulometría	INV E-213	1 por jornada
Módulo de finura	INV E-213	1 por jornada
Dureza, agregado grueso (O)		
Desgaste en la máquina de Los Ángeles	INV E-218	1 por mes
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos (Nota 2)	INV E-220	1 por mes
Reactividad de los agregados	Ver numeral 630.2.6.1.3	Tabla 630 — 17
Limpieza (F)		
Terrones de arcilla y partículas deleznables	INV E-211	1 por semana
Partículas livianas	INV E-221	1 al inicio del proyecto, 1 cada cambio de fuente y 1 cada 2,5 meses
Material que pasa el tamiz de 0,075 mm (nro. 200)	INV E-214	1 por semana
Geometría de las partículas (F)		
Índice de alargamiento	INV E-230	1 por semana
Índice de aplanamiento	INV E-230	1 por semana

Nota 1: se entiende como jornada, un día (1 d) de producción de agregados.

Nota 2: el ensayo se puede realizar con sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

Tabla 630 — 17. Ensayo para determinar la reactividad de los agregados (RAA)

Casos	Frecuencia mínima
Al inicio de todos los proyectos.	Se debe tomar una (1) lectura inicial del agregado de la fuente a usar
En todos los proyectos cuando se presente un cambio de fuente de agregado o de material cementante.	Se debe tomar una (1) lectura cada vez que se presente este caso
En todos los proyectos, excepto cuando se presente riesgo de RAA clase SC4.	Se debe tomar una (1) lectura cada 6 meses
En proyectos con riesgo de RAA clase SC4.	Se debe tomar una (1) lectura cada 3 meses

Cada vez que se realicen los ensayos para la evaluación de la reactividad del agregado, a partir de los resultados, se debe establecer la mitigación de acuerdo con lo indicado en el numeral 630.2.6.1.

El interventor puede modificar la frecuencia de los ensayos a la mitad de lo indicado en la Tabla 630 — 16, siempre que considere que los materiales son suficientemente homogéneos o si en el control de recibo de la obra terminada hubiese aceptado sin objeción diez (10) lotes consecutivos.

Tabla 630 — 18. Tolerancias granulométricas respecto de la fórmula de trabajo

	Tamiz (mm / U.S. *Standard*)							
Tolerancia	≥ 9,5	4,75	2,36	1,18	0,600	0,300	0,150	0,075
	≥ 3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 8	Nro. 16	Nro. 30	Nro. 50	Nro. 100	Nro. 200
	Puntos de porcentaje (%) sobre la masa seca de los agregados							
	± 4		± 3					± 1

630.5.1.5 Calidad del acero

El constructor debe presentar certificaciones periódicas originales de los fabricantes o de los proveedores del acero empleado en pasadores, barras de amarre y refuerzos requeridos para la construcción del pavimento, donde se demuestre que este satisface a cabalidad las exigencias del presente artículo. Ninguna certificación puede tener una antigüedad superior a treinta días (30 d).

Así mismo, cada vez que lo considere conveniente, el interventor debe ordenar o efectuar las pruebas necesarias para verificar que la calidad del acero empleado cumple las exigencias de este artículo, y lo establecido en el artículo 640.

630.5.1.6 Calidad de los aditivos, adiciones complementarias y productos químicos de curado

El constructor debe presentar certificaciones periódicas de los fabricantes o de los proveedores de estos productos, que brinden garantía en cuanto a la calidad y a la conveniencia de su utilización, para la revisión y la eventual aprobación de uso por parte del interventor.

630.5.2 Control del concreto

630.5.2.1 Control de requisitos de durabilidad

En el caso de que el proyecto tenga una especificación por desempeño, cuando sea aplicable, se deben controlar las características de durabilidad especificadas para el concreto en el numeral 630.2.6.1, siguiendo las normas de ensayo aplicables. Se debe definir el lote como una jornada de trabajo.

Tabla 630 — 19. Control de requisitos de durabilidad por método de desempeño verificado

Requisitos de durabilidad	Frecuencia
Penetración del ion cloruro del concreto	un (1) control al inicio del proyecto y un (1) control máximo cada 30 lotes
Permeabilidad al agua del concreto	un (1) control al inicio del proyecto y un (1) control máximo cada 30 lotes
Contracción	un (1) control al inicio del proyecto y un (1) control máximo cada 30 lotes
Resistencia a sulfatos	Solo en la validación de la mezcla de prueba

Para el caso de los proyectos que tengan una especificación por el método prescriptivo, se deben cumplir los requisitos límite de los tipos de exposición en el que se haya clasificado la estructura, los requisitos presentados en el numeral 630.2.6.1. De igual forma, se deben cumplir los requisitos por clase de concreto y resistencia presentados en los numerales 630.2.6.2 y 630.2.6.3. Entre estos requisitos está la relación a/mc, la resistencia (*f'c*), el contenido de aire, el material cementante y el contenido máximo de ion cloruro soluble en agua en el concreto. Todos estos parámetros se deben establecer durante la validación de la mezcla de prueba, deben ser aprobados por el interventor y se deben mantener durante todo el proyecto. En caso de requerir un cambio de estos parámetros, se debe realizar nuevamente una mezcla de prueba con todos los ensayos pertinentes, verificar que se cumplan los requisitos de durabilidad, resistencia y clase de concreto, y debe ser aprobada nuevamente por el interventor. Todo este control debe quedar documentado.

Se deben reportar los valores obtenidos. En cada característica, el concreto colocado debe cumplir los rangos máximos o mínimos que le son aplicables. Las estructuras en concreto, que no cumplan una o varias características de durabilidad especificadas, deben ser demolidas y sus escombros transportados a los sitios aprobados para su recepción, todo a expensas del constructor, quien además debe reemplazar estas estructuras con otras que cumplan todas las exigencias de la especificación, sin que ello implique costo alguno para INVÍAS.

630.5.2.2 Control de los requisitos por clase de concreto

Cuando aplique se deben cumplir los requisitos límite por clase de concreto, requisitos presentados en el numeral 630.2.6.2. Todos estos parámetros se deben establecer durante la validación de la mezcla de prueba, deben ser aprobados por el interventor y se deben mantener durante todo el proyecto. En caso de requerir un cambio de estos parámetros se debe realizar nuevamente una mezcla de prueba con todos los ensayos pertinentes, verificar que se cumplan los requisitos de durabilidad, resistencia y clase de concreto, y debe ser aprobada nuevamente por el interventor. Todo este control debe quedar documentado.

630.5.2.3 Dosificación

La mezcla se debe efectuar en las proporciones establecidas en la fórmula de trabajo; se admiten las variaciones establecidas en la NTC 3318 (ASTM C94).

La tolerancia del agua de mezclado se debe medir con la tolerancia especificada, corregida según la condición de humedad de los agregados y la cantidad de aditivo líquido, si se usa.

Para las mezclas dosificadas por fuera de estos límites, el constructor las debe tratar como producto no conforme para llevarlas a las características requeridas y, en caso de no cumplir, deben ser rechazadas por el interventor.

630.5.2.4 Consistencia

Se debe controlar la consistencia de cada carga entregada, para lo cual se debe tomar una muestra representativa de ella que se debe someter al ensayo de asentamiento (según la norma INV E-404/NTC 396) o flujo libre (según la NTC 5222), cuyo resultado debe estar dentro de los límites indicados en los documentos del proyecto para cada tipo de concreto, según lo mencionado en el numeral 630.4.2. Por ningún motivo se permite la adición de agua al concreto elaborado para incrementar su asentamiento o flujo, según el tipo de mezcla. La tolerancia del asentamiento debe estar en conformidad con el ACI 117, Especificación para la tolerancia de estructuras de concreto y materiales.

630.5.2.5 Contenido de aire

Si en el diseño de la mezcla se ha especificado un contenido de aire, se debe controlar en cada uno de los tres (3) primeros camiones que lleguen a la obra en la jornada de trabajo y en los tres (3) primeros después de cada interrupción, programada o no, durante el curso de dicha jornada, según la norma de ensayo INV E-406 (NTC 1032), la cual describe el método a presión. También, se permite medir el contenido de aire siguiendo la norma de ensayo ASTM C173. Los resultados deben corresponder al valor establecido al definir la fórmula de trabajo. Si el resultado de la muestra de algún camión está por fuera de los límites de tolerancia, se debe tomar una segunda muestra del mismo camión y se repite el ensayo. Si este último se encuentra dentro de los límites de tolerancia especificada se debe aceptar el viaje. En caso contrario, se debe rechazar. Si se rechaza el concreto de los tres (3) camiones consecutivos por este motivo, se debe suspender la producción de la mezcla y la construcción, hasta que se detecten y corrijan las causas de la anomalía.

630.5.2.6 Peso unitario y densidad del concreto

Se debe controlar el peso unitario del concreto en estado fresco siguiendo la norma de ensayo INV E-405 (NTC 1926).

A los testigos extraídos se les debe determinar su densidad, según la norma de ensayo ASTM C642 (NTC 5653).

En principio, los resultados deben ser reportados, pero no se deben emplear como criterio para aceptación o rechazo de la estructura construida, salvo que los documentos del proyecto o una especificación particular así lo indiquen y establezcan un criterio para su calificación. Sin embargo, si la densidad promedio

de los núcleos de un lote es menor de noventa y siete por ciento (97 %), o algún núcleo presenta densidad menor de noventa y seis por ciento (96 %), con respecto a la densidad del concreto elaborado al definir la fórmula de trabajo, es indispensable que el constructor mejore el vibrado del concreto, de manera que los requisitos establecidos anteriormente se logren en las posteriores verificaciones.

En cualquier caso, la presencia de hormigueros en los núcleos hace obligatoria la demolición del elemento de concreto estructural afectado y su reconstrucción con elementos que cumplan todos los requisitos de esta especificación.

630.5.2.7 Temperatura del concreto en estado fresco

Se debe controlar la temperatura del concreto en estado fresco, de manera que se cumpla la NTC 3357 (ASTM C1064). Si la temperatura del concreto, medida en la entrega de este, no cumple los requisitos del numeral 630.4.8.6 o el plan de control de temperatura para el caso de concretos masivos, se debe realizar inmediatamente una medición adicional sobre una nueva muestra del mismo despacho. Si no se cumplen los requisitos de temperatura, el concreto no se puede usar en obra.

630.5.2.8 Módulo elástico del concreto

La determinación del módulo de elasticidad del concreto se debe realizar cuando, en los documentos del proyecto, se requiera la determinación del módulo de elasticidad o por solicitud del interventor. Sobre los núcleos cilíndricos extraídos de la estructura de concreto se debe determinar el módulo de elasticidad, mediante el procedimiento descrito en la norma de ensayo INV E-424 (NTC 4025).

El valor promedio de cada lote debe ser reportado y se debe emplear, si corresponde, en la revisión de los diseños estructurales de los documentos del proyecto.

630.5.2.9 Resistencia

Las muestras de concreto para fines de determinar la resistencia especificada deben ser tomadas, elaboradas, curadas y ensayadas bajo las normas INV E-420/NTC 550 e INV E-410/NTC 673.

Las muestras para los ensayos de resistencia de cada tipo de concreto colocado en obra, se deben tomar por lo menos una (1) vez al día, o cada cuarenta metros cúbicos (40 m^3) de concreto, o cada doscientos metros cuadrados (200 m^2) de superficies de losas y muros.

La resistencia del concreto debe ser evaluada, con fines de aceptación o rechazo, de acuerdo con el procedimiento y los parámetros establecidos en la NSR.

Si en algún momento no se cumplen las exigencias establecidas en la NSR, se deben tomar las acciones contempladas en este documento, en la sección «Investigación de los resultados de ensayo con baja resistencia».

Se deben tomar tres (3) núcleos por cada valor no conforme. Los núcleos deben ser extraídos, deben ser colocados en recipientes o bolsas herméticas de tal forma que la humedad se preserve, deben ser transportados al

laboratorio y se deben ensayar de acuerdo con la norma INV E-418/NTC 3658.

Se considera aceptable la resistencia del concreto de la zona representada por los núcleos, si el promedio de la resistencia a la compresión de los tres (3) núcleos, corregida por la esbeltez, es al menos igual al ochenta y cinco por ciento (85 %) de la resistencia especificada (*f'c*) en los documentos del proyecto, siempre que ningún núcleo tenga menos del setenta y cinco por ciento (75 %) de dicha resistencia. Cuando los núcleos den valores erráticos, se debe permitir extraer núcleos adicionales de la misma zona.

Si los criterios de aceptación anteriores no se cumplen, el constructor puede solicitar que, a sus expensas, se hagan pruebas de carga en la parte dudosa de la estructura conforme lo especificado en la NSR. Si estas pruebas dan un resultado satisfactorio, se acepta el concreto en discusión. En caso contrario, el constructor debe adoptar las medidas correctivas que solicite el interventor, las cuales pueden incluir la demolición parcial o total de la estructura, si fuere necesario, y su posterior reconstrucción, a costa del constructor, sin costo alguno para INVÍAS.

Siempre que se produzcan rechazos, se debe reiniciar el promedio de las medias móviles (*fm*) para las evaluaciones subsiguientes.

630.5.2.10 Curado

Toda fundida de concreto que no sea correctamente curada, puede ser rechazada por el interventor. Si se trata de una superficie de contacto con fundidas subsecuentes de concreto, deficientemente curada, el interventor puede exigir la remoción de una capa hasta de cinco centímetros (5 cm) de espesor, por cuenta del constructor, y su consecuente reposición con una mezcla satisfactoria, correctamente curada.

Los especímenes curados en las mismas condiciones de la obra, deben dar como mínimo el ochenta y cinco por ciento (85 %) de la resistencia de los especímenes curados en agua para control de calidad. El cumplimiento de este requisito es garantía de que se está realizando un curado efectivo en obra.

Solo para efectos de aceptación y rechazo de la estructura construida se debe medir la resistencia del concreto, tanto en especímenes de control de calidad de obra como en especímenes de control del desarrollo de resistencia del concreto ya instalado, mediante la disposición de cilindros de control de la calidad al pie del elemento y/o extracción y ensayo de núcleos (norma INV E-418/NTC 3658). Lo anterior para determinar la efectividad de las labores de compactación y curado, si existe alguna incertidumbre con la estructura o con la resistencia en probetas. Únicamente, se debe permitir el uso de ensayos no destructivos, donde se obtuvieron resultados de ensayos con baja resistencia y es necesario realizar una investigación. Los casos en los que se deben realizar estos ensayos son los siguientes:

- Inadecuados procesos de compactación (ACI 309R, Guía para la consolidación del concreto).
- Inadecuados procesos de cuidado y control de muestras (ACI 308R, Guía para curado del concreto; INV E-420/NTC 550).
- Cuando el curado en la estructura genere reducciones en la resistencia mayores de

un quince por ciento (15 %) respecto a los obtenidos bajo la condición estándar.

Los ensayos no destructivos que se permiten son los contenidos en el ACI 228.2R, Reporte de métodos de ensayo no destructivos para la evaluación del concreto en estructuras. Estos ensayos se pueden usar, si se realiza una calibración del método con el concreto de obra, empleando un número suficiente de muestras, y con la aprobación del interventor. Estos ensayos son válidos principalmente para hacer comparaciones del concreto en la misma estructura, mas no para evaluar la resistencia.

630.5.3 Calidad del producto terminado

Todo concreto donde los materiales, las mezclas y el producto terminado excedan las tolerancias de esta especificación, debe ser corregido por el constructor, quien debe asumir los costos adicionales, de acuerdo con las indicaciones del interventor y la aprobación de este. Dicha corrección puede contemplar, inclusive, la demolición parcial o total de la estructura.

630.5.3.1 Desviaciones máximas admisibles en las dimensiones laterales

- Vigas pretensadas y postensadas: de menos cero coma cinco centímetros a más uno coma un centímetro (- 0,5 cm a + 1,1 cm).
- Vigas, columnas, placas, pilas, muros y estructuras similares de concreto reforzado: de menos un centímetro a más dos centímetros (- 1,0 cm a + 2,0 cm).
- Muros, estribos y cimientos: de menos dos centímetros a más cinco centímetros (- 2,0 cm a + 5,0 cm).

630.5.3.2 Desplazamiento

El desplazamiento de las obras, con respecto a la localización indicada en los documentos del proyecto, no puede ser mayor que la desviación máxima positiva (+) indicada para las desviaciones en el numeral 630.5.3.1.

630.5.3.3 Otras tolerancias

- Espesores de placas: de menos un centímetro a más dos centímetros (- 1,0 cm a + 2,0 cm).
- Cotas superiores de placas y andenes: de menos un centímetro a más un centímetro (- 1,0 cm a + 1,0 cm).
- Recubrimiento del refuerzo: más o menos diez por ciento (± 10 %).
- Espaciamiento entre varillas: de menos dos centímetros a más dos centímetros (- 2,0 cm a + 2,0 cm).

Se deben cumplir los requisitos de la ACI 117, Especificación para la tolerancia de estructuras de concreto y materiales; para las especificaciones de tolerancia que no se presentan en este documento.

630.5.3.4 Regularidad de la superficie

La superficie no puede presentar irregularidades que superen los límites que se indican a continuación, al colocar sobre esta una regla de tres metros (3 m).

- Placas y andenes: cero coma cuatro centímetros (0,4 cm).
- Otras superficies de concreto simple o reforzado: un centímetro (1,0 cm).
- Muros de concreto ciclópeo: dos centímetros (2,0 cm).

630.5.4 Defectos a edades tempranas

Si se presentan fisuras a una edad temprana, se deben revisar detalladamente las mezclas utilizadas, los asentamientos medidos, el manejo de las películas o el procedimiento de protección y curado, las condiciones ambientales y el concreto y, en general, todos los elementos que puedan haber incidido en la ocurrencia del fenómeno.

Se deben tomar medidas de corrección y reparación, de acuerdo con el origen de estos defectos, las cuales deben ser asumidas por el constructor y aprobadas por el interventor.

En todos los casos, el constructor debe presentar, previamente, un documento con las acciones correctivas propuestas, incluyendo materiales, dimensiones y procedimientos que pretende utilizar para la reparación.

630.6 Medida

La unidad de medida del concreto estructural debe ser el metro cúbico (m^3), aproximado a la décima (0,1), de mezcla de concreto realmente suministrada, colocada y consolidada en obra, debidamente acabada y curada; aprobada por el interventor.

El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma de ensayo INV E-823.

El volumen se debe determinar multiplicando la longitud horizontal, medida a lo largo de la estructura, por el ancho y el espesor especificados en los documentos del proyecto. No se debe medir, para los fines de pago, ninguna obra ejecutada por fuera de las dimensiones o líneas establecidas en los documentos del proyecto.

De los volúmenes calculados se deben deducir los correspondientes a las tuberías de drenaje y elementos de acero, excepto los ocupados por el acero de refuerzo y de preesfuerzo.

630.7 Forma de pago

El pago se debe hacer al precio unitario del contrato por toda obra ejecutada, de acuerdo con esta especificación y aprobada por el interventor.

El precio unitario debe cubrir todos los costos de adquisición, obtención de permisos y derechos de explotación y alquiler de las fuentes de las cuales se extraen los agregados pétreos, así como el descapote y la preparación de las zonas por explotar y la adecuación paisajística de las fuentes para recuperar sus características hidrológicas superficiales al terminar la explotación.

Debe cubrir, también, todos los costos de construcción o mejoramiento de las vías de acceso a las fuentes, y los de la explotación de ellas; la selección, la trituración y el eventual lavado y la clasificación de los materiales pétreos; el suministro, el almacenamiento, los desperdicios, los cargues, los transportes, los descargues y las mezclas de todos los materiales constitutivos de la mezcla cuya fórmula de trabajo se haya aprobado, incluyendo los aditivos, adiciones suplementarias y complementarias.

El precio unitario debe incluir, también, los costos por concepto de patentes utilizadas

por el constructor; el suministro, la instalación y la operación de los equipos; la preparación de la superficie de las excavaciones si no está contemplada en el artículo 600; el suministro de materiales y accesorios para las formaletas y la obra falsa y su construcción y remoción; el diseño y la elaboración de las mezclas de concreto, su cargue, su transporte al sitio de la obra, la colocación y el vibrado; el suministro y la aplicación del producto para el curado del concreto terminado, la ejecución de juntas y de agujeros para drenaje, el acabado, la limpieza final de la zona de las obras y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución de los trabajos especificados.

También, debe incluir el costo de la señalización preventiva y el ordenamiento del tránsito automotor durante la ejecución de los trabajos, y los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

Las obras de concreto que estén cubiertas por otro ítem de pago, tampoco se consideran incluidas en el presente artículo.

El acero de refuerzo se debe medir y pagar de acuerdo con el artículo 640 y el de preesfuerzo de acuerdo con el artículo 641.

630.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
630.1	Tipo de concreto	Metro cúbico (m^3)

Nota: se debe elaborar un ítem de pago para cada tipo de concreto que tenga el proyecto. Cada tipo de concreto se debe describir completamente, de acuerdo con las indicaciones del numeral 630.2.6.

630.9 Glosario

Las siguientes definiciones son aplicables a esta especificación:

630.9.1 Material cementante

Un material cementante es aquel que tiene las propiedades de adhesión y cohesión necesarias para unir agregados y conformar una masa sólida de resistencia y durabilidad adecuada. Los principales cementantes son los cementos hidráulicos, algunas escorias y ciertos materiales con propiedades puzolánicas. De acuerdo con el nivel de cementación y los requisitos específicos de las aplicaciones, estos cementantes se pueden utilizar en forma individual o combinados entre sí.

630.9.2 Adiciones suplementarias

Son materiales inorgánicos de origen natural o artificial que tienen propiedades puzolánicas, hidráulicas o ambas, y que al ser incorporadas en las mezclas cementicias (lechadas, morteros o concretos) o directamente adicionadas durante la fabricación del cemento, permiten alcanzar mejoras tecnológicas de desempeño, ya sea en su estado fresco, durante su fraguado y/o en su estado endurecido (propiedades resistentes y durables).

Algunos ejemplos son las cenizas volantes (clases C y F según la NTC 3493/ASTM C618), el humo de sílice, las puzolanas naturales o calcinadas, las escorias de alto horno (granulada y molida), el metacaolín (arcilla calcinada), entre otros.

De acuerdo con la disponibilidad de materiales, las propiedades finales deseadas y las

capacidades tecnológicas, se puede utilizar más de un tipo de adición suplementaria, en forma combinada con los demás materiales. Los cementos o mezclas «ternarias» son aquellas que contienen dos adiciones suplementarias diferentes en su composición, además del Clinker, yeso y aditivos de proceso (si se usan).

Dependiendo de la naturaleza de la adición, estas pueden no solo contribuir con las propiedades de ganancia de resistencia del cemento, sino también con otras propiedades de las mezclas.

Tabla 630 — 20. Naturaleza de las adiciones suplementarias

Material	Naturaleza cementante o tipo de reacción
Puzolana natural (clase N) (Nota 1)	Puzolánica con cemento Portland
Ceniza volante silícea (clase F) (Nota 1)	Puzolánica con cemento Portland
Ceniza volante de alta cal (clase C) (Nota 1)	Puzolánica con cemento Portland, pero también ligeramente hidráulica
Escoria de alto horno granulada y molida	Potencialmente Hidráulica
Humo de sílice (Nota 2)	Puzolánico con cemento Portland
Relleno calcáreo	Llenante con acción hidráulica ligera con cemento Portland
Metacaolín (arcilla calcinada)	Puzolánica con cemento Portland

Nota 1: clasificación de acuerdo con la NTC 3493 (ASTM C618).

Nota 2. debe cumplir lo establecido en la norma técnica ASTM C1240.

630.9.3 Adiciones complementarias

Son materiales que se incorporan a las mezclas de concreto para mejorar o modificar otras prestaciones del concreto diferentes a las características cementantes o de actividad hidráulica que sí ofrecen las adiciones suplementarias.

Las adiciones complementarias pueden ser fibras, pigmentos, llenantes, polímeros, entre otros.

- Las fibras para el concreto consisten en elementos de corta longitud y pequeña sección que son incorporadas a su masa, con el objetivo de mejorar algunas de sus prestaciones, tanto en estado fresco como una vez endurecido. Estas fibras generalmente son de acero, polímeros, vidrio (protegida al álcali), o su combinación, disponibles en una amplia variedad de formas, tamaños y espesores.
- La utilización de fibras contribuye a modificar el comportamiento del concreto, ya sea, para disminuir la fisuración, modificar la resistencia, conceder ductilidad, aumentar la durabilidad, o las que sean aplicables según el diseño. Es conveniente que se determine la dosificación y el tipo de fibras por utilizar, dependiendo de las normas

que las estipulan, para que de este modo se logre proporcionar la funcionalidad del material en los diferentes espacios y a su vez se garantice un adecuado desempeño de la estructura.

- Los pigmentos son partículas de polvo más fino que el cemento, químicamente inertes y que resisten la alcalinidad del cemento, modificando el color del concreto y que pueden ser naturales o sintéticos. El color depende de la pureza del pigmento, del porcentaje de la sustancia colorante, de su finura y su granulometría. Se recomienda no pasar del diez por ciento (10 %) de pigmentos en la mezcla, para no tener exceso de partículas finas.
- Los llenantes son materiales inertes químicamente conocidos como «rellenos» que fomentan la densificación de la pasta de cemento o pueden tener un efecto físico contribuyendo a la dispersión de los granos de cemento, a la vez que actúan como centros de nucleación, facilitando mejores condiciones para la hidratación y el desarrollo de resistencia a edad temprana.

630.9.4 Norma Sismo Resistente (NSR)

Se refiere al Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, encargado de regular las condiciones con las que deben contar las construcciones, con el fin de que la respuesta estructural a un sismo sea favorable.

Lechada para ductos de concreto preesforzado

Artículo 631 – 22

631.1 Descripción

Este trabajo consiste en el suministro de materiales y la mezcla de cemento, adiciones suplementarias, agua, arena fina y aditivos, y su inyección en los ductos de las armaduras activas para establecer la necesaria adherencia entre dichas armaduras y el concreto, así como protegerlas contra la corrosión.

631.2 Materiales

631.2.1 Cemento

El cemento para la lechada debe cumplir con lo especificado en el artículo 501, Suministro de cemento hidráulico, y debe ser del tipo indicado en los documentos del proyecto. El cemento que se use en la inyección debe ser fresco y no debe tener signos de hidratación o fraguado falso ni contener grumos, cuya detección se puede realizar con el tamiz de 0,850 mm (nro. 20) como lo indica la norma INV E-301.

631.2.2 Adiciones suplementarias

Las adiciones suplementarias que se empleen para la lechada deben cumplir con lo especificado en el numeral 630.2.1.2 del artículo 630, Concreto estructural.

631.2.3 Arena

La arena que se emplee eventualmente en la lechada debe pasar, en su totalidad, el tamiz de 0,600 mm (nro. 30) y no debe contener partículas de tamaño inferior al tamiz de 0,075 mm (nro. 200).

Debe, además, estar exenta de impurezas, materia orgánica y sustancias perjudiciales, tales como iones ácidos, cloruros y de partículas laminares procedentes de mica o pizarra.

631.2.4 Aditivos

Se debe permitir el uso de aditivos, si se demuestra que ellos mejoran las propiedades de la mezcla y no causan efectos perjudiciales sobre el acero de preesfuerzo. Su empleo se debe efectuar siguiendo las instrucciones del fabricante.

Los aditivos que se empleen deben cumplir con la NTC 1299 (ASTM C494) y la NTC 4023 (ASTM C1017) y no pueden contener iones de cloruro. En cualquier caso, el máximo contenido final de cloruro de la lechada debe ser de cero coma cero ocho por ciento (0,08 %).

631.2.5 Agua

El constructor debe someter a la aprobación del interventor, las fuentes de agua que se propone utilizar, indicando los sistemas de

tratamiento, si se requieren, y presentando los análisis físico-químicos respectivos, realizados en laboratorios que cuenten con experiencia y/o trayectoria en ejecución de pruebas y ensayos de control de calidad, que puedan demostrar apropiadamente la competencia de su personal de laboratorio y cuyos reportes de resultados, contengan la aprobación y la autorización para su emisión, mediante la firma del responsable técnico facultado para ello. El laboratorio debe contar con todo el equipamiento principal y auxiliar necesario para el correcto desempeño de sus actividades y asegurar que estos cuenten con la exactitud y la precisión adecuadas para lograr resultados válidos. El laboratorio debe contar con un programa de calibración de sus equipos y se debe asegurar que los resultados de la medición sean trazables al Sistema Internacional de Unidades (SI) mediante alguna de las siguientes alternativas:

- La calibración de los equipos proporcionados por un laboratorio de metrología acreditado por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC).
- La comparación directa o indirecta a patrones nacionales o internacionales que cuenten con unidades del SI.
- Los valores certificados de materiales de referencia (MRC) proporcionados por productores competentes con trazabilidad metrológica establecida al SI.

El agua que se utilice para fabricación de la lechada, debe ser limpia, libre de aceites, tierra, materia orgánica, azúcar, sedimentos, sales, álcalis, ácidos y cualquier otra sustancia que pueda afectar la calidad, resistencia y/o durabilidad de las obras. En particular, no debe contener más de doscientos cincuenta miligramos (250 mg) de ion cloro por litro de agua, según la norma de ensayo ASTM D-512; su pH, determinado según la norma ASTM D-1293 debe estar entre seis (6) y ocho (8); y no puede presentar trazas de hidratos de carbono.

Si se emplea agua potable, no se requiere ningún ensayo para verificar su calidad.

Si se usan aguas subterráneas, se deben realizar las pruebas de calidad del agua para concreto.

En caso de cualquier aprovechamiento de recursos hídricos, se debe contar con los permisos y autorizaciones por parte de la autoridad ambiental.

631.3 Equipo

El equipo para la inyección debe incluir un mezclador capaz de realizar una mezcla mecánica continua con una velocidad mínima de mil revoluciones por minuto (1 000 rpm) y que produzca una lechada libre de grumos y cemento no disperso, una bomba de inyección y equipo de limpieza con suministro de agua. El equipo debe permitir el bombeo de la lechada de manera que cumpla todos los requisitos. Debe proveerse, además, equipos accesorios que proporcionen medidas de los sólidos y líquidos para obtener una mezcla adecuada.

Entre el mezclador y la bomba se debe instalar un filtro a través del cual se debe tamizar la lechada, las aberturas máximas del filtro deben ser de tres milímetros (3 mm). Este filtro debe ser de fácil inspección y limpieza. En caso de retención de grumos, se debe realizar una inspección de la mezcla.

La bomba debe ser de desplazamiento positivo y ser capaz de producir una presión de salida de al menos un megapascal (1 MPa). Debe, además, disponer de sellos adecuados para prevenir el ingreso de aceite, aire o sustancias extrañas en la mezcla, y para evitar la pérdida de agua; igualmente, debe estar provista de un dispositivo de seguridad que evite sobrepresiones que se puedan producir por atascos en el interior de los ductos. Su alimentación debe ser por gravedad, desde una tolva colocada directamente sobre ella; la tolva debe tener un rotor de mezcla para mantener la lechada agitada y mantenerse llena, al menos parcialmente, durante todo el proceso de bombeo, de modo que se evite la entrada de aire en el ducto.

Bajo condiciones normales, el equipo para la inyección debe ser capaz de suministrar lecha-da al tendón más largo en un tiempo inferior a veinte minutos (20 min).

631.4 Ejecución de los trabajos

631.4.1 Generalidades

La inyección se debe llevar a cabo lo antes posible después del tensado, no debiendo transcurrir entre la iniciación de este y el principio de aquella, más de los plazos establecidos en el numeral 631.4.5 de esta especificación, salvo si se ha previsto una adecuada protección provisional de las armaduras, o existe autorización expresa del interventor.

631.4.2 Preparación de los ductos

Antes de proceder a la inyección, se deben limpiar los ductos con aire a presión, observando si este llega a salir por el extremo opuesto en forma continua y regular, o si, por el contrario, existe algún tapón en el ducto, capaz de impedir el paso de la inyección, en cuyo caso se deben tomar las medidas oportunas para asegurar que el conducto quede correctamente inyectado.

El interventor debe verificar la necesidad de la instalación de boquillas de purga para garantizar la continuidad de la lechada al interior del ducto.

Si los cables han sido lubricados o protegidos provisionalmente, se debe inyectar agua hasta eliminar el producto utilizado. Los residuos de lechada y las aguas de lavado deben tener un manejo ambiental adecuado antes de su disposición final.

631.4.3 Diseño y elaboración de la lechada

La composición de la mezcla debe contar con la aprobación del interventor y se puede establecer mediante ensayos efectuados acorde con la norma ASTM C938. Composiciones de mezclas basadas en experiencias previas con materiales y equipos similares en condiciones climáticas equivalentes, deben tener el soporte técnico documental respectivo de ensayos. Salvo que los documentos del proyecto establezcan lo contrario, no se puede utilizar la arena fina en la inyección de ductos de diámetro inferior a quince centímetros (15 cm).

La lechada debe tener la consistencia máxima compatible con la inyectabilidad. Sus características se indican en el numeral 631.5. Por lo

general, la relación agua/material cementante no debe exceder de cero coma cuarenta y cinco (0,45).

Para su fabricación, los componentes se deben introducir en el depósito de mezcla en el siguiente orden: agua, arena y cemento con las adiciones suplementarias, en el caso de recomendarse el uso de la arena. Si se emplea algún aditivo, este se debe incorporar en la segunda mitad del tiempo de mezclado, a no ser que el fabricante recomiende algo diferente.

El tiempo de mezclado depende del tipo de mezclador utilizado, pero debe ser el suficiente para obtener una lechada uniforme, sin exceso de incrementos de temperatura o pérdida de propiedades expansivas del aditivo, pero no puede ser menor de cuatro minutos (4 min). La lechada debe ser permanentemente agitada durante el bombeo. No se debe permitir la adición de agua para incrementar la manejabilidad de la mezcla, cuando esta haya disminuido por uso tardío de la lechada.

631.4.4 Inyección

Se debe presentar para aprobación del interventor un plan de inyección, el cual debe contener al menos los siguientes aspectos: procedimiento de inyección, calificaciones y/o certificaciones del personal de inyección, diseño de la mezcla, resultados de pruebas de laboratorio de la lechada, aprobación de la fuente de agua, equipo de inyección y protocolo de inspección y prueba, inspección de ductos y pruebas de reparación en caso de que se detecte fugas, dirección y secuencias de inyección, procedimiento de inspección de llenado de ductos, procedimientos de rellenado en caso de ser necesario, formatos y registro de la operación.

Todas las coberturas de llenado y ventilación deben estar abiertas en el momento de iniciar la inyección. La inyección se debe efectuar desde el anclaje más bajo o la abertura de ventilación inferior del ducto, con todos los tubos restantes abiertos. A medida que la inyección vaya saliendo por los sucesivos tubos de purga más próximos al punto por donde se inyecta, se deben ir cerrando estos, dejando previamente fluir por ellos la lechada hasta que tenga la misma consistencia que la que se inyecta y hayan cesado de salir burbujas de aire.

La capacidad de la bomba inyectora debe poder asegurar dentro de los ductos de menos de diez centímetros (10 cm) de diámetro una progresión de cinco a quince metros por minuto (5 m/min – 15 m/min), con una presión compatible con la resistencia de los ductos y, como mínimo, cero coma cincuenta y dos megapascales (0,52 MPa) y como máximo un megapascal (1 MPa).

La inyección de cada ducto se debe hacer de forma continua e ininterrumpida, con la uniformidad necesaria para impedir la segregación de la mezcla, y hasta que se observe que la consistencia de la lechada en la salida del ducto corresponde a la misma que se está aplicando en el extremo opuesto.

Una vez aprobada la consistencia de la lechada en la salida del ducto y para asegurar que el tendón permanece lleno de lechada, se debe cerrar el orificio de salida y dejar que la presión de bombeo llegue hasta la utilizada, presión que se debe mantener durante un mínimo de tres minutos (3 min), procediendo a continua-

ción, a tapar la entrada. Los tapones, válvulas y demás accesorios no se deben remover hasta que la lechada haya secado.

No deben transcurrir más de treinta minutos (30 min) desde el mezclado hasta el comienzo de la inyección, a no ser que se utilicen retardadores.

Para evitar grumos, se recomienda pasar el mortero por un tamiz de 2 mm (nro. 10) al momento de efectuar la inyección. Este tamiz es el encargado de eliminar, al mismo tiempo, las posibles impurezas.

En caso de defectos en la operación de inyección, tales como fugas por rotura de ductos o por falta de compactación en el concreto que los rodea, estos deben ser reparados hasta lograr que la lechada los llene perfectamente. En caso de taponamientos en los ductos, deben ser localizados y eliminados; para ello, se debe lavar en sentido contrario a la inyección, introduciendo agua a alta presión hasta lavar totalmente el ducto en sentido contrario. Luego se debe lavar nuevamente en sentido de la inyección y repetir la operación de inyección.

Si no se logra eliminar el taponamiento, se debe perforar el concreto por medio de barrenos hasta las proximidades del taponamiento, para proporcionar paso a la inyección y asegurar el llenado del resto del ducto.

Por ningún motivo se debe permitir que un ducto o parte de este, quede sin la protección que proporciona la lechada.

631.4.5 Limitaciones en la ejecución

Cuando la temperatura sea inferior a cero grados Celsius (0 °C), los ductos se deben mantener libres de agua.

La temperatura del concreto debe ser, como mínimo, dos grados Celsius (2 °C), desde el momento de la inyección hasta que la resistencia de cubos de prueba de lechada alcance un valor mínimo de cincuenta y seis kilogramos por centímetro cuadrado (56 kg/cm^2).

La lechada no debe tener una temperatura superior a treinta y seis grados Celsius (36 °C) durante el proceso de mezcla o bombeo. Si es necesario, el agua de mezclado debe ser enfriada. En todo caso la relación agua cemento máxima debe estar conforme con el numeral 631.4.3.

El intervalo permisible entre la instalación del acero de alta resistencia y la inyección de la lechada de cemento, sin el uso de un inhibidor de corrosión, para las diferentes condiciones climáticas a que puede estar expuesta la estructura, está dado por:

- Atmósfera muy húmeda, con humedad relativa mayor a setenta por ciento (70 %), no debe pasar más de siete días (7 d).
- Atmósfera moderada, con humedad relativa entre un cuarenta y setenta por ciento (40 % – 70 %), no debe pasar más de quince días (15 d).
- Atmósfera muy seca, con humedad relativa menor a cuarenta por ciento (40 %), no debe pasar más de veinte días (20 d).

631.4.6 Manejo ambiental

En adición a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las labores requeridas para la elaboración de lechada para ductos de concreto preeesforzado, se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en los estudios y evaluaciones ambientales del proyecto, así como en las normas y disposiciones vigentes sobre conservación del ambiente, los recursos naturales y protección de la comunidad.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación, deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades deben incluirse en los costos del proyecto; por tanto, no deben ser objeto de reconocimiento directo en el contrato.

631.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

631.5.1 Controles

El plan de calidad y el plan de inspección, medición y ensayo, son de obligatorio cumplimiento tal como se encuentra expresado en el numeral 103.2 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor.

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles principales, teniendo en cuenta que los ensayos, cantidad y frecuencias de los mismos, se deben establecer en el Plan de Calidad aprobado por la interventoría:

- Verificar el estado y funcionamiento del equipo de construcción.
- Corroborar el cumplimiento de las disposiciones existentes en el artículo 102, Aspectos generales de seguridad y salud.
- Controlar la calidad y dosificación de los materiales que componen la lechada.
- Constatar la resistencia de la lechada endurecida conforme con la norma ASTM C942, acorde con la cantidad y frecuencia establecida en el plan de calidad.
- Desarrollar la verificación de asentamiento de acuerdo con la norma ASTM C953.
- Incluir la verificación de resistencia a la penetración de iones de cloruro ASTM C1202, con un valor menor a dos mil quinientos culombios (2 500 C) a seis horas (6 h) a treinta voltios (30 V) como criterio de aceptación.
- Realizar la verificación de cambio de volumen ASTM C1090 con un criterio de aceptación entre el cero coma cero y cero coma uno por ciento (0,0 % – 0,1 %) a las veinticuatro horas (24 h) y menor o igual al cero coma dos por ciento (≤ 0,2 %) a los veintiocho días (28 d).
- Verificar la fluidez acorde con la norma ASTM C939, con criterio de aceptación entre cinco a treinta segundos (5 s – 30 s) después del mezclado y de treinta segundos (30 s) después de treinta minutos (30 min) en reposo y con remezclado de treinta segundos (30 s).
- Efectuar la verificación de sangrado ASTM C1741 con un criterio de aceptación de cero coma cero por ciento (0,0 %) de sangrado después de tres horas (3 h) a veinte grados Celsius (20 °C).
- Supervisar la correcta aplicación del método de trabajo aprobado.

- Calibrar los manómetros y equipos de medición, para lo cual se debe presentar evidencia del registro válido de calibración actualizado, de acuerdo con el plan de calidad del proyecto.
- Controlar las presiones del manómetro de la bomba durante la inyección.

El interventor, en caso de duda sobre la calidad de la inyección realizada, puede exigir la realización de radiografías del ducto, las cuales deben ser tomadas a costa del constructor.

631.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

631.5.2.1 Calidad de los materiales

Se deben efectuar todas las comprobaciones y ensayos que el interventor considere necesarias, para asegurar que los materiales se ajustan a los requisitos de calidad establecidos en el numeral 631.2 de este artículo. Todo material que no los satisfaga, debe ser rechazado.

631.5.2.2 Calidad de la lechada

La lechada debe tener la máxima consistencia que sea compatible con la inyectabilidad y su fluidez se aprueba acorde con la norma ASTM C939.

El valor de la exudación, medido en probeta cilíndrica, herméticamente cerrada, de diez centímetros (10 cm) de diámetro y diez centímetros (10 cm) de altura, no puede ser superior al dos por ciento (2 %) a las tres horas (3 h), ni al cuatro por ciento (4 %), como máximo absoluto y la propia lechada debe reabsorber el agua exudada pasadas veinticuatro horas (24 h).

Por su parte, la reducción de volumen o contracción, medida sobre la misma probeta, no debe ser superior al dos por ciento (2 %).

En cuanto a la expansión eventual, que se presenta cuando se utilizan aditivos destinados para tal fin, no puede exceder del diez por ciento (10 %).

La resistencia a compresión de la pasta no debe ser inferior a treinta y cinco megapascales (35 MPa) o trescientos cincuenta kilogramos por centímetro cuadrado (350 kg/cm^2), a los veintiocho días (28 d), a menos que el diseñador estructural especifique una resistencia diferente.

631.5.2.3 Calidad del producto terminado

Todos los ductos deben ser llenados totalmente por la lechada. En caso de defectos, se debe proceder como se indica en el numeral 631.4.4.

El interventor no puede aceptar materiales y mezcla cuya calidad no se ajuste a las exigencias de la presente especificación, como tampoco trabajos cuyas deficiencias atenten contra la calidad y la duración de la obra en la cual se inyecta la lechada. Cualquier corrección o modificación debe ser realizada por el constructor y aprobada por el interventor, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS).

631.6 Medida

No debe haber medida, para efectos de pago separado, de la lechada requerida para llenar los ductos de concreto preesforzado.

631.7 Forma de pago

No debe haber pago separado por la lechada para ductos de concreto preesforzado; por lo tanto, todos los costos de suministro de materiales, almacenamiento, manejo, transportes, cargues, descargues, mezcla, preparación de ductos, inyección, radiografías y cualquier otro costo requerido para la correcta ejecución de los trabajos especificados en este artículo, deben estar incluidos en el ítem correspondiente al artículo 641, Acero de preesfuerzo.

Barandas de concreto

Artículo 632 – 22

632.1 Descripción

Este trabajo consiste en la construcción de barandas de concreto reforzado, de acuerdo con las formas, dimensiones, refuerzos, y en los sitios señalados en los documentos del proyecto o determinados por el interventor.

632.2 Materiales

632.2.1 Concreto

Se debe utilizar concreto de acuerdo con el diseño indicado en los documentos del proyecto, que cumpla con lo señalado en el artículo 630, Concreto estructural.

632.2.2 Acero de refuerzo

El acero empleado en la construcción de las barandas, debe cumplir con los requerimientos del diseño y con las características indicadas en el artículo 640, Acero de refuerzo.

632.3 Equipo

Al respecto, debe regir todo lo que sea aplicable del numeral 630.3 del artículo 630.

632.4 Ejecución de los trabajos

632.4.1 Construcción de la baranda

Las barandas de concreto se deben construir conforme con los requerimientos y exigencias del numeral 630.4 del artículo 630.

Para barandas de puentes, estas deben cumplir con los requisitos de la Sección 13 de la Norma Colombiana de Diseño de Puentes.

Igualmente, las barandas en puentes o vías, así como su sistema de conexión al puente o vía, deben cumplir con el nivel de ensayo contra choque que corresponda al tipo de vía según 13.7.2. de la Norma Colombiana de Diseño de Puentes.

No se debe permitir la colocación de barandas de concreto en luces de puentes en las cuales no se haya retirado toda la obra falsa o estructura de soporte.

Por su parte, el constructor debe tener especial cuidado en la colocación de formaletas, con el fin de que estas se puedan retirar sin causar daño o deterioro del concreto. Las formaletas y tiras de bisel deben construirse de acuerdo con los planos de detalle del proyecto, con las esquinas bien terminadas, libres de fisuras, astilladuras u otro defecto.

Las barandas se deben construir por tramos, para instalar las respectivas juntas que permitan la libre dilatación y contracción de los elementos, acorde con los documentos del proyecto aprobados o máximo cada cuatro metros (4 m). No se deben admitir juntas con geometría plana.

Para iniciar el vaciado del concreto, el constructor debe tener previa autorización del interventor.

En caso de construcción de barandas de concreto, en zonas donde haya presencia de tránsito o peatones, el constructor debe colocar la señalización respectiva para garantizar la seguridad de los mismos, así como la del personal de trabajo.

632.4.2 Elementos reflectantes

En los lugares de las barandas donde los documentos del proyecto o el interventor lo exijan, se deben colocar elementos retrorreflectantes de materiales flexibles apernados o fijados según las exigencias del artículo 740, Captafaros, o de la especificación particular respectiva.

632.4.3 Barandas mixtas

Los elementos de concreto de la baranda deben ceñirse a lo estipulado en el presente artículo y, los requerimientos de los elementos metálicos, que no conforman el acero de refuerzo del concreto, se ajustan a las especificaciones particulares del proyecto y al artículo 650, Estructuras de acero.

Las barandas combinadas cuyo uso sea para peatones y ciclistas, deben cumplir con los requerimientos del numeral 13.10 de la Sección 13 de la Norma Colombiana de Diseño de Puentes.

632.4.4 Manejo ambiental

En adición a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las labores requeridas para la construcción de barandas de concreto se deben realizar te-niendo en cuenta lo establecido en los estudios y evaluaciones ambientales del proyecto, así como en las normas y disposiciones vigentes sobre conservación del ambiente, los recursos naturales y protección de la comunidad.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación, deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades deben incluirse en los costos del proyecto; por tanto, no deben ser objeto de reconocimiento directo en el contrato.

632.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

632.5.1 Controles

El plan de calidad y el plan de inspección, medición y ensayo, son de obligatorio cumplimiento tal como se encuentra expresado en el numeral 103.2 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor.

Resultan aplicables los descritos en el numeral 630.5.1 del artículo 630.

Las barandas en puentes o vías, así como su sistema de conexión al puente o vía, deben

cumplir con el nivel de ensayo contra choque que corresponda al tipo de vía según 13.7.2. de la Norma Colombiana de Diseño de Puentes.

632.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

632.5.2.1 Calidad de los materiales

En relación con la calidad del cemento, adiciones suplementarias, agua, agregados y eventuales aditivos y productos químicos de curado, deben aplicar los requisitos establecidos en el artículo 630, numerales 630.5.1.1, 630.5.1.2, 630.5.1.3, 630.5.1.4 y 630.5.1.6.

En relación con la calidad del acero para el refuerzo, aplican los requisitos establecidos en el artículo 640, numeral 640.5.2.

632.5.2.2 Calidad de la mezcla

En cuanto a la calidad de la mezcla de concreto, incluyendo su resistencia, se debe aplicar lo descrito en el numeral 630.5.2 del artículo 630, excepto lo referente a la ejecución de pruebas de carga a expensas del constructor. En consecuencia, si en caso de discusión, la resistencia de los núcleos tomados de la obra ejecutada no resulta satisfactoria, el interventor debe rechazar la longitud de baranda representada por dichos núcleos y el constructor debe demoler la obra que no cumple especificaciones técnicas o los documentos del proyecto, remover los escombros, cargarlos, transportarlos y depositarlos en sitios aprobados mediante procedimientos satisfactorios para el interventor, y reconstruir la baranda en total acuerdo con el presente artículo; operaciones que se deben efectuar sin costo alguno para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS).

632.5.2.3 Calidad del producto terminado

El interventor solamente debe aceptar tramos de baranda de concreto cuya forma, resistencia y dimensiones, correspondan a las señaladas en los documentos del proyecto o autorizadas por él.

En particular, debe rechazar aquellas piezas que presenten desviaciones que superen el rango de un centímetro (1 cm) en las dimensiones, así como toda baranda cuyo desplazamiento, respecto de la localización indicada en los documentos del proyecto, exceda de cuatro centímetros (4 cm).

El interventor se debe abstener de recibir barandas cuyos bordes y esquinas no estén bien terminados o presenten fisuras, hendiduras, astilladuras u otros defectos.

Toda baranda de concreto donde los defectos de calidad y terminación excedan las tolerancias de la presente especificación, debe ser corregida por el constructor, sin cargo adicional al presupuesto del contrato de obra, de acuerdo con procedimientos aceptados por el interventor.

632.6 Medida

La unidad de medida debe ser el metro (m), aproximado a la décima (0,1), de baranda de concreto realmente terminada en obra, debidamente aceptada por el interventor. El resultado de la medida se debe reportar con la

aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

La medida se debe efectuar a lo largo del eje de la baranda.

No se deben medir, para efectos de pago, longitudes de baranda construida por fuera de los límites indicados en los documentos del proyecto o autorizados por el interventor.

632.7 Forma de pago

El pago se debe realizar al precio unitario del contrato por toda obra ejecutada de acuerdo con esta especificación y aceptada por el interventor.

El precio unitario debe cubrir todos los costos por concepto del suministro, colocación y retiro de formaletas; el suministro de materiales, producción, transporte, colocación y curado del concreto; la señalización preventiva de la vía y el ordenamiento del tránsito automotor a que haya lugar durante la ejecución de los trabajos; todo equipo y mano de obra requeridos para la correcta elaboración y terminación de la baranda, patentes y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución de los trabajos especificados.

El precio unitario debe incluir, también, los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

Solamente debe haber pago separado por concepto del suministro y colocación del acero de refuerzo, actividades que se deben realizar con cargo al artículo 640 y, en caso de barandas mixtas, los elementos metálicos de acuerdo con el artículo 650.

632.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
632.1	Baranda de concreto	Metro (m)

Prefabricados de concreto reforzado de gran formato

Artículo 633 - 22

633.1 Descripción

Este trabajo consiste en la fabricación, transporte e instalación in situ de elementos prefabricados de concreto reforzado de acuerdo con esta especificación, los documentos del proyecto y las instrucciones del interventor. Esta especificación comprende los siguientes elementos prefabricados: box culvert, prelosas colaborantes, puentes peatonales, y vigas pretensadas.

Los box culvert se utilizan como pasos transversales subterráneos de conducción de aguas, pasos peatonales o vehiculares. Este trabajo incluye la instalación del elemento estructural y sus respectivas juntas.

Las prelosas colaborantes se colocan entre las aletas de las vigas de puentes, con el fin de servir de formaleta y hacer parte del tablero o losa superior del puente.

Los puentes peatonales prefabricados incluyen las pilas, columnas, vigas, descansos y rampas, además de sus respectivas conexiones.

Las vigas pretensadas son usadas para conformar los tableros de puentes vehiculares.

Estos elementos pueden tener diferentes secciones transversales, en “I”, Doble T, o en “U”, según las condiciones específicas de cada puente.

633.2 Materiales

Los materiales que se utilicen para la fabricación de los prefabricados de concreto reforzado de gran formato deben cumplir con los requisitos aplicables de las siguientes especificaciones:

- Para el concreto, el artículo 630, Concreto estructural.
- Para el acero de refuerzo, el artículo 640, Acero de refuerzo.
- Para el acero de presfuerzo, el artículo 641, Acero de preesfuerzo.

Los documentos del proyecto deben definir los requisitos de durabilidad, clase de concreto y resistencia, para cada uno de los prefabricados de gran formato de acuerdo con el artículo 630, incluyendo la relación agua/material cementante (a/mc), el tamaño máximo nominal de los agregados, el uso de aditivos, si se requieren, y demás parámetros que definen los tipos y clases de concreto.

Excepto que los documentos del proyecto establezcan valores superiores, el concreto empleado en la construcción de los box culvert y las prelosas colaborantes debe tener una resistencia mínima a la compresión de veintiocho megapascales (28 MPa) a veintiocho (28) días; y para los puentes peatonales y vigas preesforzadas, esta resistencia no debe ser inferior a

treinta y cinco megapascales (35 MPa) a veintiocho (28) días.

El acero de refuerzo y de preesfuerzo deben ser del tipo y la resistencia establecidos en los documentos del proyecto para las diferentes estructuras de concreto.

El uso de aditivos se debe realizar de acuerdo con lo establecido en el numeral 630.2.1.5 del artículo 630. Su uso es responsabilidad del constructor, así haya sido aprobado por el interventor. Los productos para las juntas, cuando el diseño así lo requiera en los documentos del proyecto, deben cumplir con lo establecido en el numeral 630.2.4 del artículo 630.

633.3 Equipo

Es responsabilidad del constructor disponer de equipos para la elaboración del concreto, formaletas, equipos para el tensionamiento del acero, equipos o vehículos apropiados para las operaciones de cargue, manipulación, transporte e instalación de los elementos prefabricados, además de equipos o dispositivos para la ejecución de juntas, actividades de limpieza, toma y ensayo de muestras, entre otros.

633.3.1 Equipo para la elaboración del concreto

Respecto del equipo requerido para la elaboración del concreto, que incluye las actividades de suministro de materiales, fabricación, transporte, colocación, vibrado, curado y acabado del concreto, se deben aplicar los requisitos pertinentes establecidos en el artículo 630.

633.3.2 Formaleta

La formaleta para la fabricación de los prefabricados de gran formato debe ser metálica. Esta debe ser diseñada y construida con el fin de obtener una estructura que cumpla con la forma, los niveles, las dimensiones y tolerancias indicadas en los planos de diseño y en las especificaciones de obra. Las formaletas deben permitir el proceso de vibrado del concreto, ser herméticas para impedir la fuga de la mezcla, estar adecuadamente arriostradas para conservar su posición y forma, y suficientemente soportadas para no dañar la estructura o afectar su seguridad durante el proceso de desencofrado.

Para los elementos de concreto preesforzado la formaleta debe permitir desplazamientos del elemento sin causar daños durante la aplicación de la fuerza de preesforzado.

El uso de formaleta de madera requiere de la aprobación del interventor. El constructor debe demostrar que se obtienen los mismos acabados y calidad del concreto fundido con formaleta metálica. La aprobación del diseño de las formaletas, metálica o de madera, por parte del interventor no exime al constructor de su responsabilidad respecto de la seguridad, calidad y cumplimiento de las especificaciones.

633.3.3 Equipo para tensionamiento del acero

Los gatos hidráulicos para tensionar el acero y demás dispositivos, además de los equipos para corte de los cables, deben cumplir los requisitos pertinentes establecidos en el artículo 641, y en especial lo indicado en el numeral 641.3.

633.3.4 Equipo para el transporte e instalación

El constructor debe disponer de toda la infraestructura, dispositivos de carga, maquinaria, equipos o vehículos necesarios para trasladar materiales y herramientas de un lugar a otro, para izar, desplazar o instalar piezas de gran tamaño y peso en cualquier posición. Estos procedimientos se deben ejecutar de forma segura, sin que se causen daños en los prefabricados o en los elementos receptores, y de

acuerdo con los requerimientos de los documentos del proyecto y esta especificación.

Para el transporte de los prefabricados se requiere de tracto camiones con la capacidad de carga y dimensiones adecuadas, de acuerdo con las características de las piezas por movilizar (cantidad, dimensiones y peso). Deben considerarse las condiciones específicas del proyecto, tales como, las condiciones del terreno, el diseño geométrico vial, restricciones en la vía, y accesos al sitio de la obra, entre otros aspectos.

Para las operaciones de transporte, cuando así se requiera, según sean las dimensiones del elemento por movilizar, si este cataloga como elemento extra-dimensionado o extra-pesado, el constructor debe presentar para aprobación del interventor, la logística de movilización, incluyendo los permisos respectivos, pólizas, vehículos de escolta y demás requisitos de la normatividad legal vigente aplicable para tales condiciones de carga. Los tramites de permisos se deben realizar con suficiente antelación, no menor a treinta (30) días, con el propósito de que se cumpla con la programación prevista en el proyecto.

Para la instalación de los prefabricados se deben seleccionar grúas y equipos de montaje según las magnitudes de las cargas, dimensiones, y elementos por izar. Adicionalmente, se deben disponer de plataformas de apoyo o de elevación, sistemas de comunicación, iluminación, señalización, así como eslingas y elementos auxiliares, todos los cuales deben ser planificados y coordinados por el constructor de tal forma que garantice la seguridad y la correcta ejecución de las actividades.

La selección de los equipos de izado debe ser compatible con el tipo de masas y volúmenes por levantar. Los sistemas de tracción (orugas o llantas) deben ser compatibles con las pendientes del sitio, el tipo de terreno, incidencia de vientos o corrientes de agua y su capacidad de carga. Se deben tener en cuenta posibles esfuerzos adicionales generados por efectos de los momentos de giro de los equipos, los momentos de los tornamesas de los equipos, y los momentos de volcamiento que puedan producir las cargas.

Los vehículos y equipos para el transporte e instalación deben ser aprobados por el interventor. Se debe garantizar el cumplimiento de esta especificación, los requerimientos de los documentos del proyecto, y las disposiciones legales vigentes sobre la circulación de vehículos de carga. Los vehículos deben estar provistos de los elementos necesarios para evitar cualquier afectación a los elementos transportados o sobre las vías de circulación. Todos los equipos y vehículos deben contar con un programa de mantenimiento, y deben cumplir con las disposiciones legales vigentes para control de la contaminación ambiental.

633.4 Ejecución de los trabajos

633.4.1 Programa de trabajo

El constructor debe presentar con suficiente antelación al inicio de las actividades, un programa de trabajo para aprobación del interventor. Este documento debe contemplar como mínimo los siguientes aspectos:

- Listado con la descripción del equipo requerido para las operaciones de fabricación, transporte e instalación de los prefabricados, incluyendo la ficha técnica de los equipos y la verificación de sus capacidades respecto de los elementos por transportar o instalar.

- Descripción de la central o planta de fabricación de los prefabricados, especificando el tipo de planta, su ubicación y demás características técnicas que influyan en la ejecución de las actividades.

- Plan de producción de los prefabricados.

- Proceso constructivo. Se deben describir los procedimientos para la fabricación de los prefabricados. Se debe incluir el procedimiento para garantizar que la resistencia de los elementos, insertos o apoyos sea suficiente ante las solicitaciones generadas por las operaciones de cargue, desplazamiento, manipulación e instalación.

- Plan de seguridad. Se deben especificar las medidas de protección para la seguridad del personal y para el trabajo en alturas según la normatividad vigente, anexando las medidas preventivas y de seguridad para la ejecución de todas las actividades y para el uso de vehículos y equipos.

- Plan de transporte e instalación de los prefabricados. Se debe especificar los procedimientos o maniobras (planos de izado) para las operaciones de cargue, desplazamiento, manipulación e instalación de los elementos, de acuerdo con las condiciones particulares del proyecto. Se debe incluir la descripción de las rutas para el transporte hasta el lugar de instalación de los prefabricados, considerando el recorrido más corto y seguro posible. Se deben incluir los horarios permitidos para las operaciones de circulación e instalación.

- Programa de ejecución.

- Programa de control de calidad.

- Información adicional que el interventor requiera.

El constructor no debe iniciar la construcción de los elementos prefabricados sin la aprobación del programa de trabajo por parte del interventor. Esta aprobación no lo exime de la responsabilidad respecto de la seguridad, calidad del trabajo y cumplimiento de todas las especificaciones.

633.4.2 Fabricación de los prefabricados

La elaboración del concreto y construcción de los prefabricados se debe ejecutar de acuerdo con los requisitos pertinentes de los artículos 630, 640 y 641. Los materiales y procedimientos usados en la producción de los prefabricados deben ser previamente aprobados por el interventor, y deben estar sujetos a inspección durante la ejecución de los trabajos. Se debe garantizar una producción acorde con lo establecido en el programa de trabajo aprobado, cumpliendo con la calidad especificada en los documentos del proyecto, respecto a uniformidad, dimensiones, niveles, detallado del refuerzo, resistencia, anclajes, insertos, juntas, etc.
El área de trabajo debe ser la adecuada para el correcto desarrollo de todas las actividades y para la obtención de los resultados esperados. Debe garantizarse que, en el suelo del área de fabricación, en los bancos de trabajo, y en los soportes para la fundición y tensado, no se produzcan asentamientos o corrimientos que generen deformaciones o esfuerzos no previstos en los elementos prefabricados.

Sólo se debe autorizar la fundición del concreto cuando el interventor haya comprobado las dimensiones de las formaletas, la colocación y ubicación del acero de refuerzo y de preesfuerzo, y los recubrimientos especificados en los planos de construcción. Se debe llevar un registro detallado de cada elemento fundido, con un número de identificación, la fecha de fabricación, la fecha de pretensado, su longitud, y puntos de izado, cómo mínimo.

Los elementos prefabricados deben tener la capacidad de soportar las solicitaciones causadas por las operaciones de cargue, transporte, manipulación e instalación, de tal forma que no se generen roturas ni agrietamientos. Igualmente, no deben presentar deflexiones debidas al peso propio, o pandeo global o local que ocasionen agrietamiento.

El interventor puede solicitar los cambios que considere necesarios para cumplir con las especificaciones de calidad y resistencia de los elementos prefabricados.

Se recomienda seguir los requisitos del MNL-116, Manual for Quality Control for Plants and Production of Structural Precast Concrete Products. Los requisitos de la presente especificación para elementos prefabricados se cumplirá por encima de los encontrados en el manual MNL-116.

633.4.3 Proceso constructivo

El proceso constructivo contempla además de lo establecido en los artículos 630, 640 y 641 respecto de la ejecución de los trabajos como mínimo las siguientes actividades:

- Limpieza, preparación, armado de los moldes, formaletas, equipos y bancos de trabajo con sus partes. Debe retirarse el polvo, residuos o cualquier otra sustancia o elementos que pueda afectar la calidad del prefabricado, además de emplear desmoldante para el encofrado.

- Comprobación continua y registro en formatos de la calidad de los materiales empleados en la producción del concreto.

- Figuración y armado del acero de refuerzo, insertos y demás elementos adicionales conforme a los planos de construcción aprobados. Ubicación y fijación de los distanciadores o separadores para el refuerzo que garanticen la posición de las armaduras y los recubrimientos especificados. El material de estos elementos, la cantidad y su disposición no debe afectar la resistencia, acabado o sección transversal del elemento por fundir. De ser necesario, el refuerzo figurado se debe almacenar en un lugar adecuado para evitar que sea afectado por las condiciones climáticas.

- En elementos preesforzados, todo lo que incluye el proceso de colocación y tensado de los cables se debe realizar según esta especificación y los planos de construcción del proyecto. Este procedimiento debe ser aprobado por el interventor. Se debe especificar el uso de equipos o elementos como devanadores, bancos de trabajo, gatos hidráulicos para tensionamiento, grúas, cabezales, camisas, cuñas, barriletes, manómetros y celdas de carga.

- Limpieza de las armaduras para quitar el polvo, grasa, aceite o cualquier otro producto que pueda afectar la adherencia con el concreto.

- Verificación y aprobación de las armaduras, ductos, niveles, verticalidad de los moldes, insertos y demás elementos a que haya lugar antes de proceder con el vaciado del concreto.

- Preparación del concreto en una planta de producción o central de mezclas, de acuerdo con las dosificaciones del diseño de mezcla aprobado.

- Vaciado del concreto mediante tolva o sistema de bombeo según la aprobación del interventor. Este proceso debe realizarse por capas, sin generar desplazamientos en la formaleta, armaduras o insertos. La consolidación del concreto se realiza mediante un adecuado vibrado, que no produzca segregación de los agregados ni afecte las armaduras, elementos embebidos o la formaleta.

- Preparación de las superficies o caras de los elementos, incluyendo aquellas que requieran rugosidad con el fin de lograr adherencia con el concreto de segunda etapa.

- Muestreo del concreto para verificar la resistencia especificada a la compresión

del concreto y la resistencia mínima para la transferencia de esfuerzos. Se deben realizar ensayos de compresión de cilindros en equipos debidamente certificados. Los cilindros deben ser sometidos a un proceso de curado similar al más desfavorable de las estructuras que representan. El muestreo del concreto se establece de acuerdo con el numeral 633.5.2.2.3.

- El curado del concreto debe seguir los lineamientos del reglamento NSR y de la guía ACI 308, según lo establecido en el artículo 630, respecto de los métodos, procedimientos, materiales y tiempos mínimos de protección y curado del concreto, además del muestreo necesario para determinar la eficiencia del curado. El constructor debe realizar las pruebas que sean necesarias para determinar el método más eficaz y eficiente para el curado de cada uno de los tipos de elemento prefabricado. El método de curado debe ser aprobado por el interventor. En todo caso se debe garantizar que el concreto adquiera la resistencia especificada y no se afecte su durabilidad.

- La transferencia de esfuerzos al concreto en elementos pretensados mediante el corte de los cables, debe ejecutarse cuando se haya alcanzado la resistencia a la compresión mínima especificada en los documentos del proyecto. No se deben usar soldadores de arco eléctrico para el corte de los cables.

- Retiro de la formaleta y de los soportes u obra falsa en un tiempo mayor o igual al permitido para remoción, según las especificaciones para cada elemento, y garantizando que no se vea afectada la resistencia ni se generen afectaciones o deformaciones en los elementos fundidos.

- Preparación de las superficies, apoyos, elementos receptores o terrenos donde se vayan a instalar los elementos prefabricados. Se deben verificar los requerimientos de equipos, de elementos de seguridad, soportes, etc, además del procedimiento para el caso de instalaciones en altura o a profundidades considerables.

- Aprobación de los elementos prefabricados por parte del interventor, previamente al cargue y transporte al sitio de la obra.

Todas las actividades involucradas en el proceso constructivo deben ser revisadas y aprobadas por el interventor.

633.4.4 Manipulación y transporte de los prefabricados

El proceso de cargue y transporte al sitio de la obra de los prefabricados se debe realizar mediante equipos adecuados y tracto camiones, conforme a lo indicado en esta especificación y según los requerimientos del programa de trabajo del proyecto.

Antes del inicio de las actividades de cargue, transporte y montaje, se debe revisar el estado de los equipos y vehículos, verificando su correcto funcionamiento y que estos dispongan de los elementos de seguridad, tales como luces, cinturones de seguridad, espejos, bocinas, alertas de marcha atrás, barras de protección, accesos adecuados, etc. Los vehículos se deben mantener limpios y tener una visibilidad adecuada. Durante el transporte o la ejecución de maniobras se debe cumplir, en todo momento, con las medidas de seguridad por parte de los conductores, operarios y demás personal, mantener la velocidad de circulación u operación adecuada, respetar las señales de tránsito, y cumplir con las instrucciones y procedimiento especificado para cada maniobra.

La manipulación de los prefabricados durante el cargue, transporte e instalación, incluso en actividades previas como el retiro de la formaleta y el curado, debe ser tal que no se produzcan esfuerzos mayores a los considerados

en el diseño para esta condición de servicio, y así evitar fisuras, roturas, descascaramientos o cualquier otro tipo de daño.

Se debe procurar que los elementos que lleguen a la obra sean izados desde el camión en el menor tiempo posible. Si la actividad así lo requiere, se debe almacenar un número suficiente de prefabricados para garantizar la continuidad del montaje.
Durante cualquier operación de manipulación de los prefabricados, estos deben ser cargados o suspendidos en no menos de dos (2) puntos, según lo indicado en los planos aprobados del proyecto. La ubicación y cantidad de estos puntos de apoyo se deben considerar desde la etapa de diseño de cada pieza. Ninguna operación debe comprometer la integridad estructural de los prefabricados ni causar esfuerzos de tensión excesivos.

El interventor debe verificar el cumplimiento de estas condiciones. No se deben realizar operaciones de izado o montaje si las condiciones climáticas son desfavorables, o si la velocidad del viento supera treinta y cinco kilómetros por hora (35 km/h).

El transporte de los prefabricados, desde el sitio de fabricación hasta la obra, solamente se puede ejecutar cuando el concreto haya alcanzado por lo menos un ochenta por ciento (80 %) de la resistencia mínima a la compresión especificada a los veintiocho (28) días, a menos que los documentos del proyecto indiquen una resistencia mayor.

No obstante, se debe verificar que, para ese nivel de resistencia del concreto, las solicitaciones debidas a la manipulación no generen agrietamientos o afecten el comportamiento en servicio de los elementos prefabricados.

De ser necesario almacenar los elementos prefabricados en varios niveles (apilamiento), se debe garantizar que la ubicación de estos y de los soportes empleados sea la correcta, para evitar el deterioro de las piezas por solicitaciones no consideradas en su diseño.

Se debe disponer de un espacio suficiente, protecciones y elementos de soporte adecuados para evitar daños en los prefabricados en el proceso de acopio y durante el tiempo en que estén almacenados.

Se recomienda seguir las disposiciones pertinentes de las normas ASME B30, para la inspección, control y operación de los equipos y elementos de izado.

633.4.5 Instalación de los prefabricados

Los prefabricados sólo pueden ser instalados por autorización del interventor, una vez se verifique que esta actividad no genera sobreesfuerzos ni cualquier otro tipo de daño sobre estos o en alguna de las partes que los conforman, ni en las estructuras o apoyos sobre los cuales se instalan. Previamente, se debe preparar la zona de instalación o los elementos receptores, verificando que se encuentren nivelados, compactados, con la resistencia adecuada, limpios y totalmente dispuestos para el montaje del prefabricado. En el caso de que un elemento prefabricado resulte dañado por cualquier procedimiento inadecuado, durante la manipulación o instalación, debe ser rechazado, y debe ser sustituido por el constructor sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías (INVIAS).

El constructor debe ejecutar el montaje o instalación de los elementos prefabricados, sus conexiones y juntas, donde aplique, mediante los procedimientos descritos en el programa de trabajo (plan de instalación), de acuerdo con los planos de construcción aprobados y bajo la dirección o asesoría permanente de un especialista en esta clase de trabajos. Cualquier modificación en estos procedimientos requiere de la aprobación del interventor.

Para la ubicación del equipo de montaje, antes de realizar cualquier maniobra, el operario

debe revisar las condiciones del terreno, asegurándose de que este sea estable, sin presencia de agua, y se encuentre nivelado para ubicar el vehículo y sus apoyos. Además, se debe verificar que el suelo sea capaz de soportar las presiones transmitidas por el peso de los elementos por izar, de lo contrario, se debe revisar la posibilidad de usar elementos para la distribución de la carga debajo de los estabilizadores o apoyos del equipo. El equipo debe contar con los elementos necesarios para la distribución de la carga que permitan disminuir la presión transmitida al suelo de apoyo.

En el caso de que el terreno donde se requiera apoyar el equipo de montaje sea pendiente se puede adecuar con la colocación de durmientes en la zona de apoyo, verificando que esto no afecte la estabilidad ni la seguridad de las maniobras.

Antes del izado de una carga se debe verificar el peso de esta, la capacidad de la grúa, el radio de giro, el alcance del brazo de carga y la capacidad de los elementos empleados para levantar y sostener la carga. No se puede levantar una carga si el peso de esta supera la capacidad de los elementos de izado en su conjunto.

Se recomienda que equipos como plumas o grúas no levanten más del ochenta por ciento (80%) de su capacidad.

Si durante los procesos de izado o montaje se presentan condiciones climatológicas adversas, como vientos fuertes o tormentas eléctricas, se deben suspender inmediatamente los trabajos.

La primera posición de la grúa o equipo de montaje se debe definir de acuerdo con el sitio de ubicación del prefabricado (desde el camión o sitio de almacenamiento). La instalación de los prefabricados se debe realizar directamente sobre el sitio de disposición final (considerando la posición o profundidad de instalación), desplazando la grúa o equipo con cada elemento por instalar, respetando los radios de giro y verificando la posición de la carga. Todo el procedimiento debe ejecutarse según lo indicado en el plan de instalación. Por seguridad, se debe solicitar el cierre de la zona de intervención o desalojo total del radio de giro durante el tiempo del montaje, a menos que el interventor indique lo contrario.

Una vez el prefabricado esté debidamente instalado, en la posición indicada en el proyecto, estén aprobados los niveles y la verticalidad, se puede proceder a liberar el elemento de los soportes o ganchos del equipo de montaje.

El constructor debe llevar un registro de la instalación de los prefabricados que indique el tipo de elemento instalado, su posición y ubicación en la estructura, edad y resistencia a la compresión, fecha de instalación, las observaciones a que haya lugar debidas al montaje y demás información que solicite el interventor. Este registro debe facilitar la identificación los elementos instalados y la verificación de su estado en cualquier momento del proyecto.

Se deben evitar las cargas prematuras sobre los elementos prefabricados, en sus apoyos o demás partes de la estructura.

El constructor debe retirar sin costo adicional para INVIAS los elementos, dispositivos, equipos o soportes adicionales que hayan sido necesarios para la instalación de los prefabricados.

Los trabajos de manipulación, transporte e instalación de los prefabricados presentan riesgos de operación que deben ser considerados por el constructor. El personal empleado en estas actividades debe demostrar su idoneidad, acreditando experiencia en trabajos similares. El personal debe utilizar correctamente los elementos de protección personal reglamentados para estas labores. El interventor puede ordenar la suspensión de los trabajos si el constructor no atiende estos requerimientos o lo establecido en el plan de seguridad.

633.4.6 Manejo ambiental

Las actividades de fabricación, transporte e instalación de los prefabricados deben ejecutarse considerando lo establecido en los estudios o evaluaciones ambientales del proyecto, las disposiciones vigentes sobre la conservación del medio ambiente y de los recursos naturales. Adicionalmente se deben tener en cuenta los aspectos generales pertinentes indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales.

Las actividades que se ejecuten para dar cumplimiento a esta especificación, respecto de los requisitos ambientales, deben estar incluidas en los costos del proyecto, por lo tanto, no deben ser objeto de reconocimiento directo en el contrato.

El manejo de los residuos debe cumplir con los requisitos legales ambientales vigentes, realizando todos los estudios, trámites, procedimientos y actividades en obra que sean necesarios para cumplir con la normatividad ambiental. Se debe entregar al interventor la documentación de la gestión ambiental.

633.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

633.5.1 Controles

El constructor durante la ejecución de los trabajos debe realizar los siguientes controles principales con la supervisión y aprobación del interventor:

- Comprobar permanentemente, mediante ensayos, que los materiales cumplen con los requisitos de calidad exigidos en la presente especificación.

- Comprobar el cumplimiento de las disposiciones existentes en el artículo 102, Aspectos generales de seguridad y salud.

- Comprobar permanentemente el estado y funcionamiento de los equipos de construcción y de la maquinaria y vehículos empleados en las operaciones de transporte e instalación. Se debe verificar la calibración de los equipos o dispositivos de medición o de aplicación de cargas.

- Tomar muestras de la mezcla elaborada para determinar su resistencia mediante ensayos, de acuerdo con el programa de control de calidad aprobado por el interventor.

- Supervisar la correcta aplicación de los procedimientos de trabajo aprobados.

- Realizar mediciones para verificar las dimensiones de los elementos prefabricados y el cumplimiento de las especificaciones del diseño.

- Verificar el cumplimiento del plan de seguridad en la ejecución de todas las actividades.

- Verificar las rutas para el transporte de los elementos prefabricados hasta el sitio de la obra, de acuerdo con el plan de transporte y los permisos de circulación.

- Verificar el cumplimiento de las normas ambientales requeridas para todas las actividades por ejecutar.

- Medir, para efectos de pago, las cantidades de obra satisfactoriamente ejecutadas e instaladas, de acuerdo con la presente especificación.

Adicionalmente, el interventor, debe adelantar los siguientes controles principales:

- Exigir la presentación y cumplimiento del programa de trabajo por parte del constructor.

- Verificar que el constructor emplee el equipo aprobado para el proyecto.

- Exigir al constructor la adopción de medidas para garantizar la protección de las estructuras aledañas a las zonas de trabajo.

- Ordenar los ensayos y pruebas que sean necesarios para comprobar la calidad de los materiales, la resistencia de los prefabricados, sus partes, juntas o conexiones y la capacidad de carga de los elementos instalados.

- Verificar que la forma de los prefabricados corresponda estrictamente a la indicada en los planos de construcción y que las dimensiones no difieran de las señaladas en los planos por encima de las tolerancias indicadas en los documentos del proyecto.

- Verificar la instalación de los prefabricados, sus conexiones o juntas, según los documentos del proyecto.

Respecto de los laboratorios en donde se realicen los ensayos necesarios para el control de calidad de los materiales y del concreto, se deben cumplir los requisitos pertinentes del numeral 630.5, del artículo 630.

633.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

633.5.2.1 Calidad de los ingredientes de la mezcla y de los productos de curado

En relación con la calidad del cemento, agua, agregados, aditivos y productos de curado, se debe aplicar lo pertinente del artículo 630.

633.5.2.2 Calidad de la mezcla

Se deben cumplir los requisitos para el control de calidad del concreto especificados en el numeral 630.5.2, del artículo 630, respecto de la durabilidad, clase de concreto, curado y otros que el interventor solicite, además de los requisitos para control de calidad de la mezcla.

633.5.2.2.1 Dosificación

Respecto de la dosificación de la mezcla, se deben aplicar los requisitos indicados en el numeral 630.5.2.3, del artículo 630.

633.5.2.2.2 Consistencia

Respecto de la consistencia de la mezcla, se deben aplicar los requisitos indicados en el numeral 630.5.4, del artículo 630.

633.5.2.2.3 Resistencia

Las muestras de concreto para determinar la resistencia especificada a la compresión del concreto deben ser tomadas, elaboradas, curadas y ensayadas según las normas INV E-420/NTC 550 e INV E-410/NTC 673.

Las muestras para los ensayos de resistencia de cada tipo de concreto colocado en obra, se deben tomar por lo menos una (1) vez por cada día de trabajo o cada cuarenta metros cúbicos de concreto (40 m^3) para los elementos prefabricados tipo box culvert. Para las prelosas prefabricadas por lo menos una (1) vez por cada día de trabajo, cada doscientos metros cuadrados (200 m^2) o por cada grupo de cincuenta (50) unidades fabricadas.

En el caso de los elementos que conforman los puentes peatonales (columnas, pilas, rampas, cimentación, descansos, vigas, etc.) y de las vigas pretensadas, se deben tomar muestras para cada unidad de cada uno de los elementos que conforman el puente peatonal o por cada viga pretensada, o por lo menos una (1) vez por cada día de trabajo o cada cuarenta metros cúbicos de concreto (40 m^3), como se indica en la Tabla 633-1.

En todos los casos, se deben tomar las muestras con el criterio que primero se cumpla.

Tabla 633-1. Criterios para la toma de muestras de la mezcla

Prefabricados	Descripción
Box culvert	Por lo menos una (1) vez al día o cada cuarenta metros cúbicos de concreto (40 m^3), lo que se cumpla primero.
Prelosas colaborantes	Por lo menos una (1) vez al día, cada doscientos metros cuadrados de concreto (200 m^2), o por cada grupo de cincuenta (50) prelosas prefabricadas, lo que se cumpla primero.
Puentes peatonales	Para cada elemento de un puente peatonal prefabricado (columnas, pilas, rampas, cimentación, descansos, vigas, etc.), o por lo menos una (1) vez al día o por cada cuarenta metros cúbicos de concreto (40 m^3), lo que se cumpla primero.
Vigas pretensadas	Para cada viga prefabricada, o por lo menos una (1) vez al día o por cada cuarenta metros cúbicos de concreto (40 m^3), lo que se cumpla primero.

Se deben tomar muestras suficientes para determinar la resistencia del concreto a las edades de siete (7) días y veintiocho (28) días, y considerando la posibilidad de que sea necesario descartar algunos cilindros individuales con resistencia fuera del rango permitido.

La resistencia del concreto en cada una de las edades indicadas debe ser evaluada con fines de aceptación o rechazo de acuerdo con lo pertinente, indicado en el numeral 630.5.2.9.

Si no se cumple con los requisitos de resistencia, el interventor debe revisar los elementos prefabricados vaciados con el concreto representado por dichas mezclas para detectar las zonas más débiles y debe requerir al constructor para que tome a su costa núcleos en tales zonas de acuerdo con la norma INV E-418/ NTC 3658, y realice las reparaciones a que haya lugar para garantizar la integridad del elemento y de la estructura.

El interventor puede solicitar, de acuerdo con su criterio o si las condiciones particulares del proyecto así lo requieren, un mayor número de muestras.

633.5.2.3 Acero de refuerzo y de preesfuerzo

No se debe aceptar ninguna tolerancia en relación con la calidad de los aceros, materiales de los ductos y sus accesorios según lo establecido en los artículos 640 y 641 para acero de refuerzo y de preesfuerzo, respectivamente.

En relación con la colocación de las armaduras se aceptan las tolerancias indicadas en los numerales 640.5.2.2, 641.5.2.5 y 641.5.2.6. En relación con el tensionamiento del acero de preesfuerzo se aceptan las tolerancias indicadas en el numeral 641.5.2.7. El uso de mallas electrosoldadas debe contar con la aprobación del interventor.

En los documentos del proyecto se debe demostrar que, en caso de usar acero trefilado, se cumplen con las hipótesis de diseño para el concreto reforzado, y que este tipo de refuerzo no afecta el desempeño sísmico del elemento estructural o su modo de falla. En el diseño estructural se debe tener en cuenta la reducida capacidad de deformación de los alambres trefilados que conforman las mallas, si es el caso, en comparación con el comportamiento dúctil del refuerzo convencional.

El constructor debe presentar certificaciones periódicas originales de los fabricantes o de los proveedores del acero, en las cuáles se demuestre el cumplimiento de las propiedades mecánicas y calidad del refuerzo. Ninguna certificación puede tener una antigüedad superior a treinta (30) días. No obstante, de acuerdo con los artículos 640 y 641, según lo establecido en el reglamento NSR, deben tomarse y ensayarse muestras de los aceros de refuerzo empleados para la construcción de los prefabricados, de todos los diámetros y tipos, por lo menos una vez por cada doscientas toneladas (200 t) de acero de refuerzo utilizado cuando se trate de aceros de fabricación nacional, y cada cien toneladas (100 t) de acero de refuerzo utilizado cuando se trate de aceros importados. Los ensayos se deben realizar de acuerdo con lo especificado en las normas técnicas indicadas en los artículos 640 y 641, según el tipo de acero.

633.5.2.4 Aceptación de los prefabricados

Los elementos prefabricados se aceptan para su instalación, únicamente si cumplen con las dimensiones, tolerancias y características especificadas en los documentos del proyecto, con los requisitos de calidad establecidos anteriormente, y con lo indicado en el numeral 630.5.3, del artículo 630. Las superficies deben ser lisas, uniformes, libres de bordes salientes, hormigueros u otros defectos.

En el caso de los box culvert, se debe garantizar el correcto funcionamiento de las juntas entre secciones. Para estos elementos se debe cumplir lo requerido en la NTC 5672 respecto de la instalación, juntas, tolerancias, y aceptación del prefabricado. La superficie superior de las prelosas colaborantes deben ser rugosas. Estos elementos deben contar con conectores de cortante debidamente diseñados. La eficiencia de estos conectores debe ser comprobada mediante pruebas de carga y deben contar con la aprobación del interventor. En el caso de las vigas y puentes peatonales se debe garantizar el correcto funcionamiento de las conexiones entre las partes y demás sistemas de seguridad estructural y de funcionamiento de la estructura. Los refuerzos de espera o armaduras que queden expuestos para concretos de segunda etapa deben ser debidamente protegidos para evitar la corrosión o su deterioro.

Los prefabricados que no cumplan con los requisitos de calidad, presenten desperfectos superficiales que afecten su desempeño o durabilidad, deformaciones, deficiencias en sus dimensiones, grietas o señales de haber sido averiados durante su manipulación, pueden ser rechazados por el interventor. En todo caso se debe garantizar la integridad estructural del elemento y su durabilidad. El acabado de las superficies de concreto, las juntas y demás requisitos pertinentes para la aceptación de los prefabricados debe cumplir lo indicado en el numeral 630.4 del artículo 630 y en los documentos del proyecto.

633.5.2.5 Transporte e instalación

Se debe aceptar como elemento prefabricado suministrado e instalado, únicamente aquellos colocados en su posición definitiva de acuerdo con los documentos del proyecto y los procedimientos aprobados por el interventor para las operaciones de izado, transporte e instalación. Lo anterior, cumpliendo los requisitos y tolerancias establecidos en la presente especificación.

Todos los trabajos que no se ajusten a lo especificado en el presente artículo, deben ser corregidos por el constructor, sin costo adicional para INVIAS, de acuerdo con las instrucciones del interventor y a plena satisfacción de este.

633.5.2.6 Pruebas de carga

Cuando los documentos del proyecto lo contemplen o a juicio del interventor haya

necesidad de comprobar el comportamiento de los prefabricados, principalmente en vigas, en los elementos de puentes peatonales o en sus conexiones, se deben efectuar ensayos de carga. Los tipos de prueba deben ser los establecidos en los documentos del proyecto o los señalados por el interventor.

633.6 Medida

633.6.1 Suministro de elemento prefabricado de concreto

La unidad de medida para el suministro de elementos prefabricados de concreto estructural (box culvert, prelosas, puentes peatonales y vigas pretensadas) debe ser el metro cúbico (m^3), aproximado a la décima (0,1), de elemento prefabricado suministrado con las características especificadas en los documentos del proyecto y debidamente aprobado por el interventor. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

El volumen de concreto se determina como el producto de la longitud horizontal del elemento prefabricado por el área de su sección transversal o en el caso de las prelosas colaborantes, como el producto del área en planta del elemento por su espesor. Las dimensiones de la sección transversal y el espesor deben ser los especificados en los documentos del proyecto.

No se debe medir, para fines de pago, ninguna obra ejecutada por fuera de las dimensiones o líneas establecidas en los documentos del proyecto. De los volúmenes calculados se deben deducir los correspondientes a las tuberías de drenaje, elementos de acero u otros embebidos, no se deduce el volumen ocupado por el acero de refuerzo y de preesfuerzo.

En la medida se incluyen los elementos prefabricados empleados en las pruebas de carga, definidas en los documentos del proyecto o ejecutadas por solicitud del interventor, así estos elementos no queden incorporados en la estructura.

633.6.2 Acero de refuerzo

La unidad de medida para el acero de refuerzo debe ser el kilogramo (kg), aproximado al entero, de acero de refuerzo realmente suministrado y colocado en el elemento prefabricado de acuerdo con los documentos del proyecto y debidamente aceptado por el interventor. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

La medida no debe incluir el peso de soportes, separadores, silletas de alambre o elementos similares utilizados para mantener el refuerzo en su posición, ni las longitudes de empalme adicionales a las indicadas en los documentos del proyecto. Si se reemplazan barras de refuerzo, por solicitud del constructor y aprobación del interventor y como resultado de esto se suministra una mayor cantidad de acero que el especificado, no se debe incluir en la medida la cantidad adicional.

La medida para las barras de refuerzo se debe basar en la masa calculada para los tamaños y longitudes de barras utilizadas, usando las masas unitarias indicadas en el numeral 640.2.3, del artículo 640. La medida para las mallas de alambre, cuyo uso esté debidamente sustentado en los documentos del proyecto, debe ser el producto del área en metros cuadrados de malla efectivamente incorporada en el elemento prefabricado por su masa real en kilogramos por metro cuadrado (kg/m^2), aproximado al kilogramo entero. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

No se deben medir cantidades en exceso de

las indicadas en los documentos del proyecto o las ordenadas por el interventor.

633.6.3 Acero de preesfuerzo

La unidad de medida del acero de preesfuerzo debe ser la tonelada fuerza-metro (tf-m) efectiva, medida en el centro de la luz, o el kilogramo (kg) de refuerzo, suministrado y correctamente instalado y tensado en el elemento prefabricado de acuerdo con los documentos del proyecto, y debidamente aceptado por el interventor.

La cantidad de toneladas fuerza-metro (tf-m) efectivas se debe precisar multiplicando el número de metros lineales de cable aproximados al centímetro (cm), por el número de toneladas fuerza (tf) efectivas en el centro de la luz. A su vez, el número de toneladas fuerza (tf) efectivas en el centro de la luz se debe determinar con aproximación a la décima (0,1).

Si la medida se realiza por kilogramos (kg), esta se debe efectuar con aproximación al entero.

En todos los casos, el resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método del redondeo de la norma INV E-823.

633.6.4 Transporte de elementos prefabricados de concreto

La unidad de medida para el transporte de elementos prefabricados de concreto debe ser el kilogramo-kilómetro (kg-km), aproximado a la décima (0,1), de elemento debidamente trasladado hasta el sitio de instalación y recibido a satisfacción por el interventor. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

633.6.5 Instalación de elementos prefabricados de concreto

La unidad de medida para el montaje o instalación de elementos prefabricados de concreto debe ser el kilogramo (kg), aproximado a la décima (0,1), de elemento debidamente instalado y recibido a satisfacción por el interventor. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

633.6.6 Pruebas de carga

Las pruebas de carga efectuadas por indicación de los documentos del proyecto o por solicitud del interventor se deben pagar por unidad (u). Si las pruebas se realizan por solicitud del constructor, no se deben medir ni deben tener compensación alguna.

Las pruebas de carga realizadas por dudas en la calidad de los elementos prefabricados no se deben medir ni pagar.

633.7 Forma de pago

633.7 .1 Suministro de elemento prefabricado de concreto

El pago del suministro de elementos prefabricados de concreto se debe realizar respecto a los precios unitarios del contrato y por toda obra ejecutada de acuerdo con los documentos del proyecto y aceptada a satisfacción por el interventor.

El precio unitario de cada elemento prefabricado suministrado debe incluir los costos de todos los materiales y elementos empleados en su fabricación, tales como el concreto, la formaleta, obra falsa, equipos, insertos, juntas, sellos, conexiones, etc., según las dimensiones y características especificadas en los documentos del proyecto. Se exceptúa el costo del acero de refuerzo y de presfuerzo.

Se deben incluir los costos de fabricación, curado, desperdicios y ensayos de control de calidad realizados a los materiales.

En general, se deben incluir todos los costos relacionados con la correcta ejecución de los trabajos para la producción y suministro de los prefabricados.

Para efectos de pago de los elementos prefabricados se debe discriminar el volumen de concreto del elemento y el peso del refuerzo empleados en su fabricación, de acuerdo con lo establecido en 633.6.

El precio unitario debe incluir los costos de administración, imprevistos y utilidad del constructor.

Se deben medir por aparte para efecto de pago, las excavaciones, los rellenos requeridos para la preparación de fundaciones, los rellenos laterales y el suministro e instalación de geotextiles si se requieren.

633.7.2 Acero de refuerzo

El acero de refuerzo se debe pagar de acuerdo con el artículo 640.

633.7.3 Acero de preesfuerzo

El acero de preesfuerzo se debe pagar de acuerdo con el artículo 641.

633.7.4 Transporte de elementos prefabricados de concreto

El precio unitario para el transporte de elementos prefabricados de concreto debe cubrir los costos por concepto de trasladar el elemento, aceptado por el interventor, del sitio de fabricación al lugar de instalación en la obra, y su almacenamiento, de ser necesario, de acuerdo con los requisitos establecidos en esta especificación y las indicaciones del interventor. Se deben incluir todos los costos asociados a las operaciones de cargue, manipulación, transporte y descargue. Se deben incluir los costos de los materiales, personal, equipos, vehículos, trámites, permisos de circulación, escoltas, señalización, soportes, etc.
El costo del transporte se define dependiendo del sitio de producción de los elementos prefabricados. Estos pueden ser producidos en una planta por fuera de las instalaciones de la obra o en una planta localizada en la misma ubicación del sitio de instalación.
Si el constructor utiliza para el transporte una ruta diferente y más larga que la aprobada en el programa de trabajo, el interventor debe tomar, para efectos de pago, la distancia más corta que se definió previamente.

El precio unitario incluye los costos de administración, imprevistos y utilidad del constructor.

633.7.5 Instalación de elementos prefabricados de concreto

El precio unitario para el montaje o instalación de elementos prefabricados de concreto debe cubrir todos los costos de materiales, construcción de obra falsa, instalaciones temporales, equipos, mano de obra, andamios, soportes, etc., asociados a las operaciones de instalación del elemento prefabricado de acuerdo con los requisitos establecidos en esta especificación y las indicaciones del interventor.

Se deben incluir los costos por concepto de preparación de las superficies de apoyo de los equipos (suelos naturales o estructuras) y de los elementos receptores, y los costos de protección de las estructuras aledañas que puedan ser afectadas. Se debe definir el costo de acuerdo con el grado de dificultad del montaje, según la profundidad, altura y facilidad de acceso al sitio final de disposición del elemento prefabricado.

El precio unitario incluye los costos de administración, imprevistos y utilidad del constructor.

633.7.6 Pruebas de carga

El precio unitario de las pruebas de carga debe incluir todos los costos de mano de obra, equipo, instrumentación y materiales requeridos para su correcta ejecución. Para reconocer el pago de las pruebas de carga se requiere que

estas se encuentren contempladas en los documentos del proyecto o sean solicitadas por el interventor.

El precio unitario prevé los costos de administración, imprevistos y utilidad del constructor.

633.8 ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
633.1	Suministro de elemento prefabricado de concreto, tipo _____ (no incluye refuerzo)	Metro cúbico (m^3)
633.2	Acero de refuerzo fy = _____ MPa	Kilogramo (kg)
633.3	Acero de preesfuerzo	Tonelada fuerza-metro (tf-m)
633.4	Acero de preesfuerzo	Kilogramo (kg)
633.5	Transporte de elementos prefabricados de concreto	Kilogramo kilómetro (kg-km)
633.6	Instalación de elementos prefabricados de concreto	Kilogramo (kg)
633.7	Prueba de carga tipo _____	Unidad (u)

Nota: Se debe elaborar un ítem de pago para cada tipo de elemento prefabricado, de acuerdo con sus características y tipo de concreto especificados, y por cada tipo de prueba de carga que contemplen los documentos del proyecto o solicite el interventor.

Acero de refuerzo

Artículo 640 – 22

640.1 Descripción

Este trabajo consiste en el suministro, transporte, almacenamiento, corte, doblamiento y colocación de barras de acero en estructuras de concreto, en concordancia con los documentos del proyecto y esta especificación.

640.2 Materiales

640.2.1 Barras de refuerzo

Deben cumplir las que sean pertinentes de las siguientes normas, según se establezca en los documentos del proyecto: NTC 161, ASTM A615 (Grado 420), NTC 2289 (ASTM A706), NTC 4013 (ASTM A767), ASTM A996, ASTM A955, ASTM A1035 y ASTM A184.

Las barras de refuerzo galvanizadas deben cumplir con la NTC 4013 (ASTM A767); las barras con recubrimiento epóxico con el numeral 9.2.2. de la norma AASHTO LRFD Bridge Construction Specifications y con la NTC 4004 (ASTM A775) o la norma ASTM A934; las barras que se vayan a galvanizar deben cumplir con la NTC 2289 (ASTM A706).

En caso de usar barras de acero reciclado, proveniente de rieles o ejes, este debe ser tipo R, acorde con la norma ASTM A996 (Grado 420).

Las barras de acero inoxidable deben ser corrugadas y cumplir con la norma ASTM A955.

El acero utilizado en el refuerzo para concreto compuesto por fibras dispersas de acero, debe ser corrugado y cumplir con la NTC 5214 (ASTM A820). Las fibras de acero, a su vez, deben tener una relación longitud-diámetro no menor a cincuenta (50) y no mayor a cien (100).

El refuerzo liso solo se debe permitir como refuerzo de espirales no preesforzado, siempre y cuando así esté contemplado en los documentos del proyecto. Este refuerzo solo se debe permitir en los casos admitidos por el ACI 318, Requisitos de reglamento para concreto estructural.

640.2.2 Mallas electrosoldadas

Los alambres para mallas y las mallas en sí, deben cumplir con las normas NTC 5806 (ASTM A1064) y ASTM A1022.

Las mallas con recubrimiento epóxico, con la norma ASTM A884.

Las mallas galvanizadas deben cumplir con la norma ASTM A1060.

En mallas de alambre liso, las intersecciones soldadas no deben estar espaciadas a más de trescientos milímetros (300 mm), ni a más de cuatrocientos milímetros (400 mm) en mallas de alambre corrugado, excepto cuando las mallas se utilizan como estribos.

Se debe permitir el uso de alambre corrugado de los tamaños MD25 a MD200.

Se puede sustituir el refuerzo de alambre soldado con barras de refuerzo en los siguientes casos: recubrimiento de taludes y zanjas revestidas, muros de contención, barreras de hormigón, aceras, bordillos y cunetas en estructuras, adiciones estéticas no estructurales, muros de cabecera de alcantarillas, muros de extremo y muros de alas o aletas, concreto lanzado, sobrecapas de cubiertas. Si el refuerzo de alambre soldado no proporciona el área de acero requerida, se puede completar con barras de refuerzo

640.2.3 Masas teóricas de las barras de refuerzo

Para efectos de la comprobación de la designación y del pago de las barras, se deben considerar las masas unitarias que se indican en las Tablas 640 – 1 y 640 – 2.

Tabla 640 – 1. Masa de las barras por unidad de longitud (diámetros basados en octavos de pulgada)

Barra	Diámetro nominal		Masa (kg/m)
	(mm)	(pulgadas)	
Nro. 2	6,4	1/4	0,250
Nro. 3	9,5	3/8	0,560
Nro. 4	12,7	1/2	0,994
Nro. 5	15,9	5/8	1,552
Nro. 6	19,1	3/4	2,235
Nro. 7	22,2	7/8	3,042
Nro. 8	25,4	1	3,973
Nro. 9	28,7	1 1/8	5,060
Nro. 10	32,3	1 1/4	6,404
Nro. 11	35,8	1 3/8	7,907
Nro. 14	43,0	1 3/4	11,380
Nro. 18	57,3	2 1/4	20,240

Tabla 640 – 2. Masa de las barras por unidad de longitud (Diámetros basados en milímetros)

Barra	Diámetro nominal	Masa (kg/m)
	(mm)	
6M	6,0	0,22
8M	8,0	0,39
10M	10,0	0,62
12M	12,0	0,89
16M	16,0	1,58
18M	18,0	2,00
20M	20,0	2,47
22M	22,0	2,98
25M	25,0	3,85
32M	32,0	6,31
45M	45,0	12,48
55M	55,0	18,64

Los números de designación son iguales al número de octavos de pulgada del diámetro nominal de referencia. La letra M indica que son diámetros nominales en milímetros (mm).

640.3 Equipo

Se requiere de equipo adecuado para el corte y el doblado de las barras de refuerzo.

Si se autoriza el empleo de soldadura, el constructor debe disponer del equipo apropiado para dicha labor y de personal capacitado para la misma, el cual debe contar con el respectivo certificado de calificación de soldador vigente y válido para el tipo de procedimiento que debe efectuar en concordancia con la AWS. Se debe requerir, además, la certificación del fabricante del acero que indique que el producto es apto para ser soldado.

Se deben requerir, además, elementos que permitan asegurar correctamente el refuerzo en su posición, así como herramientas menores.

640.4 Ejecución de los trabajos

Se deben tener en cuenta las exigencias del ACI 318 y de la Norma Colombiana de Diseño de Puentes, en sus versiones vigentes, en todos los aspectos que resulten aplicables.

640.4.1 Planos y despiece

Antes de cortar el material según las formas indicadas en los documentos del proyecto, el constructor debe verificar además de las dimensiones y longitudes de los elementos en obra, las listas de despiece y los diagramas de doblado. Si los documentos del proyecto no los muestran, las listas y los diagramas deben ser preparados por el constructor para someterlos a la aprobación del interventor, pero tal aprobación no exime a aquel de su responsabilidad por la exactitud de los mismos. En este caso, el constructor debe contemplar el costo de la elaboración de las listas y los diagramas mencionados, dentro de los precios de su oferta.

Si el constructor desea replantear una junta de construcción en cualquier parte de una estructura para la cual el interventor le haya suministrado planos de refuerzo y listas de despiece, y dicho replanteo es aprobado por el interventor, el constructor debe revisar, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), los planos y las listas de despiece que correspondan a la junta propuesta, y someter las modificaciones respectivas para aprobación del interventor, al menos treinta días (30 d) antes de la fecha prevista para el corte y el doblamiento del refuerzo para dicha parte de la obra. Si, por cualquier razón, el constructor no cumple con este replanteo, la junta y el refuerzo correspondientes deben ser dejados sin modificación alguna, según se muestre en los documentos del proyecto.

640.4.2 Suministro y almacenamiento

Todo envío de acero de refuerzo que llegue al sitio de la obra o al lugar donde vaya a ser doblado, debe estar identificado con etiquetas en las cuales se indiquen la fábrica, el grado del acero y el lote o colada correspondiente.

El acero debe almacenarse en forma ordenada por encima del nivel del terreno, sobre plataformas, largueros u otros soportes de material adecuado y debe ser protegido contra daños

mecánicos y deterioro superficial, incluyendo los efectos de la intemperie, manteniéndolo en un ambiente seco, ventilado y fuera de ambientes corrosivos.

640.4.3 Doblamiento

Las barras de refuerzo deben doblarse en frío, de acuerdo con las listas de despiece aprobadas por el interventor. Los diámetros mínimos de doblamiento, medidos en el interior de la barra, con excepción de flejes y estribos, no deben ser menores que los indicados en la Tabla 640 – 3.

El diámetro mínimo de doblamiento para estribos no debe ser menor que los indicados en la Tabla 640 – 4.

El doblamiento de las barras se debe realizar en frío y a una velocidad moderada y debe evitarse el doblado a temperaturas inferiores a cinco grados Celsius (5 °C).

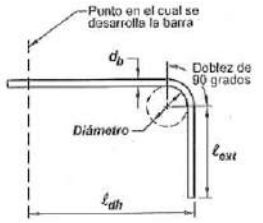
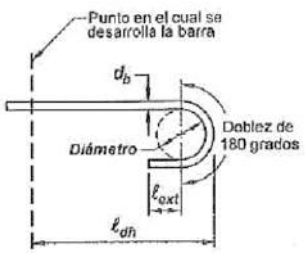
Barras o mallas galvanizadas deben repararse en sus extremos acorde con la NTC 6092 (ASTM A780), cuando sean cortadas o cuando su recubrimiento de galvanización sea removido o dañado. No se deben admitir barras con más del dos por ciento (2 %) de área superficial dañada.

640.4.4 Colocación y amarre

Todo acero de refuerzo al ser colocado en la obra y antes de la fundición del concreto, debe estar libre de polvo, escamas de óxido, rebabas, pintura, aceite, grasa o cualquier otro tipo de suciedad que pueda afectar la adherencia del acero en el concreto. Todo mortero seco debe ser quitado del acero.

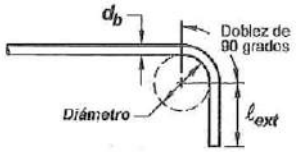
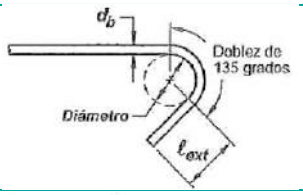
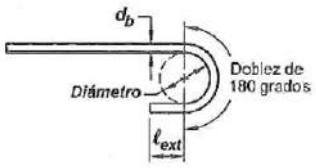
Las barras se deben colocar con exactitud, de acuerdo con las indicaciones de los documentos del proyecto, y se deben asegurar firmemente en las posiciones señaladas, de manera que no sufran desplazamientos durante la

Tabla 640 – 3. Geometría del gancho estándar para el desarrollo de barras corrugadas a tracción

Tipo de gancho estándar	Diámetro de la barra	Diámetro interior mínimo de doblado (mm)	Extensión recta [1], ℓ_{ext} (mm)	Tipo de gancho estándar
Gancho de noventa grados (90°)	Nro. 10 a nro. 25	6_{db}	12_{db}	
	Nro. 29 a nro. 36	8_{db}		
	Nro. 43 y nro. 57	10_{db}		
Gancho de ciento ochenta grados (180°)	Nro. 10 a nro. 25	6_{db}	Mayor de 4_{db} y 65 mm	
	Nro. 29 a nro. 36	8_{db}		
	Nro. 43 y nro. 57	10_{db}		

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

Tabla 640 – 4. Diámetro mínimo interior de doblado y geometría del gancho estándar para estribos y estribos cerrados de confinamiento

Tipo de gancho estándar	Diámetro de la barra	Diámetro interior mínimo de doblado (mm)	Extensión recta [1], ℓ_{ext} (mm)	Tipo de gancho estándar
Gancho de noventa grados (90°)	Nro. 10 a nro. 16	4_{db}	Mayor de 6_{db} y 75 mm	
	Nro. 19 a nro. 25	6_{db}	12_{db}	
Gancho de ciento treinta y cinco grados (135°)	Nro. 10 a nro. 16	4_{db}	Mayor de 6_{db} y 75 mm	
	Nro. 19 a nro. 25	6_{db}		
Gancho de ciento ochenta grados (180°)	Nro. 10 a nro. 16	4_{db}	Mayor de 4_{db} y 65 mm	
	Nro. 19 a nro. 25	6_{db}		

colocación y el fraguado del concreto. Las tolerancias en la posición de todo tipo de refuerzo deben cumplir con las especificaciones establecidas en ACI 117, Especificación para la tolerancia de estructuras de concreto y materiales. La posición del refuerzo dentro de las formaletas debe ser mantenida por medio de tirantes, bloques, silletas de metal, espaciadores o cualquier otro soporte aprobado por el interventor. Los bloques deben ser de mortero de cemento prefabricado o de concreto, de calidad, forma y dimensiones aprobadas, con una resistencia igual a la especificada para el elemento de concreto. Las silletas de metal que entren en contacto con la superficie exterior del concreto, deben ser galvanizadas. No se debe permitir el uso de guijarros, fragmentos de piedra o de ladrillo, tubería de metal o bloques de madera.

Las barras deben amarrarse con alambre en todas las intersecciones, excepto en el caso de espaciamientos menores de trescientos milí-metros (300 mm), para lo cual se deben amarrar alternadamente. El alambre usado para el amarre debe ser del tipo negro calibre número dieciocho (nro. 18). No se debe admitir la soldadura en las intersecciones de las barras de refuerzo.

Si el refuerzo de malla se suministra en rollos para ser usados en superficies planas, la malla debe ser enderezada en láminas planas, antes de su ubicación.

Cuando se coloquen dos (2) o más filas de barras, las barras de las filas superiores deben colocarse directamente encima de las de la fila inferior y la separación libre entre filas no debe ser menor de veinticinco milímetros (25 mm).

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

La distancia libre mínima entre barras paralelas de una capa, debe ser la mayor entre veinticinco milímetros (25 mm), o el diámetro de la barra mayor, o uno coma treinta y tres (1,33) veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso.

Estos requisitos se deben cumplir, también, en la separación libre entre un empalme por traslapo y otros empalmes u otras barras.

Además, se deben cumplir con los recubrimientos mínimos especificados en el ACI 318 y de la Norma Colombiana de Diseño de Puentes, cumpliendo con las tolerancias máximas exigidas en ACI 117 o del ACI 318.

El interventor debe revisar y aprobar el refuerzo de todas las partes de las estructuras, antes de que el constructor inicie la colocación del concreto.

640.4.5 Traslapos y uniones

Los traslapos de las barras de refuerzo deben cumplir los requisitos establecidos en el ACI 318 y en la Norma Colombiana de Diseño de Puentes y se deben efectuar en los sitios mostrados en los documentos del proyecto o donde lo indique el interventor, debiendo ser localizados de acuerdo con las juntas del concreto.

El constructor puede introducir traslapos y uniones adicionales, en sitios diferentes a los mostrados en los documentos del proyecto , siempre y cuando dichas modificaciones sean aprobadas por el diseñador estructural y el interventor, que los traslapos y uniones en barras adyacentes queden alternados según su exigencia, y que el costo del refuerzo adicional requerido sea asumido totalmente por el constructor.

En los traslapos, las barras deben quedar colocadas en contacto entre sí, amarrándose con alambre, de manera que mantengan la alineación y su espaciamiento dentro de las distancias libres mínimas especificadas en relación con las demás varillas y las superficies del concreto.

El constructor puede reemplazar las uniones traslapadas por uniones soldadas empleando soldadura que cumpla las normas de la American Welding Society (AWS) D1.4. En tal caso, los soldadores deben estar certificados y calificados para el tipo de unión especificada, los procedimientos deben precalificarse por el interventor de acuerdo con los requisitos de la AWS y las juntas soldadas deben ser revisadas radiográficamente o por otro método no destructivo que esté contemplado por la práctica. El costo de este reemplazo y el de las pruebas de revisión del trabajo así ejecutado, debe correr por cuenta del constructor.

Las láminas de malla o parrillas de varillas se deben traslapar suficientemente entre sí, para mantener una resistencia uniforme y deben asegurarse en los extremos y bordes. El traslapo de mallas debe ser mínimo uno coma tres (1,3) la longitud de desarrollo requerida y debe cumplir con ACI 318.

640.4.6 Cuantías del refuerzo

Se deben cumplir en toda sección de un elemento estructural, las disposiciones de

cuantías máximas y mínimas establecidas en el ACI 318 y en la Norma Colombiana de Diseño de Puentes.

640.4.7 Sustituciones

La sustitución de cuantías de refuerzo solo se puede efectuar con autorización del diseñador estructural. En tal caso, el acero sustituido debe tener un área y perímetro equivalentes o mayores que el área y perímetro de diseño, sin exceder los límites establecidos en el numeral 640.4.6.

640.4.8 Manejo ambiental

En adición a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las labores requeridas para el suministro, almacenamiento, transporte e instalación de acero estructural, se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en los estudios y evaluaciones ambientales del proyecto, así como en las normas y disposiciones vigentes sobre conservación del ambiente, los recursos naturales y protección de la comunidad.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación, deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades deben incluirse en los costos del proyecto, por tanto, no son objeto de reconocimiento directo en el contrato.

640.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

640.5.1 Controles

El plan de calidad y el plan de inspección, medición y ensayo, son de obligatorio cumplimiento tal como se encuentra expresado en el numeral 103.2 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor.

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y funcionamiento del equipo de construcción.
- Constatar el cumplimiento de las disposiciones existentes en el artículo 102, Aspectos generales de seguridad y salud.
- Comprobar que los materiales por utilizar cumplan con los requisitos de calidad exigidos por la presente especificación; para tal efecto, se deben realizar los ensayos especificados en ACI 318 y la Norma Colombiana de Diseño de Puentes y constatar que se cumpla con los ensayos especificados en 640.5.2.1
- Verificar que el corte, doblado, colocación y cuantía del refuerzo se efectúen de acuerdo con los documentos del proyecto, con esta especificación y con sus instrucciones.
- Comprobar que cuando se sustituya el refuerzo indicado en los documentos del proyecto, se cuente con el aval del diseñador estructural responsable.
- Efectuar las medidas correspondientes para el pago del acero de refuerzo correctamente suministrado y colocado.

640.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

640.5.2.1 Calidad del acero

Las barras y mallas de refuerzo deben ser ensayadas en fábrica y sus resultados deben

satisfacer los requerimientos de las normas correspondientes NTC, ASTM o AASHTO relacionadas en el numeral 640.2.

El constructor debe suministrar al interventor una certificación de los resultados de los análisis químicos y pruebas físicas realizadas por el fabricante para el lote correspondiente en cada envío de refuerzo a la obra. En caso de que el constructor no cumpla con este requisito, el interventor puede ordenar, a expensas de aquel, la ejecución de todos los ensayos que considere necesarios sobre el refuerzo, antes de aceptar su utilización, acorde con los volúmenes y frecuencias establecidas en el ACI 318 y en la Norma Colombiana de Diseño de Puentes.

Deben tomarse muestras de los aceros de refuerzo utilizados en la obra, de todos los diámetros de barra utilizados, por lo menos una vez por cada doscientas toneladas (200 t) de acero de refuerzo utilizado, cuando se trate de aceros de fabricación nacional, y cada cien toneladas (100 t) de acero de refuerzo empleado, cuando se trate de aceros importados, para ser ensayados a tensión. Los ensayos se deben realizar de acuerdo con lo especificado en la NTC 3353 (ASTM A370), NTC, ASTM o AASHTO referenciadas en 640.2, correspondiente a cada tipo de acero.

Cuando se autorice el empleo de soldadura para las uniones, su calidad y la del trabajo ejecutado, se deben verificar de acuerdo con lo indicado en el numeral 640.4.5.

Las varillas que tengan fisuras o hendiduras en los puntos de flexión, deben ser rechazadas.

640.5.2.2 Calidad del producto terminado

La tolerancia en la colocación del acero de refuerzo debe cumplir las máximas permitidas por el ACI 117.

Se deben aceptar las siguientes tolerancias en la colocación del acero de refuerzo:

640.5.2.2.1 Desviación en el espesor de recubrimiento

- Con recubrimiento menor o igual a setenta y cinco milímetros (≤ 75 mm): cinco milímetros (5 mm).
- Con recubrimiento superior a setenta y cinco milímetros (> 75 mm): diez milímetros (10 mm).

640.5.2.2.2 Desviación en los espaciamientos prescritos

Se debe cumplir lo indicado en el numeral 640.4.4.

640.5.2.2.3 Área

No se debe permitir la colocación de acero con áreas y perímetros inferiores a los de diseño.

Todo defecto de calidad o de instalación que exceda las tolerancias de esta especificación, debe ser corregido por el constructor, sin costo alguno para INVÍAS, de acuerdo con procedimientos aceptados por el interventor.

640.6 Medida

La unidad de medida debe ser el kilogramo (kg), aproximado al entero, de acero de refuerzo para estructuras de concreto realmente

suministrado y colocado en obra y debidamente aceptado por el interventor. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

La medida no debe incluir el peso de soportes, separadores, silletas de alambre o elementos similares utilizados para mantener el refuerzo en su sitio; ni los empalmes adicionales a los indicados en los documentos del proyecto, que hayan sido autorizados por el interventor, para conveniencia del constructor.

Tampoco se debe medir el acero específicamente estipulado, para pago en otras unidades de obra del contrato.

Si se sustituyen barras a solicitud del constructor y como resultado de ello se usa más acero del que se ha especificado, no se debe medir la cantidad adicional.

La medida para barras se debe basar en la masa computada para los tamaños y longitudes de barras utilizadas, usando las masas unitarias indicadas en las Tablas 640 – 1 y 640 – 2.

La medida para malla de alambre debe ser el producto del área en metros cuadrados de malla efectivamente incorporada y aceptada en la obra por su masa real en kilogramos por metro cuadrado (kg/m^2), aproximado al kilogramo entero. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

No se deben medir cantidades en exceso de las indicadas en los documentos del proyecto o las ordenadas por el interventor.

640.7 Forma de pago

El pago se debe realizar al precio unitario del contrato por toda obra ejecutada, de acuerdo con esta especificación y aceptada por el interventor.

El precio unitario debe cubrir todos los costos por concepto de suministro, ensayos, transportes, almacenamiento, corte, desperdicios, doblamiento, limpieza, colocación y fijación del refuerzo y por la mano de obra, materiales, patentes, equipos e imprevistos necesarios para terminar correctamente el trabajo, de acuerdo con los documentos del proyecto, con esta especificación y lo aprobado por el interventor.

El precio unitario debe incluir también, todos los costos por concepto de elaboración de listas de despiece y diagramas de doblado cuando ellos no hayan sido suministrados, por el suministro e instalación de abrazaderas, separadores, silletas de alambre o cualquier otro elemento utilizado para sostener y mantener el refuerzo en su sitio, así como los de la señalización preventiva de la vía y el ordenamiento del tránsito automotor durante la ejecu-ción de los trabajos y todo costo relacionado con la correcta ejecución de los trabajos especificados.

El precio unitario debe incluir también, la administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

No debe haber lugar a pago separado por el acero de refuerzo para concreto colocado con el propósito de reemplazar estructuras de concreto que se deterioren o queden defectuosas o en el concreto que el constructor

haya utilizado para su conveniencia con o sin autorización del interventor. Tampoco se debe pagar por separado el acero cuyo pago se haya estipulado en otras unidades de obra del contrato, ni por los trabajos de soldadura que se autoricen para uniones soldadas en reemplazo de uniones traslapadas.

640.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
640.1	Acero de refuerzo fy = ____ MPa	Kilogramo (kg)
640.2	Malla de refuerzo fy = ____ MPa	Kilogramo (kg)

Nota: se debe elaborar un ítem de pago para resistencia de acero que se especifique en el proyecto.

Acero de preesfuerzo

Artículo 641 – 22

641.1 Descripción

Este trabajo consiste en el suministro, colocación y tensionamiento de acero de preesfuerzo, de acuerdo con los detalles indicados en los documentos del proyecto y las exigencias de esta especificación. Consiste, además, en el suministro e instalación de todos los accesorios necesarios para los diferentes sistemas de preesfuerzo usados, incluyendo ductos, ancla-jes e inyecciones de lechada.

641.2 Materiales

641.2.1 Acero de preesfuerzo

El acero de preesfuerzo consiste en cables de acero de alta resistencia de siete (7) alambres, alambre de acero de alta resistencia o barras de alta resistencia del tipo y grado especificados en los documentos del proyecto o en las especificaciones que se mencionan a continuación.

Si los documentos del proyecto solo indican las fuerzas de preesfuerzo y las ubicaciones de aplicación, la selección del tamaño y tipo de acero debe corresponder al constructor. Dicha selección debe contar con la aprobación del diseñador conforme con el numeral 5.4.4.1. de la Norma Colombiana de Diseño de Puentes y la aprobación del interventor.

641.2.1.1 Cables

Los cables (torones) de siete (7) alambres de baja relajación, sin revestimiento, deben cumplir lo especificado en las normas AASHTO M 203, NTC 2010 (ASTM A416).

641.2.1.2 Alambres

Los alambres de acero sin recubrimiento, deben cumplir los requisitos de las normas AASHTO M 204, NTC 159 o ASTM A421.

641.2.1.3 Barras

Las barras de alta resistencia sin recubrimiento, deben cumplir los requisitos de las normas AASHTO M 275, NTC 2142 o ASTM A722. Se pueden usar barras con resistencia última mayor a la señalada en las normas anteriores, siempre y cuando se demuestre que poseen propiedades superiores a las especificadas y sea autorizado su uso por el diseñador estructural.

Todo cable, alambre o barra que se remita al sitio, debe tener un número de envío para efectos de identificación. Los anclajes se deben identificar de igual manera.

Cada lote de alambre o barras y cada rollo de cable, deben estar acompañados de un certificado de fábrica que incluya: características técnicas, composición química, sección

transversal, esfuerzos de fluencia y último, elongación a la rotura, módulo de elasticidad, y curva esfuerzo deformación del acero que se pretende utilizar. La resistencia real del acero de preesfuerzo no debe ser menor que la especificada en los diseños y en la norma aplicable, y las pruebas se deben realizar según los procedimientos de dicha norma.

641.2.2 Anclajes y acoples

Todos los anclajes y acoples deben desarrollar al menos el noventa y cinco por ciento (95 %) de resistencia última especificada para el acero de preesfuerzo, al ser probados antes de adherirlos, sin exceder el asentamiento del anclaje esperado en el diseño. Los acoples de tendones no deben reducir la elongación de rotura por debajo de los requisitos del tendón mismo. Los acoples o sus componentes deben estar encerrados en camisas que permitan los movimientos necesarios. Los acoples solamente se pueden utilizar en los sitios mostrados en los documentos del proyecto o aprobados por el diseñador y el interventor. No se pueden emplear en sitios donde se presenten fuertes curvaturas de los torones.

Los dispositivos de anclaje para cables no adheridos, deben ser capaces de transmitir al concreto una carga igual a la capacidad del cable bajo las condiciones de carga estática y cíclica. Se deben verificar los asentamientos en los anclajes acorde con lo exigido en el numeral 5.9.5.2.1. de la Norma Colombiana de Diseño de Puentes.

Para sistemas adheridos, se realizan dos (2) pruebas dinámicas en un espécimen de acople y anclaje representativo, los tendones deben soportar sin falla quinientos mil (500 000) ciclos del sesenta al sesenta y seis por ciento (60 % – 66 %) de su resistencia ultima mínima especificada y cincuenta (50) ciclos del cuarenta al ochenta por ciento (40 % – 80 %) de su resistencia ultima mínima especificada. Se pueden usar diferentes especímenes para cada en-sayo.

Para aceptación de los dispositivos de anclaje, el interventor puede ordenar la ejecución de las pruebas especificadas en el numeral 10.3.2.3 de AASHTO LRFD Bridge Construc-tion Speci-fications, las cuales debe ejecutar el constructor, sin costo adicional con cargo al contrato de obra celebrado por el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS). Por tanto, en la elaboración del presupuesto de obra, el constructor debe tener en cuenta esta especi-ficación para que no se afecte la economía del contrato durante la ejecución.

Los acoples deben alojarse en cajas suficien-temente largas para permitir los movimientos necesarios.

Cualquier refuerzo suplementario requerido en la zona local del anclaje, para resistir concen-traciones de esfuerzos en la vecindad de este, que sea dependiente de la configuración del anclaje, debe ser considerado parte integrante del anclaje. Dicho refuerzo debe diseñarse por el proveedor del anclaje, y colocado adicional-mente al refuerzo general de la zona que se muestre en los documentos del proyecto.

641.2.3 Ductos

Los ductos utilizados para proveer las cavida-des en el concreto, para la colocación de cables de postensionamiento, pueden estar

formados bien sea por núcleos removibles o por ductos rígidos o semirrígidos que se deben colocar dentro del concreto. Los ductos formados por núcleos removibles, no deben tener reducciones que tiendan a cerrar el paso de la lechada. Todos los materiales del núcleo de-ben removerse. Los ductos formados, que deban quedar embebidos, no deben permitir el paso de la lechada, deben ser capaces de transferir los esfuerzos de contacto y deben conservar su forma bajo el peso del concreto, manteniendo el alineamiento sin pandeos visibles durante el vaciado del concreto.

641.2.3.1 Ductos metálicos

Los ductos laminados deben ser metálicos, a menos que se apruebe algo diferente; de metal ferroso galvanizado y fabricados con uniones soldadas o trabadas. No se requiere la galvanización de la unión soldada. Los ductos rígidos deben tener paredes interiores suaves y deben ser capaces de resistir curvaturas hasta los límites requeridos, sin sufrir achatamiento. Los ductos semirrígidos deben ser corrugados, y cuando los tendones sean insertados con posterioridad a la colocación del concreto, el espesor mínimo de pared debe ser calibre veintiséis (26) para ductos de diámetros menores o iguales a sesenta y siete milímetros (67 mm), y calibre veinticuatro (24) para diámetros mayores. Cuando los tendones son preensamblados con dichos ductos, el espesor de pared del ducto no debe ser inferior al calibre treinta y uno (31).

641.2.3.2 Ductos plásticos

Como alternativa a los ductos metálicos, los ductos para tendones transversales en placas de piso y en otros sitios mostrados en los documentos del proyecto o aprobados por el interventor, pueden ser de polietileno de alta densidad, de acuerdo con la NTC 2935 (ASTM D3350), con una clasificación de celda de 345464A. Los ductos de polietileno no se pueden usar cuando el radio de curvatura del tendón sea inferior a nueve metros (9 m).

Si se usan ductos de polipropileno, deben cumplir con la NTC 2966 (ASTM D4101) con una clasificación de celda entre PP0340B14541 a PP0340B67884. Usar resina conteniendo antioxidantes con un tiempo mínimo de inducción de oxidación (OIT) acorde con la norma ASTM D3895 de no menos de veinte minutos (20 min). Los ductos de polipropileno no se pueden usar cuando el radio de curvatura del tendón sea inferior a nueve metros (9 m).

Los ductos semirrígidos de polietileno, que se usen completamente embebidos en el concreto, deben ser corrugados, con un espesor mínimo de material de uno coma tres milímetros más o menos cero coma tres milímetros (1,3 mm ± 0,3 mm). Tales ductos deben tener una cubierta exterior blanca, o ser de material blanco con estabilizadores ultravioletas incorporados.

Los ductos rígidos de polietileno para uso donde el tendón no esté embebido en el concreto, deben ser de tubería rígida fabricada según la NTC 2935 (ASTM D3350) con una clase de celda mínima de 344464C. Una resina conteniendo antioxidantes con un tiempo mínimo de inducción de oxidación (OIT) acorde con la norma ASTM D3895 de no menos de cuarenta minutos (40 min). Estos

ductos deben tener una relación diámetro/espesor de pared de diecisiete (17) conforme con ASTM D3895 o ASMT F714.

Para aplicaciones donde los ductos de polietileno estén expuestos a la luz solar o ultravioleta, se debe incorporar un compuesto negro de carbón a la resina de polietileno del ducto, para proveer resistencia a la degradación por luz ultravioleta (Clase D) de acuerdo con la norma ASTM D 1248.

641.2.3.3 Área de ductos

El diámetro interior de los ductos debe ser al menos de seis coma treinta y cinco milímetros (6,35 mm) mayor que el diámetro nominal del alambre, barra o cable o, en el caso de tendones de varios cables, el área del ducto debe ser al menos dos (2) veces el área neta del acero de preesfuerzo. Cuando los tendones se coloquen por el método de halado a través del ducto, el área del ducto debe ser al menos dos coma cinco (2,5) veces al área neta del acero de preesfuerzo.

El tamaño de los ductos no debe ser mayor que cero coma cuatro (0,4) veces el menor espesor bruto del concreto en el sitio del ducto.

641.2.3.4 Accesorios de los ductos

Los acoples y transiciones de los ductos formados por láminas deben ser de metal ferroso o polietileno, deben ser a prueba de entrada de lechada y poseer la suficiente resistencia para prevenir distorsión o desplazamiento de los ductos durante la colocación del concreto. Todos los ductos de los ensambles de anclaje deben proveerse de tubos u otras conexiones apropiadas en cada extremo del ducto para la inyección de lechada posterior al preesfuerzo. Deben tener, también, orificios de ventilación en los puntos altos y de drenaje en puntos intermedios bajos. Los tubos de ventilación y drenaje deben ser de un diámetro mínimo de diecinueve milímetros (19 mm) para tendones o al menos de doce coma cinco milímetros (12,5 mm) para tendones de barra simple o tubos plásticos apropiados. Las conexiones a ductos se deben hacer con sujetadores metálicos o plásticos. Las ventilaciones y drenajes deben ser a prueba de mortero y se deben proveer medios para inyección a través de las ventilaciones y para sellado que evite fugas de lechada.

641.2.3.5 Inhibidor de corrosión

Debe ser del tipo VPI según la especificación MIL-P-3420F-87. Cuando sea aprobado por el interventor, se puede utilizar aceite soluble en agua.

641.2.3.6 Lechada

Los materiales para la lechada de inyección, deben cumplir los requisitos indicados en el numeral 631.2 del artículo 631, Lechada para ductos de concreto preesforzado.

Se requiere una (1) prueba diaria en campo de fluidez, sangrado a los tres días (3 d) y permeabilidad de la lechada.

641.3 Equipo

Los gatos hidráulicos usados para tensionar el acero, deben ser capaces de proveer y sostener las fuerzas necesarias y deben estar equipados con manómetros de presión o

celdas de carga, para determinar el esfuerzo de gateo. El sistema debe permitir medir independientemente la elongación del cable. El manómetro debe tener una escala apropiada, y debe estar debidamente calibrado, hecho del cual el constructor debe entregar al interventor la certificación correspondiente. Las celdas de carga deben tener un indicador que permita establecer la fuerza de tensionamiento. El rango de lectura debe ser tal, que no se utilice el diez por ciento (10 %) inferior de la capacidad certificada por el fabricante, para determinar la fuerza de gateo. Los manómetros y celdas de carga se deben recalibrar con frecuencia. Solamente se puede usar llama de oxígeno o elementos mecánicos de corte para cortar cables, después de la instalación del elemento o después del preesfuerzo. No se deben usar soldadores de arco eléctrico.

El equipo para la preparación e inyección de la lechada se describe en el numeral 631.3 del artículo 631.

641.4 Ejecución de los trabajos

641.4.1 Planos de trabajo

Cuando los documentos del proyecto no incluyan detalles completos del sistema de preesfuerzo y su método de instalación, o cuando los detalles completos mostrados en los documentos del proyecto puedan ser objeto de modificación por parte del constructor, este debe preparar y remitir sin costo adicional para INVÍAS y aprobación del interventor, la información completa sobre los sistemas que se propone utilizar. Los planos de trabajo deben mostrar detalles completos y memorias de cálculo justificativas, descripción de materiales y equipos, e incluir posibles modificaciones a la disposición del acero de refuerzo o a las dimensiones del concreto evidenciadas en los documentos del proyecto. Estos detalles deben mostrar la secuencia de preesfuerzo, especificaciones del acero, de los anclajes, esfuerzos de trabajo, esfuerzos en el anclaje, elongación de los tendones, tipos de ductos y cualquier otro dato pertinente, incluyendo la distribución del acero de preesfuerzo en el miembro. Los planos de trabajo deben ser enviados al interventor con la suficiente anti-cipación para permitir su revisión, ajuste y aprobación, sin que se afecte el programa de trabajo.

641.4.2 Pruebas del acero de preesfuerzo y anclaje

El interventor puede ordenar las pruebas que considere necesarias sobre muestras tomadas de los lotes suministrados por el constructor, las cuales deben ser proporcionadas por este, sin costo para INVÍAS.

Para acero de pretensado se debe suministrar una muestra de dos metros (2 m) de largo, como mínimo, por cada lote de veinte toneladas (20 t) de acero, debiendo cortarse las muestras de los extremos de los rollos.

Para las pruebas requeridas en el acero de postensado, se proporcionan las siguientes longitudes:

- Uno coma cinco metros (1,5 m) para alambres que requieran cabezas.
- Para alambres que no requieran cabezas, una longitud suficiente para hacer un cable de tendido paralelo de uno coma cinco metros (1,5 m) de largo, consistente del

mismo número de alambres con que el cable va a ser habilitado en obra.

- Para torones con accesorios de anclaje, uno coma cinco metros (1,5 m) entre los extremos más cercanos de los accesorios.
- Para barras con extremos roscados y tuercas, uno coma cinco metros (1,5 m) entre los extremos más cercanos de las roscas.

Si las pruebas a ser efectuadas así lo requieren, se deben proporcionar dos (2) anclajes adicionales completos, incluyendo placas de repartición y demás aditamentos propios del sistema.

641.4.3 Protección, transporte y almacenamiento

El constructor debe proteger tanto el acero de preesfuerzo como los anclajes, ductos y otros accesorios a ser utilizados, cuidando la limpieza de los mismos y tomando las medidas necesarias para preservarlos de la corrosión, con el fin de garantizar que, en todo momento, se mantenga su calidad.

Durante el transporte, tanto el acero de preesfuerzo como los demás elementos de acero, se deben envolver en papel impermeable u otro material que los proteja de la humedad.

Los alambres y cables no se deben enrollar en diámetros pequeños, para evitar la formación de microfisuras superficiales que propician la corrosión a bajo esfuerzo.

Los ductos se deben manejar con cuidado durante su carga, transporte y descarga, para evitar daños y dobleces que los puedan perjudicar posteriormente.

El almacenamiento de estos materiales se debe efectuar en locales cerrados y secos, evitando su proximidad a refinerías y plantas industriales. Los rollos se deben apilar según los diferentes lotes de fabricación e identificar adecuadamente. El apilamiento se debe hacer sobre tarimas que queden separadas del suelo por lo menos treinta centímetros (30 cm).

Para almacenamiento por períodos no superiores a tres (3) meses, se debe permitir el recubrimiento del material con un toldo, además de protegerlo con el inhibidor de corrosión.

641.4.4 Dirección y asesoría de los trabajos

El constructor debe proporcionar un técnico calificado en el uso del sistema de preesfuerzo a ser utilizado, quien debe dirigir la correcta ejecución de todas las operaciones requeridas.

641.4.5 Aprobación del sistema por usar

Para cualquier sistema que utilice el principio de preesfuerzo, el constructor debe demostrar y garantizar plenamente su eficacia, seguridad y funcionalidad, puestas de manifiesto en obras similares ejecutadas con anterioridad.

641.4.6 Colocación de los ductos

Los ductos se deben soportar rígidamente en intervalos adecuados dentro de las formaletas mediante amarres al acero de refuerzo, que

eviten el desplazamiento durante la colocación del concreto. De ser necesario, se deben usar barras suplementarias. Las juntas entre secciones de ductos deben acoplarse con conexiones efectivas que no resulten en cambios de ángulo en las juntas y que prevengan la entrada de pasta de cemento del concreto. Después de colocar los ductos, y el refuerzo y la formaleta se encuentren en su sitio, se debe realizar una inspección para detectar posibles daños a los ductos. Todos los orificios no intencionales en los ductos deben ser reparados antes de la colocación del concreto. Las aberturas para inyección y ventilación deben anclarse seguramente al ducto y a la formaleta o al acero de refuerzo, para evitar su desplazamiento en las operaciones de vaciado. Después de instaladas las formaletas, los extremos de ductos deben cubrirse, para prevenir la entrada de agua o lechada.

Todos los ductos de estructuras continuas deben ser ventilados en los puntos más altos del perfil, excepto cuando la curvatura es pequeña, como en placas continuas, y en los sitios adicionales indicados en los documentos del proyecto. Donde se anticipe congelamiento antes de la inyección, se deben instalar drenajes en los puntos más bajos, para prevenir la acumulación de agua. Estos drenajes deben permanecer abiertos hasta la iniciación de los trabajos de inyección. Los extremos de ventilaciones y drenajes se deben remover hasta veinticinco milímetros (25 mm) por debajo de la superficie del concreto después de terminar la inyección, y los orificios llenados con mortero.

641.4.7 Colocación del acero de preesfuerzo

641.4.7.1 Colocación para pretensionamiento

El acero de preesfuerzo se debe instalar precisamente dentro de las formaletas y mantener en su sitio mediante los gatos o anclajes temporales u otros accesorios especiales. Los accesorios que se implementan en los cambios de pendiente de la trayectoria, deben ser de baja fricción, debidamente aprobados. El acero de preesfuerzo no se debe retirar de su cubierta protectora mientras no se vaya a colocar el concreto, debiéndose tomar todas las medidas necesarias para evitar la corrosión. Todo el acero de preesfuerzo preensamblado en ductos e instalado antes de la colocación del concreto, debe ser asegurado y mantenido en su sitio adecuadamente.

641.4.7.2 Colocación para postensionamiento

Cuando el acero se instale con posterioridad a la colocación del concreto, el constructor debe demostrar que los ductos se encuentran libres de agua o lechada antes de la instalación del acero. El número total de cables en un tendón individual puede ser colocado en un solo tiempo, o los cables individuales pueden ser colocados uno a uno. Los accesorios de anclaje deben ser ubicados en su sitio, de modo que su eje coincida con el eje del tendón y las platinas de anclaje sean normales en todas direcciones al tendón.

El acero de preesfuerzo se debe distribuir de modo que la fuerza en cada elemento corresponda a las indicaciones de los documentos del proyecto. Para vigas cajón con más de dos (2) nervios, si los documentos del proyecto así lo permiten, la fuerza de preesfuerzo puede variar hasta un cinco por ciento (5 %) respecto de la fuerza teórica requerida por nervio, siempre que la fuerza total requerida se obtenga, y que esta se distribuya simétricamente en la sección.

641.4.7.3 Protección del acero después de la instalación

El acero de preesfuerzo instalado en elementos antes del vaciado y curado del concreto, o instalado en el ducto, pero no inyectado dentro de los límites de tiempo dados a continuación, debe ser protegido contra corrosión mediante un compuesto inhibidor colocado en el ducto o directamente sobre el acero. El acero de preesfuerzo colocado con posterioridad al vaciado y curado del concreto e inyectado dentro de los límites de tiempo siguientes, no requiere el uso de inhibidores de corrosión.

- Atmósfera húmeda o a nivel del mar, con humedad relativa mayor del setenta por ciento (70 %), no deben pasar más de siete días (7 d).
- Atmósfera moderada, con humedad relativa entre el cuarenta y setenta por ciento (40 % – 70 %), no deben pasar más de quince días (15 d).
- Atmósfera seca, con humedad relativa menor del cuarenta por ciento (40 %), no deben pasar más de veinte días (20 d).

Una vez que los tendones se hayan colocado en los ductos, las aberturas en los extremos deben ser selladas para prevenir la entrada de humedad. Cuando se use curado con vapor, el acero de preesfuerzo no se debe instalar hasta tanto no se haya terminado el curado. Cuando se realice soldadura eléctrica en cercanías de miembros que tengan acero de preesfuerzo, la conexión a tierra se debe sujetar directamente al acero que se esté soldando. Todos los elementos se deben proteger de la caída de chispas o escoria de soldadura.

641.4.8 Tensionamiento

641.4.8.1 Generalidades

El acero de preesfuerzo debe ser tensionado mediante gatos hidráulicos para producir las fuerzas mostradas en los documentos del proyecto, con los debidos márgenes para pérdidas. Las pérdidas deben corresponder adecuadamente con los análisis. Para el caso de postensionamiento, se debe, además, incluir la pérdida por corrimiento del anclaje, dependiendo del sistema utilizado.

Durante el tensionamiento de cables, las fallas individuales de alambres pueden ser aceptadas por el interventor, siempre y cuando no más de un alambre en el cable se rompa, y el área de los alambres rotos no exceda el dos por ciento (2 %) del área total del acero de preesfuerzo en el miembro. En tal caso, la fuerza total de tensionamiento necesaria se debe alcanzar aumentando la tensión de los alambres restantes, siempre que para ello no sea preciso elevar la tensión de cada alambre individual en más de dos por ciento (2 %) del

valor inicialmente previsto. La aplicación de tensiones superiores requiere un nuevo estudio, el cual se debe efectuar con base en las características mecánicas de los materiales realmente utilizados; este nuevo estudio debe ser adelantado por el constructor, sin costo adicional para INVÍAS, y contar con la aprobación del interventor.

El método de tensionamiento empleado debe ser uno de los siguientes, según haya sido aprobado:

641.4.8.1.1 Pretensado

El cable o tendón se debe esforzar antes de ser embebido en el concreto. Una vez el concreto ha alcanzado su resistencia, se debe liberar el acero de los anclajes externos y la fuerza se debe transferir, por adherencia, al concreto.

641.4.8.1.2 Postensado

Los cables o tendones se deben instalar en ductos dentro del concreto y deben ser tensados y anclados después de que el concreto ha adquirido la resistencia de diseño. Como operación final, los ductos deben ser inyectados con lechada a presión.

641.4.8.1.3 Método combinado

Parte del refuerzo se debe pretensionar y parte se debe postensionar. Para este método se deben aplicar todas las condiciones particulares de cada uno de los métodos anteriores.

641.4.8.2 Resistencia del concreto

Las fuerzas de preesfuerzo no deben ser aplicadas o transferidas al concreto hasta tanto este no haya alcanzado la resistencia especificada para el tensionamiento inicial. Además, el concreto vaciado en sitio, diferente al de puentes segmentados, no debe ser postensionado hasta que hayan pasado al menos diez días (10 d) de la colocación.

641.4.8.3 Secuencia de tensionamiento

Cuando la secuencia de tensionamiento de tendones individuales no haya sido especificada, el tensionamiento de elementos postensados y la liberación de elementos pretensados deben ser realizadas en una secuencia que produzca el mínimo de fuerzas excéntricas en el miembro.

641.4.8.4 Medida de esfuerzos

El constructor debe llevar un reporte de las presiones y elongaciones de cada tendón, para revisión y aprobación del interventor. Las elongaciones se deben medir con una precisión de un milímetro (1 mm). Los sobrantes de cable de elementos postensados no deben ser cortados hasta tanto no se hayan aprobado los reportes de tensionamiento.

Los esfuerzos en los tendones durante el tensionamiento, deben ser determinados mediante las lecturas de manómetros o celdas de carga y deben ser verificados con las elongaciones medidas. Los cálculos de elongaciones esperadas deben realizarse con base en el módulo de elasticidad suministrado por el fabricante y tomando como base el área nominal, o usando propiedades medidas mediante ensayos sobre el acero utilizado en la obra.

Todos los tendones deben ser tensados preliminarmente, hasta la fuerza necesaria

para eliminar cualquier falla en el sistema de tensionamiento que pueda afectar la lectura de deformaciones. Esta fuerza preliminar puede variar entre el cinco y el veinticinco por ciento (5 % – 25 %) de la fuerza final de gateo. La fuerza inicial debe medirse con un dinamómetro o por otro método aprobado, de modo que su magnitud pueda ser usada como verificación de las elongaciones. Cada cable debe ser marcado antes del esfuerzo final, para permitir medidas de deformación y asegurar que las cuñas se acomodan correctamente.

Cuando existan discrepancias entre las medidas tomadas con manómetros y las deformaciones leídas, se debe usar una carga que, leída en el manómetro, produzca ligeros sobreesfuerzos antes que esfuerzos más bajos de lo previsto. Si esta discrepancia es mayor del cinco por ciento (> 5 %) en tendones con longitudes superiores a quince metros (15 m) y del siete por ciento (7 %) en tendones de menor longitud, toda la operación se debe revisar cuidadosamente para encontrar la fuente de error y corregirla antes de continuar con el tensionamiento.

641.4.8.5 Requisitos del método de pretensionamiento

El preesfuerzo se puede obtener mediante tensionamiento de cables individuales o grupos de ellos. La cantidad de preesfuerzo que se debe dar a cada cable, debe ser la indicada en los documentos del proyecto o aprobada por el diseñador y el interventor. Todo cable que se deba esforzar en grupo, se debe llevar a una tensión inicial antes del tensionamiento definitivo. El rango de esta fuerza de tensionamiento debe ser el mismo indicado para cables postensados; su magnitud depende de la pista de tensionamiento y del número de cables en el grupo.

Los tendones colgados pretensados deben ser tensionados parcialmente por gateo en los extremos de la pista y por levantamiento o descenso de los cables, o ser tensados en su totalidad por gateo, sosteniendo los cables mediante rodillos, pasadores u otros medios aprobados. Se deben usar accesorios de baja fricción aprobados, en los cambios de pendiente.

Si la carga en un tendón, determinada mediante las medidas de elongación, es inferior a la indicada en los manómetros del gato, en más de cinco por ciento (5 %), el cable debe ser tensionado desde ambos extremos de la pista, y las cargas calculadas con base en la suma de las dos (2) elongaciones en los extremos, deben corresponder dentro del cinco por ciento (5 %) especificado.

Cuando el interventor así lo solicite, los cables de pretensionamiento se deben verificar para pérdidas de preesfuerzo, no más de tres horas (3 h) antes de colocar el concreto. El método y los equipos de medición deben estar sujetos a aprobación del interventor. Todo cable que indique pérdidas superiores al tres por ciento (3 %) debe tensionarse hasta alcanzar la fuerza original de gateo.

Los esfuerzos en todos los cables se deben mantener mediante anclajes, hasta que el concreto alcance la resistencia especificada al momento de la transferencia. Cuando se tensionen miembros a temperaturas de más de catorce grados Celsius (14 °C) por debajo

de la temperatura del concreto en el fraguado inicial, la elongación calculada de acero de preesfuerzo debe ser incrementada para compensar la pérdida de esfuerzo ocasionada por el cambio de temperatura, pero en ningún caso el esfuerzo en el gateo debe exceder el ochenta por ciento (80 %) de la resistencia última a tensión especificada para el acero.

Los métodos de traslapo de cables deben aprobarse por el interventor, el método de traslapo debe ser capaz de desarrollar la resistencia última de los cables. Solamente se debe permitir el traslapo de un cable cuando el tensionamiento se realice por cables individuales; si el tensionamiento se hace simultáneamente en varios cables, solo se debe admitir el traslapo de un diez por ciento (10 %) de ellos, como máximo. Los cables traslapados deben ser de características similares y con el mismo giro. Todos los traslapos deben quedar por fuera de los elementos que se preesfuercen.

Todas las formaletas o accesorios que impidan las deformaciones de los elementos, deben retirarse antes de liberar el acero.

A menos que se indique algo diferente en los documentos del proyecto, todos los cables de elementos pretensados se deben cortar a ras con el extremo del miembro, y los extremos expuestos, así como una franja de veinticinco milímetros (25 mm) del concreto alrededor del cable; se deben limpiar y pintar. La limpieza se debe hacer mediante cepillo, para remover materiales que no estén firmemente adheridos. Las superficies se deben cubrir con una capa gruesa de pintura rica en zinc conforme con los requerimientos de la norma MIL-P-24441/20.

641.4.8.6 Requerimientos para postensionamiento

Antes de postensar cualquier elemento, el constructor debe demostrar que el acero de preesfuerzo esté libre y no adherido al ducto que lo contiene. A menos que el interventor apruebe lo contrario, todos los cables de cada tendón, excepto aquellos que estén en ductos planos con no más de cuatro (4) cables, deben ser tensados simultáneamente con un gato múltiple. Excepto que se apruebe algo diferente, los tendones en miembros continuos postensados deben ser gateados en cada extremo del tendón. Para tendones rectos, y cuando se permita tensionamiento en un solo extremo, el tensionamiento se puede realizar en uno (1) o ambos extremos, a decisión del constructor y aprobación del interventor.

Cabe anotar que debe llevarse rigurosamente un registro de las operaciones de tensionamiento de cada tendón, según lo indicado en el numeral 641.5.1.

641.4.9 Inyección

Cuando se use el método de postensionamiento, el acero de preesfuerzo se debe proteger permanentemente adhiriéndolo al concreto, llenando los vacíos de los ductos con lechada. El trabajo se realiza conforme se describe en el artículo 631.

641.4.10 Protección permanente de los anclajes

Siendo los anclajes mecanismos altamente esforzados, requieren una protección completa contra la corrosión y el fuego, motivo por el

cual deben ser recubiertos por algún medio que resulte satisfactorio para el interventor.

641.4.11 Medidas de seguridad

El preesfuerzo implica la utilización de fuerzas muy grandes, esforzándose el acero y el concreto en un porcentaje alto de su carga última. Además, durante la construcción y el montaje se ponen en juego fuerzas hidrostáticas de vibración, desbalances y fuerzas dinámicas, por lo que se deben tomar las medidas y disposiciones adecuadas para la seguridad del personal y del equipo. Estas medidas deben incluir una planificación adecuada, el uso de los arriostramientos temporales que se requieran para la manipulación, transporte y montaje de los elementos estructurales, la instalación de avisos de prevención y la instrucción del personal mediante un programa continuo.

641.4.12 Manejo ambiental

En adición a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las labores requeridas para el suministro de acero de preesfuerzo se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en los estudios y evaluaciones ambientales del proyecto, como en las normas y disposiciones vigentes sobre conservación del ambiente, los recursos naturales y protección de la comunidad.

Igualmente, todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades se deben incluir en los costos del proyecto; por tanto, no son objeto de reconocimiento directo en el contrato.

641.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

641.5.1 Controles

El plan de calidad y el plan de inspección, medición y ensayo, son de obligatorio cumplimiento tal como se encuentra expresado en el numeral 103.2 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor.

En el desarrollo de los trabajos, deben adelantarse los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y funcionamiento del equipo de construcción.
- Constatar el cumplimiento de las disposiciones existentes en el artículo 102, Aspectos generales de seguridad y salud.
- Comprobar que los materiales empleados cumplan las exigencias de calidad de la presente especificación.
- Vigilar la regularidad del suministro del acero durante el período de ejecución de los trabajos.
- Verificar que los trabajos se realicen de acuerdo con el sistema aprobado, los documentos del proyecto y la presente especificación.
- Efectuar las pruebas pertinentes para comprobar la calidad del trabajo ejecutado.
- Vigilar la correcta implementación de medidas para garantizar la seguridad del personal y de los equipos durante la ejecución de los trabajos.

Durante las operaciones de tensionamiento debe llevarse un registro de los siguientes aspectos, para cada tendón instalado:

- Responsables de la operación (constructor e interventor).
- Localización, tamaño y tipo de tendón.
- Fecha de instalación del tendón en el ducto.
- Número de carrete o bobinas para hilos o alambres.
- Área transversal asumida y actual.
- Módulo de elasticidad asumido y actual.
- Fecha de tensionamiento.
- Número del gato, manómetros y características.
- Fuerza requerida de gateo.
- Presiones manométricas.
- Elongaciones (esperadas y actuales).
- Secuencia de tensionamiento indicando los tendones antes y después de este tendón.
- Modo de tensionamiento (un (1) extremo, dos (2) extremos, simultáneo).
- Testigos o participantes durante la operación de tensionamiento.
- Fecha de aplicación de la lechada.
- Días desde el tensionamiento hasta la inyección de la lechada.
- Presión de inyección.
- Registro de cualquier otra información que se considere relevante reportar.

El interventor debe evaluar y aprobar, cuando corresponda, el sistema de preesfuerzo propuesto por el constructor.

El interventor debe medir, para efectos de pago, el trabajo correctamente ejecutado de acuerdo con los documentos del proyecto aprobados por el interventor y esta especificación.

641.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

641.5.2.1 Calidad del acero

Los elementos de acero utilizados en los trabajos objeto de la presente especificación, deben ser ensayados en la fábrica y sus resultados deben satisfacer los requisitos que indiquen las normas NTC, AASHTO o ASTM relacionadas en el numeral 641.2.

El constructor debe suministrar al interventor una certificación de los resultados de análisis químicos y pruebas físicas realizados por el fabricante para el lote correspondiente a cada envío de acero a la obra. En caso que el constructor no cumpla este requisito, el interventor debe ordenar, a expensas de aquel, la ejecución de todos los ensayos que considere necesarios sobre el acero, antes de aceptar su utilización. Si los resultados no son satisfactorios, debe rechazar todo acero representado por ellos.

641.5.2.2 Calidad de los materiales de los ductos y sus accesorios

El constructor debe entregar al interventor certificaciones de los fabricantes que garanticen que la calidad de los ductos y sus accesorios se ajustan a las exigencias de la presente especificación. Si el constructor no las presenta, o en caso de duda, el interventor

debe ordenar la ejecución de todas las pruebas pertinentes, a expensas de aquel, antes de aceptar la utilización de dichos materiales. Si los resultados de tales pruebas no son satisfactorios, se deben rechazar los materiales representados por ellos.

641.5.2.3 Calidad del inhibidor de corrosión

El interventor debe verificar que el producto por utilizar sea apropiado para el trabajo y que, además, no se utilice después de cumplida su fecha de vencimiento.

641.5.2.4 Calidad de la lechada de inyección

Tanto los ingredientes como la lechada elaborada, deben cumplir las exigencias de esta especificación y del numeral 631.5.2.2 del artículo 631.

641.5.2.5 Distancias entre armaduras y recubrimientos

La distancia libre entre alambres, barras o cables, medida en los extremos de un elemento, no debe ser inferior a cuatro (4) diámetros para alambres, ni tres (3) diámetros para torones. En la porción media de la luz, se debe permitir una separación menor y el agrupamiento de torones.

Los ductos para colocar el acero de tensionamiento, pueden ser agrupados si el constructor demuestra que no se dificulta la colocación del concreto. Además, se deben tomar medidas preventivas para evitar que el acero rompa a través del ducto cuando aquel se tensione.

Las armaduras, ductos y anclajes deben cumplir los recubrimientos mínimos indicados en la sección 5.10 de la Norma Colombiana de Diseño de Puentes.

641.5.2.6 Tolerancias de colocación

Salvo que los documentos del proyecto o una especificación particular establezcan algo diferente, la posición de los tendones en cualquier sección transversal del elemento puede variar hasta un tres por ciento (3 %) de la dimensión de la pieza, paralela al desplazamiento del tendón, siempre que dicho valor no exceda de veinticinco milímetros (25 mm).

641.5.2.7 Tolerancias en el tensionamiento

Los alargamientos no pueden diferir de los previstos en el programa de tensionamiento en más de cinco por ciento (5 %) en tendones con longitudes superiores a quince metros (15 m) y de siete por ciento (7 %) en los de menor longitud. Si esta tolerancia se excede, se deben examinar las posibles causas de variación, tales como errores de lectura, de sección de armaduras, de módulos de elasticidad o de los coeficientes de rozamiento, rotura de algún elemento del tendón, tapones de lechada, etc., y se debe proceder a un nuevo tensionamiento con una nueva medida de alargamientos.

En caso de rotura de alambres, debe procederse como se indica en el numeral 641.4.8.1. La pérdida total en la fuerza de tensionamiento, originada en la rotura de alambres irremplazables, no puede exceder nunca de dos por ciento (2 %) de la fuerza total prevista.

Todo defecto de calidad o de instalación que exceda las tolerancias de esta especificación, debe ser corregido por el constructor, sin reconocimiento del costo en el presupuesto de la obra, de acuerdo con procedimientos aceptados por el interventor.

641.6 Medida

La unidad de medida del acero de preesfuerzo debe ser la tonelada fuerza-metro (tf-m) efectiva, medida en el centro de la luz, o el kilogramo (kg), suministrado y correctamente instalado y tensado, de acuerdo con los documentos del proyecto aprobados por el interventor y esta especificación.

La cantidad de toneladas fuerza-metro efectivas se debe precisar multiplicando el número de metros lineales de cable, aproximados al centímetro (cm), por el número de toneladas fuerza efectivas en el centro de la luz.

A su vez, el número de toneladas fuerza efectivas en el centro de la luz se debe determinar con aproximación a la décima (0,1).

Si la medida se realiza por kilogramos (kg), esta se debe efectuar con aproximación al entero.

En todos los casos, el resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

641.7 Forma de pago

El pago se debe hacer al precio unitario del contrato para el acero de preesfuerzo, por todo trabajo aceptado por el interventor. El precio unitario debe cubrir todos los costos por concepto de suministro, almacenamiento, transportes y colocación de acero, ductos, anclajes y demás accesorios requeridos para completar satisfactoriamente el trabajo. También, debe cubrir todos los costos de tensionamiento del acero y los de suministro de materiales para la lechada requerida para llenar los ductos, su almacenamiento, manejo, transportes, cargues, descargues, mezcla, preparación de ductos e inyección; el suministro y la aplicación del inhibidor de corrosión; el suministro y la aplicación de las pinturas necesarias; todo el equipo, mano de obra, asesoría, preparación de planos, patentes, muestras de ensayo, medidas de seguridad, limpieza final de la zona de las obras y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución del trabajo especificado.

El precio unitario debe incluir, también, la administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

641.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
641.1	Acero de preesfuerzo	Tonelada fuerza-metro (tf-m)
641.2	Acero de preesfuerzo	Kilogramo (kg)

Apoyos y sellos para juntas de puentes

Artículo 642 – 22

642.1 Descripción

Este trabajo se refiere al suministro e instalación de almohadillas elastoméricas de apoyo para vigas de puentes, de acuerdo con los detalles indicados en los documentos del proyecto y/o autorizados por el interventor. El suministro e instalación de apoyos de otro tipo deben ser considerados en las especificaciones particulares.

El trabajo objeto de este artículo también comprende el suministro e instalación de sistemas elastoméricos para sello de juntas en tableros de puentes, del tipo y dimensiones mostrados en los documentos del proyecto y/o autorizados por el interventor.

642.2 Materiales

642.2.1 Apoyos de material elastomérico

Los apoyos de material elastomérico incluyen almohadillas simples y apoyos reforzados con acero o tela. Todos los materiales utilizados deben ser nuevos.

Los apoyos deben ser suministrados con las dimensiones, propiedades de material, grado de elastómero y tipo de laminado requerido por los documentos del proyecto. El método y la carga de diseño también deben indicarse en los documentos del proyecto y las pruebas se deben realizar de conformidad con ellos. Los apoyos elastómericos deben cumplir con la norma AASHTO M 251 o ASTM D4014. A falta de información más específica, los apoyos deben ser grado 3, de elastómero de dureza Shore 60, y refuerzos de acero. Los requisitos para pruebas de carga a que se encuentran sometidos corresponden al diseño del denominado Método A.

642.2.1.1 Elastómero

El elastómero bruto puede ser neopreno virgen (policloropreno) o caucho natural (polisopreno). Los compuestos de elastómero se clasifican como grado 0, 1, 2, 3, 4 o 5, dependiendo de las bajas temperaturas. Los grados están definidos en las Tablas 642 – 1 y 642 – 2 por los requerimientos de prueba. Un mayor grado de elastómero puede ser sustituido por uno inferior.

Los compuestos deben cumplir los requisitos mínimos de las tablas recién mencionadas, salvo que el interventor lo autorice de otra manera. Los requisitos de prueba pueden interpolarse para durezas intermedias. Si el material se especifica de acuerdo con el módulo de corte, el módulo de corte medido debe estar dentro del quince por ciento (15 %) del valor especificado. Además, se debe suministrar un valor de dureza consistente, con el fin de determinar los límites para las pruebas de las Tablas 642 – 1 y 642 – 2. Si se

especifica la dureza, el módulo de corte medido debe encontrarse dentro del rango de la Tabla 642 – 3. Cuando las muestras de prueba se toman del producto terminado, las propiedades físicas pueden variar en un diez por ciento (10 %) de las especificadas en las Tablas 642 – 1 y 642 – 2. Todas las pruebas de material se deben realizar a veintitrés más o menos dos grados Celsius (23 °C ± 2 °C) a menos que se establezca algo diferente. Las pruebas del módulo de corte se deben llevar a cabo utilizando el aparato y el procedimiento descritos en el anexo A de la norma ASTM D4014.

Los elastómeros basados en cauchos de Etileno-Propileno (EPDM), Caucho Butílico (IIR) y Clorobutil (CIIR), requieren aprobación especial por parte de la interventoría y en todo caso deben cumplir con la norma ASTM D4014.

Tabla 642 – 1. Pruebas de control de calidad del neopreno

Norma de ensayo	Requisito de prueba	Neopreno		
Propiedades físicas				
NTC 467 (ASTM D2240)	Dureza (Shore A Durometer)	50 ± 5	60 ± 5	70 ± 5
NTC 444 (ASTM D412)	Resistencia a la tracción, mín. (psi)	2 250	2 250	2 250
	Elongación mín. (%)	400	350	300
Resistencia al calor				
NTC 447 (ASTM D573)	Cambios en la dureza del durómetro			
Setenta horas (70 h) a	Puntos máximos	15	15	15
setenta grados Celsius	Cambios en resistencia a la tracción, máx. (%)	-15	-15	-15
(70 °C)	Cambio en elongación última, máx. (%)	-40	-40	-40
Deformación por compresión				
NTC 724 (ASTM D395) Método B OZONO ASTM D1149	Veintidós horas (22 h) a cien grados Celsius (100 °C), máx. (%) Cien (100) ppm de ozono por volumen de aire Veinte por ciento (20 %) deformación entre treinta y seis coma siete y treinta y ocho coma nueve grados Celsius (36,7 °C – 38,9 °C) Cien horas (100 h) procedimiento de montaje ASTM D518, Procedimiento A	Sin grietas	Sin grietas	Sin grietas
Fragilidad a bajas temperaturas				
NTC 3336 (ASTM D746)	Grados 0 al 2: No se requiere prueba			
Procedimiento B	Grado 3: fragilidad a – 40 °C	Sin falla	Sin falla	Sin falla
	Grado 4: fragilidad a – 48,3 °C	Sin falla	Sin falla	Sin falla
	Grado 5: fragilidad a – 56,7 °C	Sin falla	Sin falla	Sin falla
Rigidez térmica instantánea				
ASTM D1043	Grados 0 al 2: probada a – 18,9 °C Grado 3: probada a – 40 °C Grado 4: probada a – 45,6 °C Grado 5: probada a – 53,9 °C	La rigidez a temperaturas de prueba no debe exceder de cuatro (4) veces la rigidez medida a veintidós coma ocho grados Celsius (22,8 °C)		
Cristalización a bajas temperaturas				
Prueba de corte Quad según se describe en el anexo A de la norma ASTM D4014	Grados 0: probada a – 31,7 °C Grado 2: siete días (7 d) a – 17,8 °C Grado 3: catorce días (14 d) a – 26,1 °C Grado 4: veintiún días (21 d) a – 37,2 °C Grado 5: veintiocho días (28 d) a – 37,2 °C	La rigidez al tiempo y temperatura de prueba no puede exceder cuatro (4) veces la rigidez medida a veintidós coma ocho grados Celsius (22,8 °C) sin demora. La rigidez debe medirse con un equipo para prueba de corte en una unidad de refrigeración encerrada. Las muestras de prueba deben tomarse de un apoyo escogido al azar. Se debe utilizar un ciclo de deformación más o menos veinticinco por ciento (± 25 %) y debe aplicarse un ciclo completo de deformación con un periodo de cien segundos (100 s). Se descartan los primeros tres cuartos (¾) de ciclo y se debe determinar la rigidez de la pendiente de la curva fuerza deflexión para el siguiente medio (½) ciclo de carga.		

Tabla 642 – 2. Pruebas de control de calidad del caucho natural

Norma de ensayo	Requisito de prueba	Neopreno		
Propiedades físicas				
NTC 467 (ASTM D2240) NTC 444 (ASTM D412)	Dureza (Shore A Durometer) Resistencia a la tracción, mín. (psi) Elongación mín. (%)	50 ± 5 2 250 400	60 ± 5 2 250 350	70 ± 5 2 250 300
Resistencia al calor				
NTC 447 (ASTM D573) Setenta horas (70 h) a setenta grados Celsius (70 °C)	Cambios en la dureza del durómetro Puntos máximos Cambios en resistencia a la tracción, máx. (%) Cambio en elongación última, máx. (%)	 10 -15 -40	 10 -15 -40	 10 -15 -40
Deformación por compresión				
NTC 724 (ASTM D395) Método B OZONO ASTM D1149	Veintidós horas (22 h) a cien grados Celsius (100 °C), máx. (%) Cien (100) ppm de ozono por volumen de aire Veinte por ciento (20 %) deformación entre treinta y seis coma siete y treinta y ocho coma nueve grados Celsius (36,7 °C – 38,9 °C) Cien horas (100 h) procedimiento de montaje ASTM D518, Procedimiento A	Sin grietas	Sin grietas	Sin grietas
Fragilidad a bajas temperaturas				
NTC 3336 (ASTM D746) Procedimiento B	Grados 0 al 2: No se requiere prueba Grado 3: fragilidad a – 40 °C Grado 4: fragilidad a – 48,3 °C Grado 5: fragilidad a – 56,7 °C	 Sin falla Sin falla Sin falla	 Sin falla Sin falla Sin falla	 Sin falla Sin falla Sin falla
Rigidez térmica instantánea				
ASTM D1043	Grados 0 al 2: probada a – 31,7 °C Grado 3: probada a – 40 °C Grado 4: probada a – 45,6 °C Grado 5: probada a – 53,9 °C	La rigidez a temperaturas de prueba no debe exceder de cuatro (4) veces la rigidez medida a veintidós coma ocho grados Celsius (22,8 °C)		
Cristalización a bajas temperaturas				
Prueba de corte Quad según se describe en el anexo A de la norma ASTM D4014	Grados 0: probada a – 31,7 °C Grado 2: siete días (7 d) a – 17,8 °C Grado 3: catorce días (14 d) a – 26,1 °C Grado 4: veintiún días (21 d) a – 37,2 °C	La rigidez al tiempo y temperatura de prueba no puede exceder cuatro (4) veces la rigidez medida a veintidós coma ocho grados Celsius (22,8 °C) sin demora. La rigidez debe medirse con un equipo para prueba de corte en una unidad de refrigeración encerrada. Las muestras de prueba deben tomarse de un apoyo escogido al azar. Se debe utilizar un ciclo de deformación más o menos veinticinco por ciento (± 25 %) y debe aplicarse un ciclo completo de deformación con un periodo de cien segundos (100 s). Se descartan los primeros tres cuartos (¾) de ciclo y se debe determinar la rigidez de la pendiente de la curva fuerza deflexión para el siguiente medio (½) ciclo de carga.		

Tabla 642 – 3. Propiedades del elastómero para diferentes durezas

Característica	Dureza shore		
	50	60	70
Módulo cortante a veintitrés grados Celsius (23 °C) (kg/cm^2)	6,65 – 9,10	9,10 – 14	14 – 21
Deformación por flujo plástico en veinticinco (25) años dividida por deformación instantánea (%)	25	35	45
K (Constante dependiente de la dureza del elastómero)	0,75	0,60	0,55

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

642.2.1.2 Laminados de acero

Los laminados de acero utilizados para refuerzo deben cumplir con la norma AASHTO M 251 y deben hacerse de acero dulce laminado que cumpla con las normas NTC 1920 (ASTM A36), NTC 6 (ASTM A1011) o equivalentes.

Los laminados deben tener un espesor mínimo nominal uno coma cincuenta y dos milímetros (1,52 mm) (calibre dieciséis (16)). No se deben permitir agujeros en las platinas para fines de fabricación, a menos que se hayan tenido en cuenta en el diseño, como se muestre en los documentos del proyecto.

642.2.1.3 Refuerzo de tela

El refuerzo de tela debe ser tejido cien por ciento (100 %) en fibra de vidrio de estopa tipo "E" con fibras continuas. El número mínimo de hilos en cada dirección debe ser de diez (10) hiladas por centímetro. La tela debe ser un tejido pata de gallo o un tejido raso de dureza ocho (8). Cada capa de tela debe tener una resistencia de rotura mínima de ciento cuarenta kilonewtons por metro (140 kN/m) en cada dirección de hilada, la cual se debe determinar de acuerdo con la norma ASTM D751. No se deben permitir agujeros en la tela.

642.2.1.4 Adherencia

La unión vulcanizada entre la tela y el refuerzo debe tener una resistencia mínima al desprendimiento de cinco coma dos kilonewtons por metro (5,2 kN/m).

Los apoyos laminados de acero deben desarrollar una resistencia mínima al desprendimiento de seis coma nueve kilonewtons por metro (6,9 kN/m). Las pruebas de desprendimiento se deben ejecutar de acuerdo con la norma ASTM D429, Método B.

642.2.1.5 Marca y certificación

El fabricante debe certificar que cada apoyo satisface los requisitos de los documentos del proyecto y de las especificaciones, y suministrar una copia certificada de los resultados de la prueba del material. Cada apoyo reforzado debe ser marcado con tinta indeleble o pintura adaptable. La marca debe incluir la orientación, número de orden, número de lote, número de identificación del apoyo, lo mismo que el tipo y el grado del elastómero. La marca se debe colocar en el lado que quede visible luego del montaje, a menos que se especifique algo diferente en los documentos contractuales.

642.2.2 Materiales para sello de juntas

642.2.2.1 Sellos de compresión

Los sellos deben ser preformados y manufacturados a partir de un compuesto elastomérico vulcanizado usando cloropreno como único polímero base. El tamaño, la forma y las tolerancias en las dimensiones de los sellos se deben indicar en los documentos del proyecto o en las especificaciones particulares.

El material se debe ajustar a los requisitos establecidos en la especificación AASHTO M 297 o ASTM D3542.

Además, los sellos deben ser continuos, sin juntas en todo el ancho de la calzada.

642.2.2.2 Marca de identificación

Los sellos deben estar identificados con la marca de fábrica y la fecha de producción, a intervalos no mayores de uno coma veintidós metros (1,22 m). En la superficie superior de los sellos, se debe colocar una marca cada treinta centímetros (30 cm), suficientemente clara y durable para facilitar las medidas de longitud luego de la instalación.

642.2.2.3 Lubricante – adhesivo

El lubricante-adhesivo utilizado con los sellos elastoméricos preformados, debe ser un compuesto del mismo polímero base de los sellos, combinado con solventes volátiles adecuados; de igual manera, debe tener una consistencia apropiada a la temperatura de instalación de los sellos, debe ser compatible con estos y con el concreto y relativamente inmune a la humedad normal del concreto. El lubricante-adhesivo debe cumplir con la especificación ASTM D4070.

642.3 Equipo

El constructor debe disponer de los equipos y herramientas necesarias para transportar los apoyos y sellos al sitio de las obras y para instalarlos de manera apropiada.

642.4 Ejecución de los trabajos

642.4.1 Apoyos

642.4.1.1 Planos de trabajo

Cuando los documentos del proyecto no muestren detalles completos de los apoyos y sus anclajes, el constructor debe preparar sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), los planos de trabajo que muestren todos los detalles de los apoyos y los materiales que se propone utilizar; dichos planos deben contar con la aprobación del interventor antes de empezar la fabricación de los apoyos. Tal aprobación no debe exonerar al constructor de cualquier responsabilidad contractual por la exitosa terminación del trabajo.

642.4.1.2 Fabricación

Los apoyos con laminados de acero se deben fundir en moldes como una sola unidad, unir y vulcanizar bajo calor y presión. El acabado de los moldes debe hacerse de acuerdo con la práctica estándar de los talleres. Los laminados internos de acero se deben limpiar mediante chorros de arena y, antes de la fusión, deben estar completamente limpios de herrumbre, escamas de laminación, mugre y libres de rebabas y bordes agudos. Las platinas de carga externas (platinas de asiento) deben estar protegidas contra la corrosión por parte del fabricante y unirse preferiblemente en caliente a los apoyos durante la vulcanización. Los apoyos diseñados para actuar como una sola unidad con un factor de forma dado, deben fabricarse como una sola unidad.

Los apoyos de tela reforzados se pueden vulcanizar en grandes láminas y cortar al tamaño deseado. El corte se debe realizar de forma que se evite el calentamiento de los materiales y se produzca un acabado liso sin separaciones entre el elastómero y la tela. El refuerzo de tela se hace en pliegues sencillos en la parte superior e inferior de los apoyos y en pliegues dobles en las capas interiores. La tela debe estar libre de dobleces y rizos y estar paralela entre las superficies superior e inferior.

Las almohadillas simples se pueden moldear o troquelar y vulcanizar en grandes láminas y cortar al tamaño deseado. El corte no debe calentar los materiales y producir un acabado liso conforme con ANSI/ASME 46.1 de seis coma tres micrómetros (6,3 µm).

La tolerancia de laminado, acabado y apariencia debe cumplir los requisitos de la más reciente edición del Manual de Caucho publicado por la Rubber Manufacturers Association, Inc., de acuerdo con las normas RMA F3 y T.063 para apoyos moldeados y RMA F2 para apoyos troquelados.

Los ensambles de los apoyos, antes de su envío a la obra, deben haber sido preensamblados en el taller por el fabricante y verificados respecto de la geometría y la terminación correcta.

A menos que se especifique otra cosa, con excepción del acero inoxidable, los componentes de los apoyos, incluyendo los pernos de anclaje, se deben galvanizar.

Los apoyos deben ensayarse cumpliendo los requerimientos de la norma AASHTO M 251.

642.4.1.3 Empaque, manejo y almacenamiento

Con anterioridad al despacho de la fábrica, los apoyos se deben empacar en forma adecuada, para garantizar que estén protegidos contra daños de manejo, del medio ambiente y cualquier otro factor de riesgo durante el envío y el almacenamiento. Cada apoyo completo debe tener sus componentes identificados claramente, estar atornillados firmemente, atados o asegurados para evitar cualquier movimiento relativo, y marcados en la parte superior respecto de la posición y orientación en cada estructura del proyecto, de conformidad con los documentos del proyecto.

De igual manera, todos los apoyos y sus partes componentes se deben almacenar en el sitio de la obra y en un área protegida contra daños físicos y ambientales. Una vez instalados, los apoyos deben estar limpios y libres de sustancias extrañas.

642.4.1.4 Instalación

Los apoyos se deben instalar con la asistencia de personal calificado.

Deben colocarse sobre superficies conforme con los diseños, que estén planas con precisión al milímetro, salvo que los apoyos se coloquen en pares opuestos, horizontales hasta dentro de cero coma cero un radianes (0,01 rad). Cualquier falta de paralelismo entre la parte superior del apoyo y la parte inferior de la viga que exceda de cero coma cero un radianes (0,01 rad) se debe corregir mediante lechada de cemento o siguiendo las instrucciones del interventor.

No se deben soldar las placas exteriores de los apoyos a menos que entre la soldadura y el elastómero existan treinta y ocho milímetros (38 mm) de acero, como mínimo. En ningún caso el elastómero o la unión deben estar sometidos a temperaturas mayores de doscientos cuatro grados Celsius (204 °C).

642.4.2 Sellos para juntas

642.4.2.1 Planos de trabajo

El constructor debe presentar al interventor los planos de trabajo que ilustren el procedimiento

de instalación y el ensamble de unión para tableros de puentes. Además, se deben remitir, para aprobación del interventor, los planos de taller para juntas que tengan un movimiento total superior a cuatro coma cinco centímetros (4,5 cm).

Los planos de trabajo deben traer aprobación del interventor con anterioridad a la ejecución de los trabajos; tal aprobación, no debe exonerar al constructor de cualquier responsabilidad contractual para la terminación satisfactoria de la obra.

642.4.2.2 Instalación

Todos los materiales y ensambles para juntas se deben proteger contra posibles daños; los ensambles deben estar soportados para mantener su forma y alineamiento. Los sellos para juntas se deben construir e instalar para proporcionar suavidad al paso de vehículos. Después de la instalación, las juntas se deben cubrir con un material protector hasta la limpieza final de la cubierta del puente.

Al tiempo de la instalación, la junta debe estar completamente limpia y seca y libre de astillas de piedra e irregularidades que puedan perjudicar un sello correcto de la junta. Las superficies metálicas o de concreto deben estar limpias, libres de óxido, lechada, aceite, grasa, mugre, polvo u otros materiales nocivos.

Los sellos elastoméricos preformados de compresión para juntas, deben instalarse por métodos manuales adecuados o herramientas mecánicas sin causar daño al sello. El lubricante-adhesivo se debe aplicar a ambas caras de la junta con anterioridad a la instalación y en concordancia con las instrucciones del fabricante. El sello elastomérico preformado se debe comprimir al espesor especificado en los documentos del proyecto o al aprobado por el interventor para la abertura estimada y la temperatura ambiente al tiempo de la instalación. No se deben permitir puntos abiertos o ajustes flojos entre el sello y la cubierta.

642.4.2.3 Ensambles de sellos para juntas

Los ensambles de sellos para juntas de expansión se deben construir para proporcionar absoluta libertad de movimiento a través de un rango consistente con aquel prescrito por el interventor, o como se muestra en los documentos del proyecto de diseño. La instalación se debe hacer de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. Los ajustes finales del ensamble de sellos para juntas de cubierta al tiempo de la fundición en los anclajes de la unidad, dependen de la relación de la temperatura corriente de la superestructura a su temperatura media esperada, y deben estar de acuerdo con las especificaciones del fabricante, o como se muestre en los documentos del proyecto.

Luego de la instalación, y con anterioridad a la aceptación final, los sellos para juntas se deben probar en presencia del interventor para detectar filtraciones de agua a través de la junta. Cualquier goteo en el sello de la junta debe ser causa de rechazo.

642.4.2.4 Sistemas Modulares de Juntas de Puente (MBJS)

Cuando el proyecto contemple la instalación de Sistemas Modulares de Juntas de Puente, diseñados acorde con el numeral 14.5.6.9. de la Norma Colombiana de Diseño de Puentes,

estos y todos sus componentes se deben fabricar, ensayar, transportar, almacenar, instalar, inspeccionar y aprobar o rechazar siguiendo las especificaciones del AASHTO LRFD Bridge Construction Specifications, aplicables para Sistemas Modulares de Juntas de Puentes (MBJS). El interventor puede exigir, sin costo adicional para INVÍAS, los ensayos o pruebas adicionales que considere necesarias para la aprobación de dicho tipo de juntas.

642.4.2.5 Manejo ambiental

En adición a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las labores requeridas para la construcción de apoyos y sellos de juntas para puentes se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en los estudios y evaluaciones ambientales del proyecto, así como en las normas y disposiciones vigentes sobre conservación del ambiente, los recursos naturales y protección de la comunidad.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación, deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades deben incluirse en los costos del proyecto; por tanto, no son objeto de reconocimiento directo en el contrato.

642.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

642.5.1 Controles

El plan de calidad y el plan de inspección, medición y ensayo, son de obligatorio cumplimiento tal como se encuentra expresado en el numeral 103.2 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor.

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y el funcionamiento del equipo de construcción.
- Constatar el cumplimiento de las disposiciones existentes en el artículo 102, Aspectos generales de seguridad y salud.
- Comprobar que la calidad de los materiales satisface las exigencias de esta especificación.
- Corroborar que los trabajos se realicen de acuerdo con el sistema aprobado, los documentos del proyecto y la presente especificación.
- Comprobar la calidad del trabajo ejecutado.
- Medir, para efectos de pago, el trabajo correctamente ejecutado de acuerdo con los documentos del proyecto aprobados por el interventor y esta especificación.

El interventor debe exigir al constructor las certificaciones de fábrica que respalden la calidad de los materiales utilizados.

642.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

642.5.2.1 Calidad de los materiales para los apoyos elastoméricos de los apoyos terminados

642.5.2.1.1 Generalidades

La calidad se debe verificar de acuerdo con las pruebas mencionadas en las Tablas 642 – 1, 642 – 2 y 642 – 3.

642.5.2.1.2 Pruebas de temperatura ambiente

El elastómero utilizado debe satisfacer los límites prescritos en la Tabla pertinente 642 – 1 o 642 – 2 en cuanto a dureza de durómetro, resistencia a la tracción, elongación última, resistencia al calor, deformación por compresión y resistencia de ozono. La adherencia al refuerzo, si la hay, debe también satisfacer el numeral 642.2.1.4. El módulo de corte del material se debe probar a veintitrés grados Celsius (23 °C) utilizando el aparato y procedimientos contemplados en el anexo A1 de la norma ASTM D4014. Este se debe encontrar dentro del quince por ciento (15 %) del valor especificado, o en el rango de su dureza dado en la Tabla 642 – 3, si no se ha especificado el módulo de corte.

Las pruebas de temperatura ambiente deben hacerse para los materiales utilizados en cada lote de apoyos. En lugar de realizar una prueba del módulo de corte para cada colada de material, el fabricante puede elegir suministrar certificados de las pruebas llevadas a cabo sobre procesos idénticos en el año anterior, a menos que el interventor autorice otra cosa. Los certificados de prueba del fabricante deben proveerse para cada lote de refuerzo.

642.5.2.1.3 Pruebas a bajas temperaturas

Los elastómeros de grados 3, 4 y 5 están sujetos a pruebas de fragilidad a bajas temperaturas (NTC 3336 (ASTM D746)), a pruebas de rigidez instantánea a bajas temperaturas (ASTM D1043), y a pruebas de cristalización a bajas temperaturas (ASTM D4014). Por su parte, los elastómeros de grados 0 al 2 están sujetos a pruebas de rigidez instantánea a bajas temperaturas (ASTM D1043). Las pruebas se deben ejecutar de acuerdo con los requisitos de las Tablas 642 – 1 y 642 – 2 y el compuesto debe satisfacer todos los límites de su grado.

Estos tres (3) tipos de pruebas, a baja temperatura en el elastómero, se deben realizar en el material utilizado en cada lote de apoyos para el material de grados 3, 4 y 5; la prueba de rigidez térmica instantánea se debe conducir en material de grado 0 al 2. Para el material de grado 3, en lugar de la prueba de cristalización a baja temperatura, el fabricante puede escoger suministrar certificados de pruebas de cristalización a baja temperatura realizadas en material idéntico en el último año, a menos que el interventor ordene lo contrario. Los materiales de grados 0 al 2 no requieren pruebas de cristalización y fragilidad a bajas temperaturas, salvo que el interventor lo solicite especialmente.

642.5.2.1.4 Inspección visual de los apoyos terminados

Cada apoyo terminado se debe inspeccionar para verificar si está de acuerdo con las tolerancias dimensionales especificadas en el numeral 642.5.2.1.8 y con la calidad total de fabricación. En los apoyos reforzados de acero, los bordes del acero deben ser protegidos en todas partes contra la corrosión.

642.5.2.1.5 Pruebas de compresión de corta duración

Los apoyos deben ser sometidos a cargas de compresión hasta uno coma cinco (1,5) veces la máxima carga muerta de diseño más la carga de compresión viva de servicio. La carga se debe sostener constante durante cinco minutos (5 min), retirar y aplicar de nuevo por

otros cinco minutos (5 min). El lote se debe examinar visualmente cuanto está sometido a la segunda carga y si se observa un paralelismo de laminado por la forma de pandeo evidente, que el espesor de una capa está por fuera de las tolerancias especificadas o la unión del laminado es deficiente, el apoyo debe ser rechazado. También debe ser causa de rechazo del lote la existencia de tres (3) o más grietas separadas de superficie con un ancho mayor de dos milímetros (2 mm) y dos milímetros (2 mm) de profundidad o una simple grieta de tres milímetros (3 mm) de profundidad o más ancha que seis milímetros (6 mm).

642.5.2.1.6 Pruebas de compresión de larga duración

El apoyo se debe someter a cargas de compresión hasta uno coma cinco (1,5) veces su carga máxima de diseño; la primera carga debe mantenerse por cinco minutos (5 min) y la segunda carga durante un período de quince horas (15 h). Si durante la prueba, la carga cae por debajo del noventa por ciento (90 %) del valor máximo de diseño, la carga debe aumentarse hasta el valor de diseño y, la duración de la prueba debe ser incrementada por un período de tiempo igual al que la carga esté por debajo de este límite. La muestra para este ensayo debe estar constituida, por lo menos, por un apoyo escogido al azar de cada tamaño y colada de material e incluir el diez por ciento (10 %) del lote, como mínimo. Los criterios de falla de la prueba o rechazo deben ser los mismos establecidos en el numeral 642.5.2.1.5 de esta especificación. Si falla un apoyo de la muestra, deben rechazarse todos los apoyos de aquel lote, a menos que el fabricante elija probar cada apoyo del lote por su cuenta, bajo la vigilancia del interventor.

A cambio de este procedimiento, el interventor puede exigir que se pruebe cada apoyo del lote.

642.5.2.1.7 Pruebas de módulo de corte

El módulo de corte del material de los apoyos terminados, se debe evaluar mediante el ensayo de una muestra cortada del material utilizando el aparato y el procedimiento descritos en el anexo A1 de la norma ASTM D4014. El módulo de corte debe quedar dentro del quince por ciento (15 %) del valor especificado o en el rango de su dureza dada en la Tabla 642 – 3, si no se especifica el módulo de corte. Si la prueba se realiza en apoyos terminados, el módulo de corte del material debe calcularse de la rigidez de corte medida en los apoyos, teniendo en cuenta la influencia de la geometría y carga compresiva del apoyo sobre la rigidez de corte.

642.5.2.1.8 Tolerancias de fabricación

Las almohadillas simples y los apoyos laminados se deben construir según las dimensiones especificadas, dentro de las siguientes tolerancias o las que fijen la especificación AASHTO M 251 o las que sean más estrictas.

642.5.2.1.8.1 Altura total

Espesor de diseño:

- 32 mm o menos: - 0, +3 mm.
- Mayor de 32 mm: -0, +6 mm.

642.5.2.1.8.2 Dimensiones horizontales totales

- 0,914 m o menos: -0, +6 mm.
- Mayor de 0,914 m: -0, +12 mm.

642.5.2.1.8.3 Espesor de las capas individuales de elastómero (apoyos laminados solamente)

En cualquier punto dentro de los apoyos: ± 3 mm.

642.5.2.1.8.4 Paralelismo con la cara opuesta

Lados superior e inferior: 0,005 radianes.

642.5.2.1.8.5 Posición de los elementos de conexión expuestos

Agujeros, ranuras o aditamentos: ± 3 mm.

642.5.2.1.8.6 Cubierta de borde

Laminados embebidos o elementos de conexión: -0, +3 mm.

642.5.2.1.8.7 Espesor, el que sea menor entre

Capa de cubierta superior e inferior (si se requiere): +1,5 mm y +20 % del espesor nominal de la capa de cubierta.

642.5.2.1.8.8 Tamaño

Agujeros, ranuras o aditamentos: ± 3 mm.

642.5.2.2 Calidad e los materiales para sello de juntas

642.5.2.2.1 Generalidades

Cada vez que lo exija el interventor, el constructor debe suministrar, sin cargo para INVÍAS, una muestra de ensayo de uno coma ocho metros (1,8 m) de longitud, por cada novecientos catorce metros (914 m) de sello o fracción, para cada fecha de manufactura; así como quinientos mililitros (500 ml) de cada lote de lubricante-adhesivo.

Los especímenes de prueba deben ser cortados de las muestras remitidas, de acuerdo con lo establecido en la norma ASTM D3183.

Así mismo, los especímenes que deben ser ensayados tras envejecimiento acelerado, deben ser cortados de una porción de la muestra envejecida.

Los especímenes para ensayos de recuperación a baja y alta temperatura deben tener aproximadamente ciento veinticinco milímetros (125 mm) de longitud y deben tomarse al azar de la muestra representativa del lote bajo prueba. Los especímenes para prueba a baja temperatura deben ser espolvoreados con talco tanto en su superficie interna como en la externa, mientras que los de ensayo a alta temperatura solamente espolvoreados levemente en su superficie exterior.

Las muestras para ensayo de cambio de peso en aceite, deben tener unos setenta y cinco milímetros (75 mm) de longitud y se deben tomar al azar de muestras representativas del lote recibido.

642.5.2.2.2 Ensayos

Las pruebas sobre el material sellante de juntas se deben efectuar de acuerdo con los procedimientos mencionados en la especificación ASTM D3542 y sus resultados deben cumplir los requisitos exigidos en la Tabla 1 de dicha especificación.

642.5.3 Calidad del producto terminado

El interventor solo debe aceptar los materiales que cumplan con las exigencias de calidad de este artículo y las especificaciones que lo complementan y que, además, hayan sido instalados correctamente, de acuerdo con los documentos del proyecto y esta especificación.

Todo defecto de calidad o de instalación que exceda las tolerancias de este artículo, debe ser corregido por el constructor, a su costa, de acuerdo con procedimientos aceptados por el interventor, sin costo adicional alguno para INVÍAS.

642.6 Medida

642.6.1 Apoyos elastoméricos

La unidad de medida debe ser la unidad (u) de apoyo elastomérico de cada tipo y dimensiones, elaborado de acuerdo con los documentos del proyecto y esta especificación e instalado y aprobado por el interventor.

642.6.2 Sello para juntas de puentes

La unidad de medida debe ser el metro (m), aproximado a la centésima (0,01), de sello de calidad apropiada, adecuadamente instalado y aceptado por el interventor. La medida se debe realizar directamente sobre el sello, dentro de los límites de colocación autorizados por el interventor. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

642.7 Forma de pago

El pago se debe realizar al respectivo precio unitario del contrato, por todo apoyo o sello elaborado, instalado y aprobado por el interventor. El precio unitario debe cubrir todos los costos por concepto de suministro de materiales, manufactura de los apoyos o sellos, transporte, mano de obra, equipo y desperdicios, así como por la instalación del apoyo o sello, incluyendo los materiales y operaciones necesarias para la preparación de superficies, ensambles, protecciones y, en general, toda actividad que resulte necesaria para terminar correctamente el trabajo especificado de acuerdo con los documentos del proyecto aprobados por el interventor y esta especificación.

El ítem y nombre de pago se puede adaptar según los tipos o medidas posibles (reforzado o simple, dimensiones, entre otros) y el sistema y ancho de junta.

El precio unitario debe incluir, además, los costos de patentes que utilice el constructor, la elaboración de los planos de trabajo, el costo de las pruebas y ensayos, el suministro de muestras para ensayo y la señalización preventiva de la vía y el ordenamiento del tránsito automotor durante el lapso de ejecución de los trabajos. También, debe incluir la administración, los imprevistos y la utilidad del constructor.

642.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
642.1	Apoyo elastomérico	Unidad (u)
642.2	Sello para juntas de puentes	Metro (m)

Estructuras de acero

Artículo 650 – 22

650.1 Descripción

Este trabajo consiste en el diseño, fabricación, transporte, montaje y pintura de estructuras de acero, soldadas y/o pernadas, de acuerdo con los documentos del proyecto, las especificaciones, la Norma Colombiana de Diseño de Puentes, la NTC 5832, la AISC-360, la AISC-303, el *Steel Construction Manual* (AISC). Comprende, además, el suministro de todos los materiales requeridos para la fabricación de las estructuras, tales como láminas, perfiles, platinas, pernos, remaches, elementos para soldadura y piezas o metales especiales.

650.2 Materiales

650.2.1 Acero

El acero se debe suministrar de acuerdo con las especificaciones que se indican a continuación. Mientras los documentos del proyecto o las especificaciones particulares no establezcan lo contrario, debe ser del tipo de acero al carbono.

650.2.1.1 Acero estructural

El acero estructural implementado en elementos principales al carbono debe cumplir las especificaciones AISC 360.

En estas especificaciones se acepta el uso de los materiales que cumplen las siguientes normas:

- Perfiles de acero aleado templado y revenido con resistencia máxima a la tensión de novecientos ochenta megapascales (980 MPa), que cumplan con todas las propiedades químicas y mecánicas de la NTC 4005 (ASTM A709) grado HPS 100W, deben ser considerados como NTC 4005 (ASTM A709) Grado HPS 100W.
- NTC 1920 (ASTM A36).
- NTC 3470 (ASTM A53 Grado B).
- NTC 1950 (ASTM A242).
- NTC 1986, ASTM A1085, ASTM A500, Grados B o C o, ASTM A847.
- NTC 2374 (ASTM A501).
- NTC 6 (ASTM A1011).
- NTC 1985 (ASTM A572).
- NTC 2012 (ASTM A588).
- NTC 4001 (ASTM A618).
- NTC 4005 (ASTM A709).
- NTC 4007 (ASTM A529).
- NTC 4009 (ASTM A606).
- NTC 4014 (ASTM A514).
- NTC 5091 (ASTM A1008).
- ASTM A913.
- NTC 6147 (ASTM A992).
- ASTM A847.
- ASTM A1065.
- NTC 6207 (ASTM A1085).
- ASTM A1066.

Se puede considerar como prueba suficiente del cumplimiento de las anteriores normas, el informe certificado que en tal sentido extienda la acería, de acuerdo con sus ensayos, o de los ensayos que realice el fabricante con base en los requisitos de las normas NTC 4537 (ASTM A6) o NTC 7 (ASTM A568), según sea aplicable, en un laboratorio que cuente con experiencia y/o trayectoria en ejecución de pruebas y ensayos de control de calidad del acero, que pueda demostrar apropiadamente la competencia de su personal de laboratorio y cuyos informes de resultados informados contengan la aprobación y la autorización para su emisión, mediante la firma del responsable técnico facultado para ello. El laboratorio debe contar con todo el equipamiento principal y auxiliar necesario para el correcto desempeño de sus actividades y asegurar que estos cuenten con la exactitud y la precisión adecuadas para lograr resultados válidos. El laboratorio debe contar con un programa de calibración de sus equipos y se debe asegurar que los resultados de la medición sean trazables al Sistema Internacional de Unidades (SI) mediante alguna de las siguientes alternativas:

- La calibración de los equipos proporcionados por un laboratorio de metrología acreditado por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC).
- La comparación directa o indirecta a patrones nacionales o internacionales que cuenten con unidades del SI.
- Los valores certificados de materiales de referencia (MRC) proporcionados por productores competentes con trazabilidad metrológica al SI.

Si se le solicita, el fabricante debe proporcionar una certificación en que conste que el acero estructural del suministro cumple los requisitos del grado especificado.

Con autorización del diseñador estructural, se puede utilizar acero sin identificar, si su aspecto superficial es aceptable según los criterios de la NTC 4537 (ASTM A6), en la fabricación de partes o detalles de menor importancia, siempre y cuando las propiedades físicas y la soldabilidad del acero no afecten la resistencia de la estructura.

En caso de utilizar el acero conocido como de "calidad comercial", la resistencia, en términos del límite de fluencia, no se debe suponer mayor de doscientos veinticinco megapascales (225 MPa) y, a su vez, la resistencia última no mayor de trescientos sesenta megapascales (360 MPa), a menos que mediante ensayos se pueda demostrar una resistencia mayor. El uso de este tipo de acero requiere autorización del diseñador estructural.

Excepto en marcos transversales y diafragmas de puentes curvos horizontalmente, todo el acero usado en miembros principales sujetos a tensión de puentes debe cumplir con la prueba de dureza (Charpy V) acorde con la NTC 4005 (ASTM A709).

650.2.1.2 Barras de ojo

El acero para barras de ojo debe ser del tipo soldable que cumpla la especificación NTC 4005 (ASTM A709), grados 36 o 50W.

650.2.1.3 Pernos, arandelas y tuercas

Los pernos de acero deben cumplir alguna de las siguientes normas:

- NTC 858 (ASTM A449).

- NTC 4034 (ASTM A 307).
- ASTM F3125.
- ASTM A354.
- ASTM F3043.
- ASTM F3111.
- ASTM A194.
- ASTM A563.
- ASTM F436.
- ASTM F959.

Las dimensiones de los pernos y tuercas se deben ajustar a las dimensiones de la Tabla 650 – 1 y a los requisitos para pernos y tuercas hexagonales pesadas dados en las normas ANSI B18.2.1 y B18.2.2, respectivamente.

Se deben usar pernos NTC 858 (ASTM A449) solamente en conexiones que requieran pernos de diámetros superiores a treinta y ocho milímetros (38 mm); no se deben implementar en conexiones de deslizamiento crítico.

Se debe aceptar la certificación del fabricante como prueba del cumplimiento con estas normas.

Los pernos galvanizados de alta resistencia deben ser pernos ASTM F3125, tipo uno (1) o tipo dos (2), galvanizados por el proceso de inmersión en caliente o por el proceso mecánico de galvanización. Si los pernos tipo dos (2) se galvanizan por el proceso de inmersión en caliente, deben probarse a tracción después de galvanizado de acuerdo con el numeral 7.5.3 de la norma ASTM F3125. Las tuercas y pernos del mismo ensamble deben ser galvanizados por el mismo proceso.

Las arandelas circulares deben ser planas y lisas y sus dimensiones nominales deben cumplir los requisitos de la norma ASTM F436 y las dimensiones de la Tabla 650 – 2. No deben utilizarse arandelas planas para pernos de seguridad sujetadores de collar, a menos que se especifiquen agujeros ranurados o sobredimensionados.

Las arandelas ahusadas para vigas y canales, fabricadas según las normas americanas u otras caras ahusadas que se requieran cuadradas o rectangulares, deben cumplir los

Tabla 650 – 1. Dimensiones de pernos y tuercas

Dimensiones de pernos (en pulgadas) Perno hexagonal pesado				Dimensiones de tuercas (en pulgadas) Tuerca hexagonal pesada	
Tamaño nominal perno (D)	Ancho entre caras planas (F)	Altura de cabeza (H)	Longitud de rosca (T)	Ancho entre caras planas (W)	Altura (H)
1/2	7/8	5/16	1	7/8	31/64
5/8	1 – 1/16	25/64	1 – 1/4	1 – 1/16	39/64
3/4	1 – 1/4	15/32	1 – 3/8	1 – 1/4	47/64
7/8	1 – 7/16	35/64	1 – 1/2	1 – 7/16	55/64
1	1 – 5/8	39/64	1 – 3/4	1 – 5/8	63/64
1 – 1/8	1 – 13/16	11/16	2	1 – 13/16	1 – 7/64
1 – 1/4	2	25/32	2	2	1 – 7/32
1 – 3/8	2 – 3/16	27/32	2 – 1/4	2 – 3/16	1 – 11/32
1 – 1/2	2 – 3/8	15/16	2 – 1/4	2 – 3/8	1 – 15/32

requisitos de la norma ASTM F436 y las dimensiones dadas en la Tabla 650 – 2.

Si se requiere, se puede recortar un lado de la arandela hasta una distancia no inferior a siete octavos (7/8) el diámetro del perno, tomada desde el centro de la arandela.

Siempre y cuando se tenga la aprobación del interventor, se pueden utilizar otros sujetadores o sistemas de fijación que cumplan con los materiales, fabricación y los requisitos de composición química de los pernos ASTM F3125 y que cumplan, además, los requisitos de las propiedades mecánicas de la misma especificación en pruebas a escala natural. Así mismo, deben tener el diámetro del cuerpo y las áreas de apoyo bajo la cabeza y tuerca, o su equivalente, no inferiores a los provistos por un perno y tuerca de las mismas dimensiones nominales prescritas en el enunciado anterior. Dichos sujetadores alternos, pueden diferir en otras dimensiones de aquellas de los pernos y tuercas especificados.

650.2.1.4 Pernos de anclaje y varillas roscadas

Los pernos de anclaje y las varillas roscadas deben cumplir alguna de las siguientes normas:

- NTC 1920 (ASTM A36).
- NCT 1985 (ASTM A572).
- NTC 2012 (ASTM A588).
- ASTM A193.
- ASTM A354.

Tabla 650 – 2. Dimensiones de arandelas (Nota 1)

Arandelas circulares					Arandelas ahusadas cuadradas rectangulares para vigas y canales estándar		
Diámetro del perno	Diámetro nominal externo (Nota 2)	Diámetro nominal agujero	Espesor		Dimensión mínima lado	Espesor promedio	Ahusado en espesor
			Min.	Máx.			
1/2	1 – 1/16	17/32	0,097	0,177	1 – 3/4	5/16	1:6
5/8	1 – 5/16	21/32	0,122	0,177	1 – 3/4	5/16	1:6
3/4	1 – 15/32	13/16	0,122	0,177	1 – 3/4	5/16	1:6
7/8	1 – 3/4	15/16	0,136	0,177	1 – 3/4	5/16	1:6
1	2	1 – 1/16	0,136	0,177	1 – 3/4	5/16	1:6
1 – 1/8	2 – 1/4	1 – 1/4	0,136	0,177	2 – 1/4	5/16	1:6
1 – 1/4	2 – 1/2	1 – 3/8	0,136	0,177	2 – 1/4	5/16	1:6
1 – 3/8	2 – 3/4	1 – 1/2	0,136	0,177	2 – 1/4	5/16	1:6
1 – 1/2	3	1 – 5/8	0,136	0,177	2 – 1/4	5/16	1:6
1 – 3/4	3 – 3/8	1 – 7/8	0,178	0,28	-	-	-
2	3 – 3/4	2 – 1/8	0,178	0,28	-	-	-
De 2 a 4	2D – 1/2	D + 1/8	0,24	0,34	-	-	-

Nota 1: todas las dimensiones están en pulgadas.

Nota 2: se puede exceder en un cuarto (1/4) de pulgada.

- ASTM A449.
- ASTM F1554.

Las roscas de los pernos y varillas deben cumplir las especificaciones detalladas en las "Series Estándares Unificadas" de la última edición de la norma ASME B.18.2.6. Las tolerancias deben ser de clase 2A.

El material NTC 858 (ASTM A449) debe ser aceptable para pernos de anclaje y varillas roscadas de alta resistencia de cualquier diámetro.

Se debe aceptar la certificación del fabricante como prueba del cumplimiento con las normas.

650.2.1.5 Transmisores de cortante soldados

Los transmisores de cortante deben cumplir los requisitos para barras de acero al carbono formado en frío, ASTM A108 barras estiradas en frío, grados 1015, 1018 o 1020 (ASTM A29), semi o completamente apagadas. Si se utilizan casquetes para retención del fundente, el acero de estos debe ser de un grado de bajo contenido de carbono apropiado para soldadura y que cumpla la especificación ASTM A109.

Las propiedades mecánicas, determinadas por ensayos del acero en barras luego de su estiramiento o de conectores terminados, deben cumplir los siguientes requisitos:

- Resistencia a la tracción (mínima): cuatrocientos veinte megapascales (420 MPa)
- Límite de fluencia (mínimo): trescientos cincuenta megapascales (350 MPa)
- Elongación en dos (2) pulgadas (mínimo): veinte por ciento (20 %)
- Reducción de área (mínima): cincuenta por ciento (50 %)

Las propiedades mecánicas se deben determinar de acuerdo con las secciones aplicables de la norma ASTM A370. Las pruebas de tensión de los pernos terminados se deben hacer en pernos soldados a platinas de prueba que utilizan una plantilla tal como lo indica la norma AWS D1.1. Si ocurre fractura fuera de la mitad central de la longitud en la escala, se debe repetir la prueba.

Los pernos terminados deben ser de calidad y apariencia uniforme, libres de astillas perjudiciales, rebabas, fisuras, grietas, torceduras, dobleces u otros defectos. El acabado debe ser el conseguido por estiramiento en frío, laminado en frío o maquinado.

El fabricante debe certificar que los pernos se ajustan a los requisitos de material del presente numeral. A solicitud del interventor, deben remitirse copias certificadas de los informes de control de calidad hechos en la planta.

650.2.1.6 Pilotes tubulares de acero

Los pilotes tubulares de acero deben cumplir los requisitos de la norma ASTM A252, grado 2 para pilotes de tubería metálica soldada sin costura, con requerimientos químicos según la norma ASTM A53, grado B.

650.2.2 Metal de aporte y fundente para soldadura

Los electrodos y fundentes para soldadura deben cumplir una de las siguientes normas,

correspondientes de la Sociedad Americana de Soldadura (AWS):

- AWS A5.1 (NTC 2191).
- AWS A5.5 (NTC 2253).
- AWS A5.28 (NTC 3570).
- AWS A5.23 (NTC 3623).
- AWS A5.18 (NTC 2632).
- AWS A5.17 (NTC 2677).
- AWS A5.20.
- AWS A5.29.
- AWS A5.25.
- AWS A5.26.
- AWS A5.32.
- AWS A.5.36.

Se acepta la certificación del fabricante como prueba del cumplimiento con las normas. Los electrodos y metales de aporte seleccionados, deben ser los apropiados para la aplicación prevista. .

650.2.3 Piezas forjadas y ejes de acero

650.2.3.1 Piezas forjadas de acero

El acero fundido debe cumplir una de las siguientes especificaciones:

- NTC 4003 (ASTM A27 Grado 65 – 35).
- ASTM A148 Grado 80 – 50.
- ASTM A216.

Las piezas forjadas se deben ajustar a la norma:

- NTC 4038 (ASTM A668), clases C, D, F o G.

Se aceptan los informes certificados de ensayo, como prueba del cumplimiento de la norma.

650.2.3.2 Ejes de acero al carbono formado en frío

Los ejes de acero al carbono formado en frío deben cumplir las especificaciones para barras y ejes de acero al carbono en frío, de la norma ASTM A108. A menos que se especifique diferente, deben suministrarse los grados 10160 a 10300 (ASTM A29), inclusive.

650.2.4 Fundiciones de acero

650.2.4.1 Fundiciones de acero para puentes

Las fundiciones de acero para componentes de puentes de vías deben cumplir las especificaciones estándar para fundiciones de puentes de carreteras, norma ASTM A781 Clase setenta (70) o fundiciones de acero al carbono de resistencia suave a media para aplicaciones generales, norma ASTM A27. A menos que se especifique algo distinto, se deben emplear la clase setenta (70) o grados 70 – 36 de acero, respectivamente o ASTM A743 Grado CA 15.

650.2.4.2 Fundiciones de acero con aleaciones de cromo

Las fundiciones de acero con aleaciones de cromo deben cumplir las especificaciones para fundiciones de hierro-cromo, de hierro-cromo-níquel, resistentes a la corrosión para aplicaciones generales, norma ASTM A743. Se debe suministrar Grado CA 15, a menos que se especifique de otra manera.

650.2.5 Fundiciones de hierro

Deben ser fundiciones de hierro gris que cumplan las especificaciones para fundiciones de hierro gris, norma ASTM A48, clase treinta (30), a menos que se especifique algo diferente.

650.2.6 Fundiciones de hierro dúctil

Deben cumplir las especificaciones para fundiciones de hierro dúctil, norma ASTM A536 grado 60 – 40 – 18, a menos que se especifique de otra manera.

650.2.7 Fundiciones maleables

Deben cumplir las especificaciones para fundiciones de hierro maleable, norma ASTM A47.

Se debe suministrar grado 22010, a menos que se especifique diferente.

650.2.8 Fundiciones de bronce y chapas de aleaciones de cobre

650.2.8.1 Fundiciones de bronce

Deben cumplir las especificaciones estándar para fundiciones de bronce para puentes y tornavías, ASTM B22 aleaciones C86300, C90500, C91100, C91300 y C93700.

650.2.8.2 Chapas de aleaciones de cobre

Deben cumplir las especificaciones estándar para láminas y platinas de apoyo y de expansión de aleaciones de cobre para puentes y otras aplicaciones estructurales, norma ASTM B100.

650.2.9 Materiales para juntas y apoyos

650.2.9.1 Láminas de plomo

Deben cumplir los requisitos para plomo común desplatinizado de las especificaciones para plomo en lingotes, norma ASTM B29.

650.2.9.2 Láminas de zinc

Deben cumplir los requisitos del Tipo II de las especificaciones para zinc laminado, norma ASTM B69.

650.2.9.3 Láminas de bronce o de aleación de cobre

Las láminas de bronce deben cumplir los requisitos de la norma ASTM B22, para aleación C91100, y las de aleación de cobre los requisitos de la norma ASTM B69, aleación C51000.

Las láminas deben ser lubricadas y el compuesto lubricante debe ser grafito y sustancias metálicas con un ligante lubricante resistente a la acción de la intemperie.

650.2.9.4 Almohadillas elastoméricas de soporte

Deben cumplir lo indicado en la especificación del artículo 642, Apoyos y sellos para juntas de puentes.

650.2.9.5 Almohadillas preformadas de caucho y fibra de algodón

Deben cumplir con las especificaciones indicadas en el artículo 642. Deben ser fabricadas de caucho no vulcanizado y de capas de fibras nuevas de algodón, comprimidas y

vulcanizadas para formar almohadillas del grosor especificado, de acuerdo con la *Federal Specification* MIL-C-882E, y deben tener una resistencia a la compresión, perpendicular a las laminaciones, no menor de setecientos kilogramos por centímetro cuadrado (700 kg/cm^2), sin reducción perjudicial de su espesor.

650.2.10 Materiales para cubrimiento

650.2.10.1 Galvanizado

Cuando se indica en los documentos del proyecto o se especifica en las disposiciones especiales, los productos de metal ferroso deben ser galvanizados de acuerdo con las especificaciones para revestimientos de zinc (galvanizado en caliente) de productos fabricados de perfiles de acero laminado, prensado y forjado, platinas, barras y flejes, norma ASTM A123. Sujetadores y aditamentos deben ser galvanizados de acuerdo con la norma ASTM A153, excepto los sujetadores y aditamentos de alta resistencia, los cuales deben ser galvanizados conforme al anexo A1 de ASTM F3125.

650.2.10.2 Pintura

650.2.10.2.1 Pintura de taller

Se debe realizar en concordancia con lo establecido en el capítulo M sección M3 de AISC-360.

650.2.10.2.1.1 Requisitos generales

La preparación de la superficie y la pintura de taller, se deben ajustar a los requisitos del Código de Práctica Estándar del AISC. No se requiere pintura de taller si no se especifica claramente en los documentos del contrato.

650.2.10.2.1.2 Superficies inaccesibles

Excepto las superficies en contacto, las superficies inaccesibles después del ensamble de taller se deben limpiar y pintar con anterioridad al ensamble, de acuerdo con los requisitos de los documentos de diseño.

650.2.10.2.1.3 Superficies de contacto

Se permite incondicionalmente la pintura en conexiones tipo aplastamiento. Para conexiones por fricción, el requisito de la superficie de contacto debe estar de acuerdo con la sección 3.3.2. de las especificaciones para juntas estructurales del RCSC.

650.2.10.2.1.4 Superficies acabadas

Las superficies terminadas a máquina, se deben proteger contra la corrosión por medio de una película inhibidora de óxido que se pueda remover antes del montaje o que tenga características que hagan innecesaria su remoción antes de efectuarlo.

650.2.10.2.1.5 Superficies adyacentes a soldaduras de campo

A menos que se especifique otra cosa en los documentos del proyecto, las superficies a menos de cincuenta milímetros (50 mm) de sitios donde se hayan de aplicar soldaduras de campo, deben estar libres de materiales que impidan el soldado correcto o que produzcan gases inseguros o inaceptables mientras se realiza la soldadura.

650.2.10.2.1.6 Pintura de campo

Los retoques de pintura, la limpieza de la estructura, así como la pintura general, deben realizarse de acuerdo con la NTC 5832 y con los documentos del proyecto y especificaciones de diseño.

650.2.11 Soldadura

La soldadura de estructuras de acero, cuando se autoriza, debe cumplir la norma AWS D1.1 del Código de Soldadura Estructural de la AWS. Para las estructuras de puentes, debe cumplirse también con las especificaciones del AWS D1.5

650.2.12 Abrasivos y disolventes

Los abrasivos utilizados para la limpieza superficial del acero estructural deben ser arena seca limpia, arenisca mineral o limaduras de acero, a opción del constructor, los cuales deben tener una gradación aprobada para producir resultados satisfactorios.

No se debe permitir el uso de otros abrasivos, sin la aprobación previa del interventor.

A menos que las disposiciones especiales lo prohíban, se pueden emplear disolventes para retirar aceite, grasa u otros contaminantes solubles de acuerdo con la norma SSPC-SP1.

650.3 Equipo

El constructor debe poner a disposición de los trabajos todos los equipos y herramientas necesarios para la correcta y oportuna fabricación de las piezas de acero estructural, de acuerdo con los documentos del proyecto. Además, debe proporcionar los vehículos para su transporte a la obra, así como todas las armazones provisionales y las herramientas, maquinaria, artefactos y pernos ajustadores necesarios para la marcha efectiva del trabajo.

El montaje en el campo de las partes componentes de una estructura, implica el uso de métodos y artefactos que no produzcan daños por torcedura, dobladura u otra deformación del metal.

650.4 Ejecución de los trabajos

650.4.1 Diseño, planos e identificación del acero durante la etapa de fabricación

650.4.1.1 Diseño y planos

Cuando el contrato incluya el diseño definitivo de la estructura de acero, el constructor debe elaborar el proyecto estructural definitivo a partir del anteproyecto, de la información existente y de los resultados de los estudios básicos e investigaciones previas.

El proyecto estructural definitivo debe comprender la elaboración de cálculos, planos de detalle, recomendaciones y demás pormenores característicos, sin omitir parte alguna por haber sido tenida en cuenta en el anteproyecto, de tal manera que con dicho proyecto se pueda construir la obra en la forma más favorable desde los puntos de vista ambiental y económico, garantizándose que sea resistente, funcional, duradera y estética.

El constructor debe someter copias de los planos detallados de fabricación, taller y montaje a la aprobación del interventor. Cualquier trabajo hecho con anterioridad a la aprobación de dichos planos, debe ser a riesgo del constructor. Igualmente, los planos deben contener las calidades y los tamaños y dimensiones detalladas de las partes componentes de la estructura y detalles de las partes misceláneas, como tuercas, pernos, etc.

Para puentes, todos los diseños deben adelantarse siguiendo las especificaciones de la Norma Colombiana de Diseño de Puentes. Para edificaciones, los diseños se ajustan al Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. Para otro tipo de estructuras, los diseños deben cumplir con ASCE-7 y AISC 360.

La aprobación de los diseños o planos, no exime al constructor de su responsabilidad por la correcta ejecución de los trabajos ni por la estabilidad de la obra luego de construida.

650.4.1.2 Identificación de aceros durante la fabricación

650.4.1.2.1 Identificación por el constructor

El constructor debe suministrar al interventor copias certificadas de todos los informes de análisis químicos y pruebas físicas para cada colada de acero, para todos los elementos, siempre que este los requiera. Cada pieza de acero que se ha de fabricar, debe identificarse convenientemente para el interventor.

Los planos de taller deben caracterizar específicamente cada pieza fabricada. Las piezas hechas de acero de grados diferentes no deben tener la misma marca de ensamble o montaje, aunque sean de dimensiones y detalles idénticos.

El sistema de marcas guías utilizado por el constructor para piezas individuales y las instrucciones de corte dadas al taller (generalmente referenciando las marcas guías en los planos de taller con el ítem correspondiente a la orden de compra) deben ser tales, que permitan identificar el número del informe de las pruebas de fábrica.

El constructor puede suministrar material en existencia, siempre que pueda ser identificado por el número de colada y el informe de pruebas de fábrica.

Cualquier material almacenado para uso posterior, debe marcarse con el número del informe de pruebas de fábrica y con el código de identificación por colores (Tabla 650 – 3) de la NTC 4537 (ASTM A6).

650.4.1.2.2 Identificación de aceros durante la fabricación

Durante la etapa de fabricación, cada pieza de acero, debe llevar en forma clara y legible su código de identificación por colores mostrado en la Tabla 650 – 3, para acero (NTC 4005 (ASTM A709)).

Las piezas de acero marcadas individualmente que se utilizan en el tamaño suministrado, o que tienen un tamaño reducido por el desbastado de un borde o extremo que no altera el número de colado o código de color, se pueden utilizar sin codificación adicional, siempre y cuando permanezca legible el número de colado o código de color.

Igual, las piezas de acero que se han de cortar en piezas de menor tamaño, antes de ser cortadas, se deben marcar en forma legible con el código de identificación por colores de la norma.

Las piezas individuales de acero que se han de suministrar en paquetes rotulados, deben marcarse con el código de identificación por color, antes de su retiro del paquete.

Por su parte, las piezas de acero de calidad diferente al acero NTC 4005 (ASTM A709) grado 36, que previamente al ensamble deben estar sujetas a operaciones de fabricación tales como limpieza con aire, galvanizado, tratamiento térmico o pintura que borre la marca del código de color, deben ser marcadas con troqueles de acero o mediante un rótulo resistente bien pegado.

Se debe utilizar el código de la Tabla 650 – 3 para identificar los aceros, en concordancia con esta especificación, durante toda la operación de fabricación.

Otros aceros con excepción del acero (NTC 1920 (ASTM A36)), deben tener un código de color individual que debe establecerse y registrarse para el interventor.

Tabla 650 – 3. Código de identificación por colores

Norma	Código / color
NTC 4005 (ASTM A709)	Grado 100 rojo
NTC 4005 (ASTM A709)	Grado 100W rojo y naranja
NTC 4005 (ASTM A709)	Grado 50 verde y amarillo
NTC 4005 (ASTM A709)	Grado 50W azul y amarillo

650.4.2 Fabricación

El constructor debe elaborar sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), los planos de fabricación, taller y montaje de todas las estructuras metálicas. Estos planos son entregados para revisión y aprobación de la interventoría antes del inicio de la fabricación de la estructura. Por tanto, el inicio de la fabricación de las estructuras metálicas sin la aprobación de dichos planos por parte de la interventoría puede generar el rechazo por parte del interventor de todos los elementos fabricados. No se puede realizar la instalación o montaje de ninguna estructura de acero sin la aprobación de los planos de fabricación, taller y montaje.

650.4.2.1 Almacenamiento de materiales

El material estructural, corriente o prefabricado, debe almacenarse en los talleres y en el sitio de la obra sobre plataformas elevadas, rodillos o cualquier otro tipo de soporte. Se debe mantener libre de tierra, grasa o cualquier materia extraña y proteger siempre contra la corrosión.

650.4.2.2 Montaje en el taller

El montaje total de una estructura completa, incluyendo el sistema de piso o el montaje de componentes individuales de la misma como armaduras, nervaduras de arcos, vigas continuas o vigas maestras, castilletes, caballetes y marcos rígidos, se debe realizar en el taller en la forma que sea requerida en los documentos del proyecto. En caso contrario, el constructor puede optar por el montaje parcial en taller, que debe ser el mínimo trabajo de taller requerido antes de iniciar las operaciones de escariado o las de taladrado en metal sólido, a tamaño normal que deban ser efectuadas en el campo.

650.4.2.3 Perforación de agujeros para pernos

650.4.2.3.1 Perforación de los agujeros

Todos los agujeros para los pernos de alta resistencia deben ser punzonados, escariados o taladrados. Los agujeros terminados al tamaño normal deben ser de uno coma seis milímetros (1,6 mm) (1/16 de pulgada), mayores que el diámetro nominal del perno.

El material que forme parte de una pieza compuesta de no más de cinco (5) espesores de metal, puede ser punzonado a uno coma seis milímetros (1,6 mm) (1/16 de pulgada) más grande que el diámetro nominal del perno, siempre que el grueso del metal no sea mayor de uno coma noventa y un centímetros (1,91 cm) (¾ de pulgada) para acero al carbono, de uno coma cincuenta y nueve centímetros (1,59 cm) (5/8 de pulgada) para acero de aleación y de uno coma veintisiete centímetros (1,27 cm) (½ pulgada) para acero templado y revenido.

Cuando el material que forme parte de una pieza compuesta sea de más de cinco (5) espesores de metal, o alguno de los principales materiales sea más grueso que uno coma noventa y un centímetros (1,91 cm) (¾ de pulgada) para el acero al carbono; de uno coma cincuenta y nueve centímetros (1,59 cm) (5/8 de pulgada) para acero de aleación y de uno coma veintisiete centímetros (1,27 cm) (½ pulgada) para acero templado y revenido, todos los agujeros deben ser punzonados o taladrados a un diámetro menor de cero coma cuatrocientos setenta y seis centímetros (0,476 cm) (3/16 de pulgada), más pequeño que el diámetro nominal del perno y luego, durante el montaje fresados o escariados uno coma seis milímetros (1,6 mm) (1/16 de pulgada) mayores que el diámetro nominal del perno. También, pueden ser taladrados en el metal sólido uno coma seis milímetros (1,6 mm) (1/16 de pulgada) mayores que el diámetro nominal del perno.

650.4.2.3.2 Perforaciones para pernos nervados, pernos torneados u otros pernos aprobados tipo aplastamiento.

Todas las perforaciones para pernos nervados, pernos torneados u otros pernos tipo aplastamiento, se deben taladrar cero coma cuatrocientos setenta y seis centímetros (0,476 cm) (3/16 de pulgada) más pequeños que el diámetro nominal del perno y ensanchar, montar o taladrar con la ayuda de una plantilla metálica o después de montaje, a opción del fabricante. En ningún caso, las perforaciones terminadas deben necesitar un ajuste a martillo.

650.4.2.3.3 Agujeros a punzón

El diámetro del troquel o matriz no debe exceder de uno coma seis milímetros (1,6 mm) (1/16 de pulgada) del diámetro nominal del perno. Si algunos de los agujeros se deben ampliar para admitir los pernos, se deben escariar.

Los agujeros punzonados deben estar bien definidos sin bordes rasgados, rotos o disparejos.

La deficiente coincidencia de agujeros debe ser causa suficiente para su rechazo.

650.4.2.3.4 Agujeros taladrados o escariados

Los agujeros taladrados o fresados deben ser cilíndricos, perpendiculares a la pieza y no mayores de uno coma seis milímetros (1,6 mm) (1/16 de pulgada) que el diámetro nominal del perno. Cuando sea factible, los escariadores se deben dirigir por medios mecánicos. Las rebabas en la superficie exterior, deben ser eliminadas y, debe ser motivo de rechazo, la deficiente coincidencia de los agujeros. El taladro y el escariado se deben hacer con brocas helicoidales.

Así mismo, las piezas armadas se deben desarmar para quitarles las rebabas ocasionadas por el taladrado.

650.4.2.3.5 Agujeros para conexiones en obra, de miembros principales

A menos que se indique en otra forma en las especificaciones particulares, los agujeros para pernos de todas las conexiones y empalmes en obra, de piezas principales de armaduras, vigas y demás miembros principales, deben ser punzonados o taladrados a un diámetro menor y posteriormente escariados al tamaño normal con una plantilla de acero, mientras se efectúa su montaje.

650.4.2.3.6 Agujeros para conexiones en obra, de otros miembros que no sean principales

Con excepción de los miembros principales mencionados anteriormente y donde no se requiera en los documentos del proyecto, perforación a un diámetro menor y posterior escariado, los agujeros en el material de uno coma noventa y un centímetros (1,91 cm) (¾ de pulgada) o menos de espesor, deben ser perforados al diámetro total. Los agujeros de material de más de uno coma noventa y un centímetros (1,91 cm) (¾ de pulgada) de espesor, deben perforarse a un diámetro menor y luego escariados o bien taladrados en sólido, al tamaño normal.

50.4.2.3.7 Precisión de los agujeros punzonados y de los taladrados a diámetro menor

Todos los agujeros punzonados al tamaño normal, punzonados a un diámetro menor o taladrados a un diámetro menor, deben hacerse con una precisión tal, que después de ensambladas las piezas (y antes de realizar el escariado) se pueda pasar perpendicularmente a las piezas y sin desalineado, una varilla cilíndrica de cero coma treinta y dos centímetros (0,32 cm) (1/8 de pulgada) menor que el diámetro nominal del agujero en, por lo menos, un setenta y cinco por ciento (75 %) de cualquier grupo contiguo de agujeros en el mismo plano. Si este requisito no se cumple, deben ser rechazadas las piezas incorrectamente perforadas. Si hay algún agujero que no

permita el paso de una varilla de cero coma cuatrocientos setenta y seis centímetros (0,476 cm) (3/16 de pulgada) menor que el diámetro nominal del agujero perforado, debe ser causa suficiente para rechazarlo.

650.4.2.3.8 Precisión de los agujeros escariados y de los taladrados a tamaño normal

En el caso de los agujeros escariados y los taladrados a tamaño normal, el ochenta y cinco por ciento (85 %) de ellos en cualquier grupo contiguo, después del escariado o taladrado, no debe mostrar una desviación mayor de cero coma ocho milímetros (0,8 mm) (1/32 de pulgada) entre espesores adyacentes de metal.

650.4.2.4 Enderezamiento del material

Todo el material estructural deformado debe ser enderezado por métodos adecuados, antes de ser armado, abrirle agujeros o trabajado de otra manera en el taller.

Las torceduras y dobleces ásperos o filosos deben ser causa de rechazo del material. El enderezado de extremos doblados de láminas, angulares y otros perfiles, se debe hacer por métodos que no causen fractura u otros daños al material. Ningún metal debe ser calentado, a menos que esto sea estrictamente necesario. Por ello, las temperaturas máximas de calentamiento no deben exceder los quinientos noventa grados Celsius (590 °C) para aceros NTC 4014 (ASTM A514) y NTC 4012 (ASMT A852), para otros tipos de acero las temperaturas máximas de calentamiento no deben exceder seiscientos cincuenta grados Celsius (650 °C). Después del calentamiento, el metal debe enfriarse lentamente. A continuación del enderezado de una dobladura, la superficie del metal se debe inspeccionar cuidadosamente, buscando señales de posibles fracturas.

Excepto cuando se requiera una contraflecha, el material debe llenar los siguientes requisitos de rectitud, cuando haya sido colocado en su lugar en el campo. La desviación permisible para una línea recta no debe exceder de un milímetro por metro (1 mm/m).

Además, no se debe usar ningún arriostramiento transversal u otros medios para forzar a un miembro a mantener la rectitud necesaria durante su armado.

650.4.2.5 Curvatura de vigas laminadas y ensambladas

La operación de curvado se debe realizar al calor antes de pintar el elemento; sin embargo, se puede efectuar antes o después de completar la soldadura que se requiera para los atiesadores transversales intermedios. El calentamiento se debe conducir de tal manera que la temperatura del acero no exceda la temperatura especificada en el numeral 650.4.2. La viga no se puede enfriar artificialmente hasta tanto la temperatura haya descendido a trescientos quince grados Celsius (315 °C).

Los aceros fabricados a un punto mínimo de fluencia en exceso de trescientos cincuenta megapascales (350 MPa), no pueden ser curvados al calor.

650.4.2.6 Corte a la llama

El acero estructural, puede ser cortado a la llama, siempre que se obtenga una superficie lisa, libre de muescas y grietas y un perfil

exacto mediante el empleo de una perfiladora mecánica. El corte de llama manual (a pulso) se debe hacer únicamente cuando sea autorizado en las especificaciones particulares. Por ello, la llama cortante debe ser ajustada y manipulada de modo que se evite cortar más allá (hacia adentro) de las líneas prescritas.

Las muescas, grietas y asperezas superficiales que no excedan de cinco milímetros (5 mm) de profundidad, pueden ser eliminadas por cepillado o esmerilado. Los defectos en bordes cortados con llama, no deben ser reparados mediante soldadura, excepto cuando así se indique en las especificaciones particulares. Se pueden reparar con este método muescas o ranuras ocasionales con una profundidad menor de diez milímetros (10 mm), en aquellos tipos de acero estructural considerados como soldables de acuerdo con las normas ASTM o NTC, para el acero de que se trate. La soldadura terminada debe esmerilarse para dejarla lisa y pareja con la superficie contigua.

650.4.2.7 Ajuste para el empernado

Las superficies de metal que entren en contacto, se deben limpiar antes del montaje. Las partes de un miembro se deben montar bien aseguradas y firmemente unidas con pernos antes de empezar el escariado. Las piezas montadas se deben separar, si es necesario, para la remoción de rebabas y virutas producidas por el escariado. Todos los miembros deben estar libres de torceduras, dobladuras y otras deformaciones.

650.4.2.8 Diagrama de contraflechas

El constructor debe proporcionar al interventor un diagrama de contraflechas mostrando la contraflecha en todos los nudos de cada tramo o panel para cada armadura, tomado de las verdaderas medidas obtenidas durante el montaje en el taller, si se trata de montaje completo.

Cuando se use un montaje parcial, el diagrama de contraflechas se debe basar en los valores calculados en cada nudo de la armadura.

Las armaduras deben ser combadas de tal forma que todos los miembros queden rectos y alineados normalmente bajo la carga muerta completa o estrictamente como lo establezcan los documentos del proyecto o documentos de diseño. La fabricación y el montaje de las armaduras, se deben ejecutar de tal manera que se reduzcan los esfuerzos secundarios hasta donde sea factible. Los empalmes en los cordones rectos y en las columnas se deben escariar después de armar los miembros en sus posiciones geométricas apropiadas. Debe ejercerse atención especial, para la eliminación del efecto que producen las barras de amarre y los miembros secundarios. Así mismo, deben tomarse las medidas adecuadas para compensar la pérdida de contraflecha, resultante de la soldadura de conectores de corte a los miembros estructurales.

650.4.2.9 Marcas de coincidencia

Las partes componentes armadas en el taller, con el propósito de abrir agujeros para las conexiones de campo, se deben marcar para el montaje y debe proporcionarse a los constructores en el campo y al interventor, un diagrama que muestre tales marcas.

650.4.2.10 Terminado de bordes y superficies de apoyo

No se requiere pulir o dar terminado a los bordes de las piezas cizalladas o cortadas térmicamente, a no ser que específicamente se establezca en los documentos del proyecto, o que aparezca incluido en una especificación de preparado de borde para soldadura.

A su vez, el terminado de las superficies de apoyo, placas base y otras superficies de apoyo que han de quedar en contacto con concreto o entre sí, debe cumplir los requisitos de aspereza superficial ANSI definidos en la norma ANSI/ASME B46.1, Parte I, así:

- Placas de acero: ANSI dos mil (2 000) micropulgadas (cero coma cero cincuenta y un milímetros (0,051 mm)).
- Placas pesadas en contacto en zapatas que se han de soldar: ANSI mil (1 000) micropulgadas (cero coma cero veinticinco milímetros (0,025 mm)).
- Extremos cepillados de miembros a compresión o extremos pulidos de atiesadores o relleno: ANSI quinientas (500) micropulgadas (cero coma cero ciento veintisiete milímetros (0,0127 mm)).
- Rodillos y balancines de puentes: ANSI doscientos cincuenta (250) micropulgadas (cero coma cero cero sesenta y cuatro milímetros (0,0064 mm)).
- Pasadores y huecos de pasadores: ANSI ciento veinticinco (125) micropulgadas (cero coma cero cero treinta y dos milímetros (0,0032 mm)).
- Asientos de deslizamiento: ANSI ciento veinticinco (125) micropulgadas (cero coma cero cero treinta y dos milímetros (0,0032 mm)).

650.4.2.11 Juntas colindantes

Las juntas a tope de los miembros en compresión, deben tener sus caras acabadas adecuadamente y se deben ajustar exactamente para asegurar un apoyo uniforme.

Los extremos de los miembros en tensión en los empalmes, deben tener un acabado áspero, pero los extremos de los miembros no deben estar en contacto. La abertura no debe exceder de seis milímetros (6 mm).

650.4.2.12 Fabricación de elementos

A menos que se indique en los documentos del proyecto, las placas de acero para elementos principales y placas de empalme para aletas y los elementos principales sometidos a tensión, se deben cortar y fabricar de tal forma, que la dirección primaria del laminado quede paralela a la dirección de los esfuerzos principales de tensión y/o compresión.

Por tanto, los elementos fabricados deben quedar bien aplomados y deben estar libres de torceduras, dobleces y juntas abiertas.

650.4.2.13 Platinas curvas y vigas curvas

650.4.2.13.1 Platinas curvas

Las platinas de acero laminado, no soldadas, curvadas en frío, que soportan carga deben cumplir lo siguiente:

Se deben tomar de platinas en existencia, cuya línea de doblez esté en ángulos rectos con la dirección del laminado, excepto que las nervaduras dobladas en frío para puentes de tablero ortotrópico se puedan doblar en la

Tabla 650 – 4. Radios de doblado

	Espesor en pulgadas (t)				
	Hasta ½	De ½ a 1	De 1 a 1 ½	De 1 ½ a 2 ½	De 2 ½ a 4
	Radios de doblado				
Acero estructural todos los grados	2 t	2,5 t	3 t	3,5 t	4 t

dirección del laminado, si el interventor lo permite.

El doblado debe hacerse de tal manera, que no ocurra ninguna rotura en la platina. Los radios mínimos, medidos en la cara cóncava del metal, están dados en la Tabla 650 – 4, donde "t" es el espesor de la platina.

La tolerancia para la recuperación del acero NTC 4005 (ASTM A709) grados 70W y 100/100W debe ser del orden de tres (3) veces la del acero estructural al carbono. Para el formato en prensa, la luz inferior del troquel debe ser, por lo menos, dieciséis (16) veces el espesor de la platina. Se recomiendan golpes múltiples.

Si se requiere un radio más corto, las platinas deben ser dobladas al calor a una temperatura que no sobrepase de seiscientos cincuenta grados Celsius (650 °C), excepto para aceros NTC 4005 (ASTM A709) grados 70W y 100/100W. Si las platinas de estos aceros tienen que ser dobladas en caliente, a temperaturas superiores a quinientos ochenta grados Celsius (580 °C) o seiscientos diez grados Celsius (610 °C), respectivamente, dichos aceros se deben templar y revenir de nuevo de acuerdo con la práctica de las acerías.

Previo al doblado, las esquinas de las platinas se deben redondear a un radio de uno coma seis milímetros (1,6 mm) en todas las partes de la platina que deben ser dobladas.

650.4.2.13.2 Vigas curvas

Las vigas curvas deben construirse cumpliendo con el numeral 11.4.12 de AASHTO LFRD *Bridge Construction Specifications*.

650.4.2.14 Ajuste de los angulares de refuerzo

Los angulares de refuerzo para extremos de vigas o de soporte en puntos de cargas concentradas, deben ser fresados, esmerilados o rectificados adecuadamente, para asegurar un asiento parejo contra los angulares que forman el ala o contra el ala de las vigas. Se puede permitir el uso de soldadura en vez de fresado o esmerilado, cuando así se determine en los documentos del proyecto o en las especificaciones particulares.

Los angulares intermedios (que no soporten carga concentrada), deben ser suficientemente ajustados para impedir el paso del agua después de ser pintados.

650.4.2.15 Barras de ojo

Los agujeros para pasadores pueden ser cortados con llama, a un diámetro por lo menos de cinco centímetros (5 cm) menor que el diámetro acabado del pasador. Las barras de ojo que vayan a ser colocadas lado a lado en la estructura, se deben afianzar fuertemente unas con otras en el orden en que se deben colocar en el pasador y taladradas en ambos extremos mientras están sujetadas. Las barras de ojo deben ser estampadas con letras de acero en las cabezas de cada pieza al terminar su fabricación, de modo que queden visibles cuando las barras sean colocadas en su lugar en la estructura. Las barras de ojo deben ser rectas y deben estar libres de torceduras y, los agujeros para los pasadores, deben quedar situados con exactitud en la línea central de la barra. La inclinación de las barras respecto del plano de la armadura, no debe exceder de cero coma cinco centímetros por metro (0,5 cm/m).

Los bordes de las barras de ojo que queden entre la línea media transversal de sus agujeros para pasadores, se deben cortar simultáneamente con dos (2) sopletes que trabajen mecánicamente uno frente al otro, guiados por una plantilla maciza para evitar la distorsión de las planchas.

650.4.2.16 Revenido y alivio de esfuerzos

Los elementos estructurales que se deben revenir o normalizar, se deben maquinar, taladrar y enderezar después del tratamiento al calor. El normalizado y revenido (temple total) se deben hacer de acuerdo con lo especificado en la norma ASTM A941. La temperatura dentro del horno se debe mantener uniforme durante el calentamiento y enfriamiento, de modo que no se presente una diferencia de temperatura mayor de treinta y ocho grados Celsius (38 °C) en dos (2) puntos del elemento.

Los elementos de acero de calidad NTC 4005 (ASMT A709), grados 70W y 100/100W, no se deben revenir, normalizar o aliviar de esfuerzos, sin la aprobación previa del interventor.

Un registro de cada cargada de horno debe identificar las piezas e indicar las temperaturas y el programa realmente utilizados. Se deben proporcionar instrumentos apropiados, incluyendo pirómetros de registro, para determinar en cualquier momento la temperatura de los elementos dentro del horno. Los registros de la operación deben estar disponibles al interventor y deben tener su aprobación. Las temperaturas y procedimientos deben cumplir con la sección 4.4. de AWS D1.5.

Los elementos tales como zapatas de puentes, pedestales y otras partes construidas mediante secciones de platina soldadas juntas, se deben aliviar de esfuerzos de acuerdo con la sección 4.4 de la norma AWS D1.5, cuando lo requieran los documentos del proyecto, las especificaciones, o las disposiciones especiales que controlan el contrato.

La disposición 7.7 de AWS D.1.1, no se debe aplicar para formas de acero estructural producidas usando la norma ASTM A913.

650.4.2.17 Pasadores y rodillos

650.4.2.17.1 Características generales

Los pasadores y rodillos se deben tornear exactamente a las dimensiones indicadas en los documentos del proyecto y deben estar rectos, lisos y libres de imperfecciones. Los

pasadores y rodillos de más de veintidós coma nueve centímetros (22,9 cm) de diámetro, deben ser de acero forjado y revenido. Los pasadores y rodillos de veintidós coma nueve centímetros (22,9 cm) o menos de diámetro, pueden ser forjados y revenidos o torneados de acero al carbono acabado en frío.

En los pasadores de más de veintidós coma nueve centímetros (22,9 cm) de diámetro, se debe perforar un agujero de cinco centímetros (5 cm) de diámetro mínimo a todo lo largo del eje después que se ha enfriado la forja a una temperatura por debajo del rango crítico, bajo condiciones adecuadas, para evitar daño por enfriamiento demasiado rápido y con anterioridad al temple.

650.4.2.17.2 Perforación de los agujeros para pasadores

Estos agujeros deben ser taladrados lisos y rectos, de acuerdo con las medidas de los documentos del proyecto, en ángulo recto con los ejes del miembro y paralelos entre sí, a menos que se requieran en otra forma. La superficie final del agujero, debe ser acabada con un taladro más fino.

650.4.2.17.3 Espacio libre para pasadores

El diámetro del agujero para pasador, no debe exceder el diámetro de este en más de cero coma cinco milímetros (0,5 mm) para pasadores de doce coma siete centímetros (12,7 cm) o menos en diámetro, ni de cero coma ocho milímetros (0,8 mm) para pasadores más grandes.

650.4.2.17.4 Roscas para pasadores

Las roscas para pasadores se deben ajustar con precisión en las tuercas y deben cumplir la *Unified Standard* UNC-ANSI B1.1 del *American National Standards Institute*, para clase 2 A en pasadores y pernos, y clase 2 B para tuercas. Excepto para pasadores con diámetro de tres coma cinco centímetros (3,5 cm) o mayor, las roscas deben ser de seis (6) vueltas por pulgada.

650.4.2.17.5 Tuercas guías y de montaje

Se deben proporcionar dos (2) tuercas guías y dos (2) tuercas de montaje para cada tamaño de pasador, a menos que los documentos del proyecto lo indiquen de otra forma.

650.4.2.18 Conexiones con pernos normales

650.4.2.18.1 Generalidades

Los pernos pueden ser no torneados, torneados o pernos nervados que cumplan con los requisitos de los pernos grado A de la norma ASTM F3125 para sujetadores de acero de bajo contenido de carbón roscados exterior e interiormente. Las conexiones pernadas se deben utilizar solamente como se indica en los documentos del proyecto o en disposiciones especiales. Los pernos deben tener doble tuerca o tuercas sencillas de cierre automático a menos que se indique diferente en los documentos del proyecto o en las disposiciones especiales. Cuando las caras de apoyo tienen una pendiente de más de uno a veinte (1:20) respecto de un plano normal al eje del perno, se deben utilizar arandelas biseladas.

650.4.2.18.2 Pernos sin tornear

A menos que se especifiquen otros tipos, deben suministrarse pernos sin tornear.

650.4.2.18.3 Pernos torneados

La superficie del cuerpo de los pernos torneados, debe tener un grado de aspereza de ciento veinticinco (125) según la norma ANSI. Las cabezas y tuercas deben ser hexagonales con las dimensiones estándar para pernos del tamaño nominal especificado o el tamaño nominal siguiente. El diámetro de las roscas debe ser igual al cuerpo del perno o al diámetro nominal del perno especificado. A su vez, los huecos para pernos torneados deben ser ensanchados cuidadosamente con los pernos suministrados para proveer un ligero ajuste de martillo. Las roscas deben quedar totalmente fuera de los huecos y una arandela se debe proveer bajo la tuerca.

650.4.2.18.4 Pernos nervados

El cuerpo de los pernos nervados debe ser de una forma aprobada con nervaduras continuas longitudinales. El diámetro del cuerpo medido sobre un círculo a través de los puntos de las nervaduras debe ser dos milímetros (2 mm) mayor que el diámetro nominal especificado en los pernos.

A menos que se especifique diferente, los pernos nervados se deben suministrar con cabezas redondas de acuerdo con la norma ANSI/ASME B18.5. Las tuercas deben ser hexagonales, bien sea ahuecadas o con una arandela de espesor adecuado. Los pernos nervados deben hacer un ajuste estrecho con los huecos. La dureza de las nervaduras debe ser de tal manera, que estas no se aplasten demasiado para permitir el giro de los pernos dentro de los huecos durante el apretado. Si el perno se tuerce por cualquier razón antes de ser apretado, el hueco debe ensancharse con cuidado y el perno debe ser reemplazado por uno de mayor tamaño.

650.4.2.19 Conexiones con pernos de alta resistencia

650.4.2.19.1 Generalidades

Los pernos de alta resistencia, las tuercas y roldanas de los mismos, deben estar de acuerdo con el numeral 650.2.1.4. Las cabezas y las tuercas deben ser hexagonales. Las roldanas circulares deben ser planas y lisas y las roldanas biseladas, cuadradas o rectangulares. Las medidas de los pernos y tuercas deben satisfacer los requisitos de ANSI B18.2 para pernos pesados hexagonales y tuercas pesadas semiacabadas, hexagonales.

650.4.2.19.2 Piezas unidas con pernos y montaje

Las superficies de las piezas en contacto con la cabeza del perno y la tuerca, deben tener una inclinación no mayor de uno a veinte (1:20), respecto del plano perpendicular al eje del perno. Las partes se deben ajustar sólidamente entre sí al ser montadas, y no se deben separar con empaques u otro material compresible.

Igualmente, las superficies de contacto de las juntas deben estar libres de suciedad, aceite, pintura, laca, galvanizado, escamas de óxido sueltas, rebabas, picaduras y otros defectos que eviten el contacto íntimo de las partes.

Los pernos deben ser instalados con una roldana endurecida debajo del elemento (tuerca o cabeza de perno) que da vuelta al ser

apretado. La roldana debe ser lisa cuando la superficie de contacto de la pieza a unir con el perno o tuerca, tenga una inclinación no mayor de uno a veinte (1:20), en relación con el plano normal al eje del perno.

Cuando la cara exterior de la pieza en contacto tenga una inclinación mayor, se deben usar roldanas biseladas para compensar la falta de paralelismo.

Se debe tener en cuenta que los pernos pueden ser apretados con llaves de fuerza calibradas, llaves de impacto, llaves de torsión manuales u otro método aprobado, hasta alcanzar la tensión requerida en los documentos del proyecto o disposiciones especiales. La tensión mínima no debe ser menor que la tensión de prueba señalada en la Tabla 650 – 5 y la Tabla 650 – 6.

Tabla 650 – 5. Requisitos de propiedades mecánicas para pernos probados de tamaño completo (kilonewtons)

Dimensión normal del perno		Tipo de perno						
			Grupo A Pernos ASTM A325, ASTM F1852			Grupo B Pernos ASTM A490, ASTM F2280		
Pulgadas	mm	Área de tensión (mm^2) (Nota)	Tensión mín.	Medida de longitud de carga de prueba mín.	Método alternativo de resistencia al rendimiento de la carga de prueba mín.	Tensión mín.	Medida de longitud de carga de prueba mín.	Método alternativo de resistencia al rendimiento de la carga de prueba mín.
1/2	12,7	84,3	70	50,6	55,6	87,7	70	79,2
5/8	15,9	157	130	94,2	104	163	130	148
3/4	19,1	245	203	147	162	255	203	230
7/8	22,2	303	251	182	200	315	251	285
1	25,4	353	293	212	233	367	293	332
1 – 1/8	28,6	459	381	275	303	477	381	431
1 – 1/4	31,8	561	466	337	370	583	466	527
1 – 3/8	34,9	817	678	490	539	850	678	768

Nota: el área de tensión se calcula para pulgadas de la siguiente manera: $AS = 0{,}7854\,[D - (0{,}9743/n)]^2$; para métrica: $AS = 0{,}7854\,(D - 0{,}9382P)^2$; donde AS = área de tensión, D = tamaño nominal del perno y P = paso de rosca.

Tabla 650 – 6. Tensión mínima a plena rotación (kilonewtons)

Dimensión normal del perno		Tipo de perno	
Pulgadas	mm	Grupo A Pernos ASTM A325, ASTM F1852	Grupo B Pernos ASTM A490, ASTM F2280
1/2	12,7	57	72
5/8	15,9	108	133
3/4	19,1	164	205
7/8	22,2	205	256
1	25,4	235	297
1 – 1/8	28,6	307	384
1 – 1/4	31,8	373	471
1 – 3/8	34,9	-	-
1 – 1/2	38,1	547	685

Tabla 650 – 7. Rotación de tuercas completamente apretadas (Notas 1 y 2)

Longitud del perno (lado inferior de la cabeza al extremo del perno)	Disposición de caras externas de las partes pernadas		
	Ambas caras normales al eje del perno	Una cara normal al eje del perno, la otra inclinada uno a veinte (1:20) máximo (sin arandelas biseladas)	Ambas caras inclinadas uno a veinte (1:20) máx. de la normal al eje del perno (sin arandelas biseladas)
Hasta cuatro días (4 d) inclusive	1/3 de vuelta	1/2 de vuelta	2/3 de vuelta
De cuatro a ocho días (4 d a 8 d) inclusive	1/2 de vuelta	2/3 de vuelta	5/6 de vuelta
De ocho a doce días (8 d a 12 d) inclusive (Nota 3)	2/3 de vuelta	5/6 de vuelta	1 vuelta

Nota 1: rotación de la tuerca relativa al perno, sin tener en cuenta el elemento (tuerca o perno) que gira. Tolerancia de rotación: hasta media (1/2) pulgada o menos, más o menos treinta grados (30°); dos tercios (2/3) de vuelta o más, más o menos cuarenta y cinco grados (45°).

Nota 2: aplicable solamente a conexiones en que todo el material del agarre es acero.

Nota 3: no se ha establecido un procedimiento de vuelta de tuerca para los pernos con longitudes mayores de doce (12) diámetros. Por consiguiente, la rotación se debe determinar por pruebas reales en dispositivos adecuados para medir la tensión.

La tensión debe ser comprobada por el interventor, mediante llaves de torsión manuales calibradas. Las tuercas deben ser colocadas del lado no visible de los miembros y los agujeros de los pernos deben estar de acuerdo con lo especificado en el numeral 650.4.2.3.

Los pernos ASTM A490 y los pernos galvanizados ASTM A325, no se deben reutilizar. Solamente se pueden reutilizar los pernos ASTM A325, si se tiene la aprobación del interventor. La corrección o reajuste de pernos previamente apretados que se puedan haber aflojado por el ajuste de los pernos contiguos, no debe considerarse como reutilización, siempre y cuando el ajuste continúe desde la posición inicial y no requiera una rotación mayor que la indicada en la Tabla 650 – 7, incluyendo la tolerancia.

650.4.2.20 Soldadura

La soldadura debe realizarse de acuerdo con las prácticas más modernas y cumpliendo los requisitos aplicables de AWS, D1.1, y AWS D.1.5 excepto cuando se disponga en otra forma en los documentos del proyecto o disposiciones especiales. Los documentos del proyecto deben indicar claramente el sitio, tipo, tamaño y amplitud de todas las soldaduras distinguiéndose, además, claramente entre las de taller y las que se deben hacer en obra. El constructor, debe someter a la aprobación del interventor, con anterioridad al inicio del trabajo, los procedimientos propuestos para soldadura que debe llevar a cabo tanto en el taller como en la obra.

Todos los equipos de soldadura, así como los operadores de los mismos, deben ser precalificados previamente por una organización aprobada por INVÍAS y con base en los procedimientos de AWS D1.1. Sin embargo, cuando una empresa fabricante de reconocida capacidad y experiencia precalifica sus equipos de soldar y a los operarios de los mismos, de acuerdo con las normas AWS D1.1, citadas, y presente la certificación correspondiente donde conste que el equipo de soldar y los operarios han sido calificados dentro de los doce (12) meses anteriores a la iniciación del trabajo en la estructura de que se trate y, además, que ha estado llevando a cabo soldaduras satisfactorias del tipo exigido, en el período de tres (3) meses anteriores al trabajo requerido, el interventor puede considerar idóneos tales equipos y operarios. Cuando la empresa fabricante o el constructor no han tenido las facilidades para precalificar sus equipos y operarios, estos pueden ser precalificados de acuerdo con la norma AWS D1.1, citadas, por una organización aprobada.

No obstante, el interventor puede ordenar el examen de los equipos que, a su criterio, no sean satisfactorios o de los operarios cuya habilidad o experiencia sea dudosa.

Las soldaduras no se deben hacer cuando las superficies están mojadas o expuestas a la lluvia, viento fuerte o si los soldadores están expuestos a condiciones inclementes del tiempo.

Las soldaduras no deben exceder de las especificadas en los documentos del proyecto, ni deben ser cambiadas sus localizaciones sin la aprobación expresa del interventor.

650.4.2.21 Pintura de taller

650.4.2.21.1 Preparación de la superficie

Las superficies de metal a ser pintadas, incluyendo las galvanizadas, se deben limpiar perfectamente, quitando el polvo, óxido, las escamas sueltas de laminado, escamas de soldadura, suciedad, aceite o grasa y otras sustancias extrañas. A menos que la limpieza se efectúe por medio de chorro de arena, se debe neutralizar toda el área de soldadura con un agente químico apropiado y se debe lavar bien con agua, antes de principiar la limpieza.

El grado de limpieza de la superficie debe ser el definido en los documentos del proyecto o el que apruebe el interventor acorde con la norma SSPC aplicable, según la exigencia de limpieza que se requiera.

Para evitar la oxidación de un área limpiada, previa a su pintura, aquella debe ser suficientemente pequeña. Si las superficies que ya se han limpiado se oxidan antes de aplicarles la pintura, el constructor debe limpiarlas de nuevo, sin cargo adicional para INVÍAS.

La primera mano de pintura se debe aplicar a superficies completamente libres de oxidación. La limpieza se debe efectuar con abrasivos (chorro de arena o de limaduras de acero), vapor o disolventes, según se indique en los documentos del proyecto. Se deben utilizar cepillos de alambre manuales o mecánicos, herramientas de raspado manual o papel de lija, para remover todo el polvo, herrumbre suelta y escamas de laminado o la pintura que no esté firmemente adherida a las superficies metálicas.

Todas las superficies galvanizadas que se han de pintar, se deben limpiar primero mediante el lavado con un disolvente de espíritu mineral, para remover cualquier aceite, grasa o material extraño al recubrimiento galvanizado.

650.4.2.21.2 Aplicación de pintura de taller

La estructura de acero debe ser pintada con dos (2) manos de pintura de taller, después de que haya sido aceptada, y antes de su envío.

Las superficies que no vayan a quedar en contacto entre sí, pero que sean inaccesibles después del montaje final, se deben pintar con tres (3) manos de pintura de taller. Las superficies que vayan a quedar en contacto entre sí en el campo, deben recibir una (1) mano de pintura en el taller, excepto los empalmes principales para cordones de armadura y los empalmes grandes de vigas armadas que involucren múltiples espesores de metal, en cuyo caso, la mano de pintura de taller puede dificultar el montaje. Las superficies de contacto en el campo que no hayan sido pintadas con una (1) mano de pintura de taller, deben recibir una (1) mano de laca u otro recubrimiento protector aprobado.

No se deben pintar las superficies que vayan a estar en contacto con el concreto.

El acero estructural que vaya a ser soldado, no se debe pintar antes de que la soldadura haya sido completada. El acero que se vaya a soldar solamente en el taller y seguidamente se haya de unir con pernos en el campo, debe recibir dos (2) manos de pintura después de terminada la soldadura de taller. El acero que vaya a ser soldado en el campo, debe recibir una (1) mano de recubrimiento protector aprobado, después de completarse la soldadura y montaje en el taller.

Se debe dar una (1) mano de pintura a las piezas fundidas de acero, pulidas o acabadas.

Con excepción de las juntas a tope y láminas de base, las superficies acabadas a máquina deben ser pintadas tan pronto como sea posible, después de haber sido aceptadas, con una (1) mano de protector debidamente aprobado, antes de retirarlas del taller.

Las marcas de montaje para identificación de los miembros en el campo y las marcas indicadoras del peso, se deben pintar sobre superficies previamente pintadas con la mano de pintura de taller. El material no se debe cargar para su envío, a menos que esté completamente seco y, en cualquier caso, en no menos de veinticuatro horas (24 h) después de haberse aplicado la pintura.

650.4.2.21.3 Limitaciones

No debe aplicarse pintura cuando la temperatura del acero pase de treinta y ocho grados Celsius (38 °C), haya niebla, esté lloviznando o lloviendo, la humedad relativa del aire exceda de ochenta y cinco por ciento (85 %) o cuando la temperatura del aire sea inferior a cinco grados Celsius (5 °C).

No se debe aplicar pintura sobre superficies húmedas o sobre superficies tan calientes que produzcan ampollas en la pintura o una película porosa de la misma.

Cuando la pintura se deba aplicar forzosamente en tiempo húmedo o frío, el acero se debe pintar bajo techo o cubierta y se debe mantener resguardado hasta que la pintura seque

completamente o hasta que las condiciones del tiempo permitan su exposición al aire libre.

Se deben garantizar las condiciones ambientales y de salubridad en el proceso de pintura.

650.4.2.21.4 Aplicación de otros tipos de pintura

Cuando los documentos del proyecto indiquen la aplicación de pinturas diferentes a las especificadas en el numeral 650.2.10.2, aquellos deben indicar el procedimiento de aplicación en el taller y en el campo, así como sus limitaciones.

650.4.3 Embarque y almacenamiento de los elementos

650.4.3.1 Embarque

El constructor debe marcar cada elemento apropiadamente para facilitar el montaje y debe suministrar al interventor un diagrama de montaje, así como todas las copias que estos demanden de órdenes de materiales, diagramas de montaje y relaciones de despachos que indiquen los pesos de los elementos individuales. Los elementos que pesen más de tres toneladas (3 t), deben llevar los pesos marcados sobre ellos.

Los elementos estructurales se deben cargar en camiones, de tal forma que puedan ser transportados y descargados en el sitio de destino sin que sufran esfuerzos excesivos, se deformen o se dañen de otra manera.

Los pernos de la misma longitud y diámetro, lo mismo que las tuercas o arandelas sueltas de cada tamaño, se deben empacar por separado. Los pasadores, partes pequeñas y paquetes de pernos, arandelas y tuercas se deben despachar en cajas, guacales o barriles, pero el peso bruto de cada paquete no debe exceder de ciento cincuenta kilogramos (150 kg). Una lista y una descripción del material contenido, se deben marcar claramente en el lado exterior de cada paquete de embarque.

650.4.3.2 Almacenamiento

El acero se debe almacenar sobre plataformas o sobre largueros por encima del suelo y se debe proteger, tanto como sea posible, de la exposición a condiciones que produzcan oxidación u otro deterioro superficial. Las vigas de alma llena y las vigas armadas, se deben colocar con el alma vertical y deben apuntalarse. Los miembros largos, tales como columnas y cordones, se deben apoyar sobre largueros colocados lo suficientemente cerca para evitar daños por deflexión.

650.4.4 Montaje

650.4.4.1 Generalidades

Si la infraestructura y la superestructura se construyen bajo contratos diferentes, se deben proporcionar al constructor todas las obras de infraestructura de acuerdo con las elevaciones y alineamientos correctos y se deben establecer las elevaciones y alineamientos para la colocación del acero.

El constructor debe verificar a su costo la obra, para considerar y realizar ajustes dimensionales en los planos de fabricación taller y montaje que debe elaborar, acorde con el numeral 650.4.2.

El constructor debe instalar la estructura metálica, debe retirar la construcción provisional y debe ejecutar todos los trabajos necesarios para la terminación de la obra. En caso de estar estipulado, se deben retirar las estructuras existentes, siempre en concordancia con los documentos del proyecto y las especificaciones.

650.4.4.2 Diagrama de montaje

Si la fabricación y el montaje de la superestructura se realizan bajo contratos diferentes, debe corresponder al fabricante la elaboración de planos de fabricación y taller y, al constructor, la elaboración de los planos de montaje. Se deben incluir diagramas de arqueo, diagramas de montaje, lista de los pernos de campo, y copia de la relación de despachos que muestre la lista de las partes, con sus pesos respectivos.

Si las dos (2) actividades se ejecutan en el mismo contrato, el constructor debe elaborar los planos exigidos en el numeral 650.4.2 y debe proporcionar diagramas de montaje preparados por el fabricante, en los cuales se deben indicar el método y el procedimiento de montaje por emplear, los cuales deben ser compatibles con los detalles de fabricación.

650.4.4.3 Obra falsa

La obra falsa o construcción provisional necesaria para el montaje de la estructura de metal, debe ser diseñada, sólidamente construida y mantenida en forma adecuada para que resista las cargas a las que debe ser sometida.

El constructor debe proponer y someter para la aprobación del interventor, planos de la obra falsa y de los cambios necesarios para mantener el tránsito en estructuras existentes. La aprobación de los planos del constructor no lo debe exonerar de cualquier responsabilidad.

650.4.4.4 Métodos de trabajo

Con anterioridad al inicio de los trabajos de montaje, el constructor debe informar al interventor sobre el método que pretende seguir, como también la cantidad y características del equipo que se propone utilizar, el cual está sujeto a la aprobación de este. La aprobación del interventor no debe exonerar al constructor de la responsabilidad por la seguridad de su método o equipo y de la ejecución de los trabajos en total concordancia con los documentos del proyecto y las especificaciones. No se debe ejecutar ningún trabajo sin antes haber obtenido la aprobación del interventor.

650.4.4.5 Apoyos y anclajes

650.4.4.5.1 Preparación de las áreas de soporte

El constructor de la infraestructura debe terminar las áreas de apoyo para las zapatas de la armadura de acero, de acuerdo con los documentos del proyecto y los niveles requeridos. Las zapatas y láminas de soporte no deben ser colocadas sobre superficies indebidamente acabadas, deformadas o irregulares. El constructor de la superestructura debe verificar la localización, elevaciones y acabado de las áreas de soporte y notificar al interventor sobre cualquier variación de los requisitos de los documentos del proyecto.

Debe tenerse en cuenta que los apoyos para puentes no se deben colocar sobre superficies

que presentan irregularidades o están terminadas incorrectamente.

650.4.4.5.2 Métodos de colocación de las zapatas y láminas de soporte

El constructor de la superestructura debe colocar las zapatas niveladas en su posición exacta sobre las áreas de apoyo.

Las zapatas y láminas de soporte, pueden ser colocadas sobre láminas de plomo; almohadillas preformadas de caucho y fibra de algodón; o almohadillas elastoméricas de soporte de las calidades indicadas en el numeral 650.2.9, o bien sobre una capa de mortero de cemento hidráulico, según los detalles de los documentos del proyecto o las disposiciones especiales de diseño. En caso de usar mortero de cemento, se debe cuidar de no colocar ninguna carga sobre las zapatas hasta que el mortero haya endurecido por lo menos durante noventa y seis horas (96 h), debiendo conservarse humedecido el mismo durante ese período. En todo caso, se deben seguir las especificaciones del diseño.

650.4.4.5.3 Pernos de anclaje

La ubicación de los pernos de anclaje en relación con los agujeros de las zapatas o láminas de soporte, debe ser la que corresponda a la temperatura al efectuar el montaje. Las tuercas en los pernos de anclaje de los apoyos móviles de puentes, se deben ajustar para permitir el libre movimiento de la estructura. Si la infraestructura y la superestructura van a ser construidas bajo contratos separados, los pernos de anclaje deben colocarse por el constructor de la infraestructura y debe ser responsabilidad del constructor de la superestructura proporcionar al primero los pernos de anclaje, los planos correctos para su colocación y el acompañamiento en la instalación.

650.4.4.5.4 Láminas de soporte o de expansión de bronce o de aleación de cobre

Cuando se empleen láminas de soporte o de expansión de bronce o de aleación de cobre, de la calidad especificada en el numeral 650.2.9.3, las superficies de deslizamiento del acero en contacto con las láminas de soporte o de expansión, deben ser recubiertas con un lubricante del tipo recomendado por el fabricante de las láminas.

650.4.4.5.5 Balancines y soportes colgantes

A menos que se indique en otra forma en los documentos del proyecto o disposiciones especiales, los soportes especiales, como los balancines y los soportes colgantes para tramos suspendidos, deben ser colocados a plomo, y los dispositivos de expansión ajustados a la temperatura durante el montaje y tomando en cuenta el cambio de longitud de la estructura debido a la deflexión por carga muerta.

650.4.4.6 Enderezamiento de material doblado y contraflecha

650.4.4.6.1 Enderezamiento de material doblado

El enderezamiento de platinas, ángulos, otros perfiles y elementos armados, cuando lo autorice el interventor, se debe llevar a cabo por métodos que no produzcan roturas u otros tipos de averías. Los elementos torcidos se

deben enderezar por medios mecánicos, con la aprobación del interventor, por procedimientos planeados cuidadosamente y aplicación supervisada de una cantidad limitada de calor. Los elementos de acero de calidad NTC 4012 (ASTM A852), solamente se pueden enderezar al calor, mediante procedimientos rígidamente controlados y cada aplicación de calor debe estar sujeta a la aprobación del interventor. La temperatura máxima debe cumplir con el numeral 650.4.2.4 y no exceder de cuatrocientos ochenta grados Celsius (480 °C), respectivamente, en el metal de aporte o dentro de quince centímetros (15 cm) de este. La temperatura se puede controlar con tizas indicadoras de temperatura, líquidos o termómetros bimetales.

Las paredes que se han de enderezar al calor, deben estar sustancialmente libres de esfuerzos y de fuerzas externas, salvo los esfuerzos resultantes de los medios mecánicos utilizados conjuntamente con la aplicación de calor.

Luego del enderezado de una curva o bomba, se debe inspeccionar cuidadosamente la superficie del metal, para detectar cualquier tipo de rotura.

650.4.4.6.2 Contraflecha

La corrección de errores en el bombeo en vigas y viguetas de material NTC 4014 (ASTM A514), se hace solamente bajo procedimientos rígidamente controlados.

650.4.4.7 Ensamblaje

Las partes se deben ensamblar con exactitud, siguiendo las indicaciones de los documentos del proyecto y las contramarcas de montaje. El material se debe manejar con cuidado, a fin de evitar que alguna de las partes sufra dobleces, rupturas y averías. Se debe impedir el martilleo que cause daños o torceduras a los elementos. Antes del ensamble de los elementos, se deben limpiar las superficies de apoyo y aquellas que estén en contacto permanente.

650.4.4.8 Conexiones con pasadores

El clavado de pasadores se debe llevar a cabo con la utilización de tuercas guías y tuercas de golpeo suministradas por el constructor sin costo alguno para INVÍAS. Los pasadores se clavan en forma tal, que los elementos tengan contacto completo sobre ellos. Las tuercas de los pasadores se deben atornillar con fuerza y las roscas se deben escariar con una herramienta en el lado de la tuerca.

650.4.4.9 Pintura de campo

Cuando el trabajo de montaje en el campo haya terminado, incluyendo el empernado, soldado y el enderezado del metal doblado, se debe eliminar todo el óxido, escamas, suciedad, grasa y otro material extraño adherido, según se especifica en el numeral 650.4.2.21.1, antes de la aplicación de cualquier pintura.

Se debe aplicar una (1) mano de retoque a los pernos y soldaduras de campo, inspeccionados y aprobados, y a todas las superficies cuya pintura de taller se haya gastado o deteriorado.

Cuando la mano de retoque de campo haya secado completamente y la limpieza de campo se haya terminado satisfactoriamente, se deben aplicar las manos de campo que sean requeridas en los documentos del proyecto o

las disposiciones especiales, pero no menos de dos (2).

En ningún caso, se debe aplicar una (1) mano de pintura hasta que la anterior haya secado completamente en todo el espesor de la película de pintura. Todos los intersticios y cavidades pequeñas que no fueron selladas a prueba de agua al suministrar la primera mano de campo, se deben llenar con productos aprobados por la interventoría.

Aquellas superficies que sean inaccesibles después del montaje, se deben pintar previamente con dos (2) manos de campo.

La aplicación de la segunda mano de campo se debe posponer hasta que se haya colocado y acabado el trabajo del concreto adyacente. Si las operaciones del concreto han dañado la pintura, la superficie afectada se debe limpiar y pintar de nuevo, sin que sea posible cargar el costo al presupuesto del contrato de obra respectivo.

Si el tránsito produce una cantidad dañina de polvo, el constructor debe, antes de aplicar la pintura (sin cargar el costo al presupuesto del contrato de obra respectivo), reprimir el polvo a una distancia prudencial y tomar precauciones necesarias para evitar que este y la suciedad entren en contacto con las superficies pintadas.

Las limitaciones climatológicas indicadas para la pintura en taller, deben regir igualmente para la pintura de campo.

650.4.4.10 Ajustes de defectos

La corrección de defectos menores que comprenden pequeñas cantidades de rimado, cortado y virutas, se debe considerar como parte normal del montaje. Sin embargo, cualquier error en la fabricación de taller o deformación resultante del manejo y transporte, que impida el ensamble correcto y el encaje de las partes por el uso moderado de pasadores de montaje o por una cantidad apreciable de rimado y cortado o cincelado, se debe reportar inmediatamente al interventor y debe obtener la aprobación del método de corrección, la cual se debe realizar en presencia de este. Si se trata de un contrato de montaje únicamente, el interventor, con la cooperación del constructor, debe mantener un registro completo de los materiales y la mano de obra utilizados.

650.4.5 Remoción de la obra falsa y limpieza

Al terminar el montaje y antes de su aceptación final, el constructor debe retirar toda obra falsa, materiales excavados y no utilizados, desechos, basura y construcciones temporales, restaurando en forma aceptable toda la propiedad, tanto pública como privada, que pueda haber sido afectada durante la ejecución de este trabajo y dejar el lugar de la estructura y el área adyacente, limpios y presentables.

650.4.6 Manejo ambiental

En adición a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las labores requeridas para la fabricación, embarque, almacenamiento y montaje de estructuras de acero, se deben realizar tenien-

do en cuenta lo establecido en los estudios y evaluaciones ambientales del proyecto, así como en las normas y disposiciones vigentes sobre conservación del ambiente, los recursos naturales y protección de la comunidad.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación, deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades deben estar incluidas en los costos del proyecto; por tanto, no son objeto de reconocimiento directo en el contrato.

650.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

650.5.1 Controles

El plan de calidad y el plan de inspección, medición y ensayo, son de obligatorio cumplimiento tal como se encuentra expresado en el numeral 103.2 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor.

Se deben efectuar los controles estipulados en la Norma Colombiana de Diseño de Puentes, AISC-360, AISC-303, AWSD 1.1 y AWSD 1.5.

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Verificar que los materiales empleados cumplan los requisitos de calidad especificados.
- Constatar el cumplimiento de las disposiciones existentes en el artículo 102, Aspectos generales de seguridad y salud.
- Corroborar el estado y el funcionamiento del equipo de construcción.
- Vigilar que los trabajos se realicen de acuerdo con los documentos del proyecto, las disposiciones especiales y esta especificación.
- Comprobar que las conexiones con pernos tengan la tensión apropiada.

El interventor debe revisar y aprobar, cuando corresponda, los diseños, planos y diagramas necesarios para la ejecución de los trabajos; así mismo, debe evaluar los métodos de trabajo propuestos por el constructor y los debe aprobar cuando los considere adecuados; también, debe exigir las certificaciones requeridas para el equipo de soldadura y sus operarios.

Los ensayos se deben llevar a cabo en un laboratorio que cuente con experiencia y/o trayectoria en ejecución de pruebas y ensayos de control de calidad, que pueda demostrar apropiadamente la competencia de su personal de laboratorio y cuyos informes de resultados informados contengan la aprobación y la autorización para su emisión, mediante la firma del responsable técnico facultado para ello. El laboratorio debe contar, además, con todo el equipamiento principal y auxiliar necesario para el correcto desempeño de sus actividades y asegurar que estos cuenten con la exactitud y la precisión adecuadas para lograr resultados válidos. También debe tener un programa de calibración de sus equipos y asegurar que los resultados de la medición sean trazables al Sistema Internacional de Unidades (SI), mediante alguna de las siguientes alternativas:

- La calibración de los equipos proporcionados por un laboratorio de metrología acreditado por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC).

- La comparación directa o indirecta a patrones nacionales o internacionales que cuenten con unidades del SI.
- Los valores certificados de materiales de referencia (MRC) proporcionados por productores competentes con trazabilidad metrológica establecida al SI.

El interventor debe medir, para efectos de pago, las cantidades de obra ejecutadas satisfactoriamente por el constructor.

650.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

650.5.2.1 Recibo de materiales

Siempre que lo considere conveniente, el interventor puede exigir al constructor los informes de análisis químicos y pruebas físicas efectuadas por el fabricante, que determinen la calidad del acero empleado. Si no los suministra, el interventor, puede ordenar la ejecución de las pruebas pertinentes, a expensas del constructor. Todo material que no cumpla las exigencias de la respectiva especificación, debe ser rechazado.

650.5.2.2 Identificación

El interventor se debe abstener de autorizar la fabricación de la estructura, si las piezas no están debidamente identificadas como se indica en el numeral 650.4.1.2.

650.5.2.3 Perforaciones

Solamente se debe aceptar acero en el cual las perforaciones efectuadas a las piezas se encuentren dentro de las tolerancias mencionadas en el numeral 650.4.2.3.

650.5.2.4 Fabricación y montaje

El interventor únicamente debe admitir la obra llevada a cabo de acuerdo con los diseños y los planos de fabricación, taller y montaje, empleando los materiales adecuados y cumpliendo los requisitos y tolerancias establecidos en los diferentes apartes del numeral 650.4.

Todo material u obra ejecutada, cuya calidad y características no se ajusten a los documentos del proyecto aprobados por el interventor y esta especificación, deben ser corregidos por el constructor, sin costo alguno para INVÍAS, empleando procedimientos aprobados por el interventor.

650.6 Medida

La unidad de medida del acero estructural debe ser el kilogramo (kg), aproximado al entero, de acero incorporado en la estructura, de acuerdo con los documentos del proyecto aprobados por el interventor, esta especificación y la NTC 5832. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

La medida debe incluir el acero estructural, apoyos especiales y demás materiales complementarios requeridos en los documentos del proyecto y disposiciones especiales, satisfactoriamente suministrados y montados, incorporados permanentemente en la estructura objeto del trabajo.

Los tipos de miembros de acero y otros materiales estructurales que se midan, deben estar de acuerdo con la clasificación señalada en los

documentos del proyecto o en las disposiciones especiales. Los pernos de anclaje se deben contar para el pago, aún cuando los mismos no sean instalados por el constructor.

No se debe hacer medida por separado de los pasadores y pernos de montaje; soldaduras, pintura de taller y de campo; galvanizado; cajas, jaulas y otros empaques usados para embarques; planos de fabricación, taller y montaje, diseño y construcción de obra falsa; soleras, puntales y varillas empleadas para sostener las piezas durante su transporte y montaje; y demás materiales requeridos para completar satisfactoriamente el trabajo de acuerdo con los documentos aprobados por el interventor y estas especificaciones.

Tampoco debe haber medida separada de almohadillas elastoméricas o preformadas, excepto si ellas se consideran en otra partida de pago.

650.6.1 Masa de los metales

Se debe calcular con base en las siguientes masas unitarias, en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3):

- Aluminio fundido o forjado: dos mil setecientos setenta (2 770)
- Bronce fundido: ocho mil quinientos ochenta (8 580)
- Aleación de cobre: ocho mil quinientos ochenta (8 580)
- Cobre en láminas: ocho mil novecientos treinta (8 930)
- Hierro fundido: siete mil ciento veinte (7 120)
- Hierro maleable: siete mil quinientos veinte (7 520)
- Hierro forjado: siete mil setecientos noventa (7 790)
- Plomo en láminas: once mil trescientos diez (11 310)
- Acero, laminado, fundido, cobrizo, al silicio, al carbón, aleado, al níquel e inoxidable, todos los grados: siete mil ochocientos cuarenta (7 840)
- Zinc: siete mil doscientos (7 200)

650.6.2 Perfiles, láminas, barras y tuberías de acero

Como una excepción de lo estipulado anteriormente, las masas de los perfiles estructurales y otras piezas laminadas a rodillo, barras y láminas, así como la tubería de acero, se deben calcular con base en los pesos nominales indicados en los manuales, usando las medidas mostradas en los planos aprobados de fabricación. A menos que se indique en otra forma en dichos planos, se deben deducir todos los recortes, cortes y agujeros abiertos, con excepción de los agujeros para pernos.

No se deben permitir tolerancias para excesos de peso ni para capas protectoras. La masa de todas las cuñas mostradas en los planos aprobados de fabricación, se deben incluir en la cantidad de acero estructural que se deba pagar.

650.6.3 Masa de las cabezas de pernos, tuercas, roldanas y puntas roscadas salientes de pernos

La masa de las cabezas de pernos, tuercas, roldanas y puntas roscadas salientes de

pernos, se deben calcular con base en los valores indicados en la Tabla 650 – 7.

650.6.4 Soldaduras

En concordancia con lo dispuesto en la NTC 5832, no se debe incluir el peso de la soldadura para la cuantificación de cantidades, por lo tanto el costo de la soldadura debe tenerse en cuenta en el precio unitario del kilogramo de acero.

650.6.5 Piezas fundidas

La masa de las piezas fundidas se debe calcular con base en las medidas mostradas en los documentos del proyecto, descontando los agujeros, y añadiéndole un cinco por ciento (5 %) como compensación por biseles y excedentes. Pueden ser sustituidas las masas calculadas por los pesos de la báscula en el caso de partes fundidas pequeñas y complejas, sobre las cuales resultan difíciles los cálculos de masas exactas.

650.7 Forma de pago

El pago se debe realizar al precio unitario del contrato, por todo trabajo ejecutado de acuerdo con los documentos del proyecto aprobados por el interventor y esta especificación.

650.7.1 Diseño y fabricación de estructura metálica

El precio unitario para el diseño y la fabricación de la estructura metálica, debe cubrir todos los costos por concepto del diseño de la estructura, planos de diseño, planos de fabricación, taller y montaje, suministro de materia prima, cargues, transportes, descargues, almacenamiento, corte, ensayos, patentes, desperdicios, fabricación y montaje en el taller, pintura de taller, soldaduras, equipo y mano de obra necesarios para ejecutar correctamente el trabajo especificado de acuerdo con los documentos del proyecto aprobados por el interventor y esta especificación. Además, debe incluir la administración, los imprevistos y la utilidad del constructor.

650.7.2 Fabricación de estructura metálica

El precio unitario por la fabricación de la estructura metálica debe comprender todos los conceptos mencionados en el numeral 650.7.1, excepto el valor del diseño de la estructura.

El precio unitario debe incluir, también, la administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

650.7.3 Transporte de estructura metálica

El precio unitario para el transporte de la estructura metálica debe cubrir todos los costos por concepto de trasladar la estructura, aceptada por el interventor, del taller al sitio de instalación de la obra, y su almacenamiento de acuerdo con las indicaciones del interventor.

El precio unitario debe incluir, igualmente, la administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

650.7.4 Montaje y pintura de estructura metálica

El precio unitario para el montaje y la pintura de la estructura metálica debe cubrir todos los costos por concepto de elaboración de diagra-

mas de montaje, materiales y diseño y construcción de la obra falsa; equipos, mano de obra, andamios, instalaciones temporales y cables aéreos; así como los costos por concepto de ensamblaje y erección de la estructura en el sitio de la obra; los ajustes de defectos; el suministro y transporte de la pintura de campo, la preparación de las superficies metálicas, soldadura, la aplicación de las manos de pintura especificadas; la señalización temporal de la vía y el ordenamiento del tránsito automotor durante la ejecución de los trabajos, y en general, todo costo necesario para el correcto montaje y pintura de campo de la estructura de acero.

El precio unitario debe incorporar, también, la administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

650.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
650.1	Diseño y fabricación de estructura metálica	Kilogramo (kg)
650.2	Fabricación de la estructura metálica	Kilogramo (kg)
650.3	Transporte de estructura metálica	Kilogramo (kg)
650.4	Montaje y pintura de estructura metálica	Kilogramo (kg)
650.5	Transporte marítimo y/o fluvial de estructura metálica	Kilogramo (kg)
650.6	Diseño y fabricación de estructura metálica galvanizada	Kilogramo (kg)
650.7	Fabricación de la estructura metálica galvanizada	Kilogramo (kg)
650.8	Montaje de estructura metálica galvanizada	Kilogramo (kg)
650.9	Transporte marítimo y/o fluvial de estructura metálica galvanizada	Kilogramo (kg)

Tubería de concreto simple

Artículo 660 – 22

660.1 Descripción

Este trabajo consiste en el suministro, el transporte, el almacenamiento, el manejo y la colocación de tubería de concreto simple, con los diámetros, los alineamientos, las cotas y las pendientes mostrados en los documentos del proyecto; comprende, además, el suministro de los materiales para las juntas de los tubos y la construcción de estas, así como las conexiones a cabezales u obras existentes o nuevas, y la remoción y disposición del material sobrante.

660.2 Materiales

660.2.1 Tubería

La tubería que suministre el constructor debe cumplir los requisitos de la NTC 1022. Los tubos deben ser elaborados con una mezcla homogénea de concreto de calidad que cumpla los requisitos de resistencia al aplastamiento, la absorción y la permeabilidad indicados en la Tabla 660 — 1 y determinados de acuerdo con las indicaciones de la NTC 3676. Los requisitos de durabilidad correspondientes al artículo 630, Concreto estructural, deben ser aplicados a las tuberías de concreto simple.

En todo caso, el tamaño máximo nominal del agregado grueso no puede exceder de diecinueve milímetros (19,0 mm) (3/4 de pulgada) y la mezcla no puede contener menos de trescientos treinta kilogramos (330 kg) de cemento por metro cúbico (m^3) de concreto. Así mismo, la relación agua/material cementante (a/mc) no debe exceder de cero coma cincuenta y tres (0,53) en masa.

Cada tubo debe tener una longitud aproximada de entre ochenta y ciento veinte centímetros (0,80 m – 1,20 m) y sus extremos deben estar diseñados de manera que permitan un encaje adecuado entre ellos, formando un conducto continuo con una superficie interior lisa y uniforme.

Adicionalmente, los tubos deben cumplir los requisitos de permeabilidad especificados en la NTC 3676.

La prueba de abrasión, de obligatorio cumplimiento, se debe realizar de acuerdo con el procedimiento especificado en Norma Técnica EAAB NP-027.

Tabla 660 — 1. Requisitos físicos para tuberías de concreto simple

Diámetro nominal interno (mm)	Clase I		Clase II		Clase III		Absorción máxima (%)	
	Espesor mínimo de pared (mm)	Resistencia mínima tres (3) apoyos (kN)	Espesor mínimo de pared (mm)	Resistencia mínima tres (3) apoyos (kN)	Espesor mínimo de pared (mm)	Resistencia mínima tres (3) apoyos (kN)	Método	
							A	B
450	38	32,0	50	44,0	57	48,0	9,0	8,5
500	42	33,0	55	47,0	65	53,5		
600	54	38,0	72	52,5	85	64,0		

Nota: para diámetros internos superiores a seiscientos milímetros (600 mm) se debe utilizar tubería de concreto reforzado.

660.2.2 Material para solado, atraque y relleno de zanja

Los materiales para el solado, el atraque y el relleno de la zanja deben ser los indicados en los documentos del proyecto. Los suelos, materiales de recebo, materiales granulares tipo SBG y BG, gravilla y arena que se utilicen deben cumplir, respectivamente, lo indicado en los numerales 610.2.1, 610.2.2, 610.2.3, 610.2.5 y 610.2.6, del artículo 610, Rellenos para estructuras.

El tamaño máximo del material para solado y atraque de los tubos no debe ser mayor que veinticinco milímetros (25 mm) (1 pulgada) y el material para rellenos alrededor del tubo no superior a setenta y cinco milímetros (75 mm) (3 pulgadas). El tamaño máximo del material no debe exceder la mitad del espesor de la capa compactada.

Si los documentos del proyecto indican que el solado y/o el atraque para la tubería se deben ejecutar en concreto simple, este se debe elaborar según lo especificado en el artículo 630. La resistencia mínima a la compresión, si los documentos del proyecto no indican otra cosa, debe ser de catorce megapascales (14 MPa) a veintiocho días (28 d), medida según la norma de ensayo INV E-410/NTC 673.

660.2.3 Sello para juntas

Las juntas para las uniones de los tubos se deben sellar con empaques flexibles que cumplan la especificación ASTM C990 y/o ASTM C443, con mortero o con lechada de cemento. Si se emplea mortero, este debe ser una mezcla volumétrica de una parte de cemento hidráulico y tres de arena aprobada, con el agua necesaria para obtener una mezcla seca pero trabajable.

660.3 Equipo

Se requieren, principalmente, elementos para la producción de agregados pétreos y fabricación y curado de la mezcla de concreto, conforme se indica en el numeral 630.3 del artículo 630, moldes para la fabricación de los tubos y equipos para su transporte y colocación en el sitio de las obras.

660.4 Ejecución de los trabajos

660.4.1 Preparación de las condiciones de instalación de la tubería

660.4.1.1 Aspectos generales

Los documentos del proyecto deben indicar la condición de la instalación de la tubería, que puede ser una de las siguientes:

- Tubería en zanja.
- Tubería en zanja inducida.
- Tubería en terraplén.

La secuencia de ejecución de la instalación que implemente el constructor debe garantizar que se cumplen las condiciones de diseño consignadas en los documentos del proyecto. Si el cumplimiento de estas condiciones no es razonablemente posible a criterio del interventor y por instrucción de este, se debe notificar al Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) la necesidad de ajustar el diseño de la instalación.

Cuando una corriente de agua impida la ejecución de los trabajos, el constructor la debe desviar hasta cuando se pueda conducir a través de la tubería.

Se deben implementar medidas para prevenir la migración de finos cuando los niveles de agua o las condiciones existentes puedan propiciar su ocurrencia, con el fin de evitar la pérdida de soporte de la tubería.

660.4.1.2 Excavación de la zanja

La longitud de zanja por delante de la instalación de la tubería debe ser la mínima posible.

Se debe respetar la profundidad, el ancho y la inclinación de las caras de la excavación mostradas en los documentos del proyecto; esta debe tener, en lo posible, caras verticales. El ancho de la excavación debe permitir la adecuada colocación y compactación de los materiales de rellenos laterales de la tubería.

El fondo de la zanja debe ser excavado a una profundidad de no menos de quince centímetros (15 cm) debajo de las cotas especificadas del fondo de la tubería. Dicha excavación se debe realizar conforme se indica en el artículo 600, Excavaciones varias, previo el desmonte y la limpieza requeridos. Si en el fondo de la excavación se encuentran piedras, estas se deben remover de manera que no queden a menos de quince centímetros (15 cm) de la tubería.

No se debe colocar el material de excavación cerca al borde de la zanja.

660.4.1.3 Entibado

El constructor debe implementar todas las medidas que se requieran para mantener la estabilidad de la excavación y garantizar la protección de los trabajadores, la obra en construcción y/o las construcciones existentes alrededor.

Independiente de las condiciones de estabilidad de la zanja, se deben instalar entibados para zanjas que tengan más de ciento veinte centímetros (1,20 m) de profundidad en la cual deban entrar trabajadores.

660.4.1.4 Terraplenes

Si la tubería se va a instalar sobre el terreno natural o sobre terraplenes, aquel se debe

limpiar, excavar, rellenar, conformar y compactar, de acuerdo con lo especificado en los artículos 200, Desmonte y limpieza; 600, Excavaciones varias; y 220, Terraplenes, de manera que la superficie compactada quede quince centímetros (15 cm) debajo de las cotas proyectadas del fondo exterior de la tubería. El material utilizado en el relleno debe clasificar como adecuado o seleccionado, según lo dispuesto en el numeral 220.2.2 del artículo 220 y su compactación debe ser, como mínimo, el noventa y cinco por ciento (95 %) de la densidad máxima obtenida en el ensayo modificado de compactación (norma de ensayo INV E-142). En caso de que se requiera, se debe efectuar la corrección previa por presencia de partículas gruesas, según establece la norma de ensayo INV E-143.

660.4.2 Colocación del material de solado para la tubería

Una vez preparada la superficie, se debe colocar el material indicado en los documentos del proyecto, de manera uniforme, a todo lo largo de la tubería, con el ancho y la sección indicados en dichos documentos, conforme lo que señala al respecto el artículo 610.

El material de solado se debe compactar hasta alcanzar el grado establecido en el numeral 610.5.2.2.1 del artículo 610, salvo que, en el caso de gravilla o arena, los documentos del proyecto indiquen que este material se deba colocar en estado suelto. El espesor de las capas para construir el solado debe ser el adecuado para que, con los equipos contemplados en el proyecto, se alcance el grado de compactación especificado en todo este.

Cuando la tubería tenga campanas expandidas, se deben realizar excavaciones en el material de solado, para garantizar que el cuerpo de la tubería quede adecuadamente apoyado.

Si el solado es en concreto, este se debe colocar con un espesor no menor de quince centímetros (15 cm) y en un ancho equivalente al diámetro más exterior de la tubería más treinta centímetros (30 cm) a cada lado, o según lo establecido en los documentos del proyecto o lo aprobado por el interventor, empleando un concreto de las características descritas en el numeral 660.2.2 de esta especificación.

660.4.3 Colocación de la tubería

La tubería se debe instalar de acuerdo con los alineamientos y los niveles indicados en los documentos del proyecto, en forma ascendente, comenzando por el lado de salida y con los extremos acampanados o de ranura dirigidos hacia el cabezal o la caja de entrada de la obra.

No se debe permitir hacer ajustes en los niveles de la tubería mediante operaciones como ejercer fuerza sobre los tubos, levantar y dejar caer la tubería o levantarla e insertar material de solado debajo de la misma. Si una sección de tubería no se ajusta a las cotas del proyecto, se debe desempatar, remover la sección, corregir el atraque según las cotas del proyecto y reinstalar la tubería.

En el caso de atraque en concreto, la tubería se debe instalar mientras el concreto del solado esté fresco.

En las instalaciones múltiples de tubería, la línea central de cada una debe ser paralela a las demás. Si los documentos del proyecto no

indican otra cosa, la distancia libre entre dos (2) líneas de tubería debe ser igual a medio (1/2) diámetro, pero no inferior a seiscientos milímetros (600 mm).

660.4.4 Juntas

Las juntas de los tubos deben estar diseñadas y los extremos de estos conformados de tal manera que se puedan unir ofreciendo un conducto continuo e impermeable.

Las juntas se deben ejecutar con los materiales y los requisitos establecidos en la ficha técnica suministrada por el fabricante de las tuberías. Se pueden aceptar juntas con empaque de caucho que brinden total estanqueidad a las tuberías.

También, se aceptan juntas con mortero o lechada, para lo cual se deben humedecer completamente antes de hacer la unión con mortero. Previamente a la colocación del tubo siguiente, las mitades inferiores de las campanas o ranuras de cada tubo se deben llenar con mortero de suficiente espesor para permitir que la superficie interior de los tubos quede a un mismo nivel. Después de colocar el tubo, el resto de la junta se debe llenar con el mortero, usando una cantidad suficiente para formar un anillo exterior alrededor de la junta. El interior de la junta se debe limpiar y alisar.

Después del fraguado inicial, el mortero de los anillos exteriores se debe proteger contra el aire y el sol con una cubierta de tierra saturada o una arpillera húmeda.

El mortero para las juntas de la tubería debe estar constituido por una (1) parte de cemento hidráulico y tres (3) partes de arena para concreto, medidas por volumen en estado seco, con el agua necesaria para obtener una mezcla seca, pero trabajable.

Alternativamente, se puede emplear una lechada espesa de cemento hidráulico.

Para las juntas con lechada de cemento, se deben emplear moldes u otros medios aprobados por el interventor, para retener la lechada vertida o bombeada. El interior de la junta se debe limpiar y alisar.

660.4.5 Atraque

El atraque se debe construir con el material indicado en los documentos del proyecto, de manera uniforme, a todo lo largo de la tubería, con el ancho y la sección indicados en dichos documentos, conforme lo que al respecto señala el artículo 610.

El material de atraque se debe compactar hasta alcanzar el grado de compactación establecido en el numeral 610.5.2.2.1 del artículo 610. El espesor de las capas para construir el atraque debe ser el adecuado para que, con los equipos contemplados en los documentos del proyecto, se alcance el grado de compactación especificado en todo este. El avance del relleno de atraque debe ser parejo a ambos lados del tubo para evitar su desplazamiento.

En el caso de atraque en concreto, tan pronto se hayan asentado los tubos en el solado de concreto, y una vez endurecido el mortero o la lechada de las juntas, se deben atracar a los lados, con una mezcla igual a la utilizada en el solado, hasta una altura no menor de un cuarto (1/4) del diámetro exterior del tubo o la que muestren los documentos del proyecto.

El tubo se debe asegurar y lastrar para prevenir desplazamientos durante la colocación del concreto.

660.4.6 Rellenos

Una vez terminado de construir el atraque y, en el caso de que sea en concreto, cuando este haya curado suficientemente, se debe efectuar el relleno de la zanja conforme a lo que al respecto señala el artículo 610, utilizando el material indicado en los documentos del proyecto.

El material de relleno se debe compactar hasta alcanzar el grado establecido en el numeral 610.5.2.2.1 del artículo 610. El espesor de las capas para construir el relleno debe ser el adecuado para que, con los equipos contemplados en los documentos del proyecto, se alcance el grado de compactación especificado en todo este. El avance del relleno debe ser parejo a ambos lados del tubo para evitar su desplazamiento.

Los rellenos deben tener como mínimo sesenta centímetros (60 cm) de altura, medida desde la cota clave del tubo hasta el nivel del terreno natural o el nivel de la subrasante del pavimento.

660.4.7 Limpieza

Terminados los trabajos, el constructor debe limpiar la zona de las obras y retirar los materiales sobrantes, los cuales se deben transportar y disponer en los sitios aceptados por el interventor y de acuerdo con los procedimientos aprobados por este.

660.4.8 Manejo ambiental

En adición a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a la presente especificación se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en las normas y disposiciones vigentes sobre la conservación del ambiente y los recursos naturales. De esta manera, dichas actividades deben estar incluidas en los costos del proyecto, por tanto, no deben ser objeto de reconocimiento directo en el contrato.

660.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

660.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Verificar el estado de funcionamiento del equipo de construcción.
- Comprobar que los tubos y demás materiales y mezclas por utilizar cumplan los requisitos de la presente especificación.
- Supervisar la correcta aplicación del método de trabajo aprobado.
- Verificar que el alineamiento y la pendiente de la tubería estén de acuerdo con los requisitos de los documentos del proyecto.

El interventor debe medir, para efectos de pago, las cantidades de obra ejecutadas satisfactoriamente por el constructor.

660.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

660.5.2.1 Calidad de la tubería

Los tubos de concreto simple deben cumplir los criterios de aceptación establecidos en la NTC 1022.

El interventor se debe abstener de autorizar el empleo de tubos que presenten:

- Fracturas o grietas que atraviesen la pared, excepto una grieta en el extremo que no exceda el espesor de la junta.
- Defectos que indiquen dosificación, mezcla o moldeo inadecuados.
- Defectos superficiales tales como hormigueros y textura abierta.
- Extremos dañados que impidan la construcción de juntas aceptables.
- Planos de los extremos de los tubos que no sean perpendiculares al eje longitudinal. Sin embargo, se deben respetar las variaciones especificadas en la Tabla 660 — 2.

Los tubos pueden ser sometidos a reparaciones, en caso de que sea necesario, debido a imperfecciones originadas en el proceso de fabricación o a defectos ocasionados durante la manipulación. En tal caso los tubos se deben aceptar si, a criterio del interventor y por instrucción de este, el tubo reparado satisface los requisitos de esta especificación.

El constructor debe suministrar al interventor, sin costo para INVÍAS, muestras para ensayo hasta del cero coma cinco por ciento (0,5 %) del número de tubos de cada diámetro incluidos en la obra, sin que en ningún caso sean menos de dos ejemplares. Los tubos se deben encontrar sanos y tener la longitud completa.

El ensayo de resistencia al aplastamiento se debe efectuar sobre, por lo menos, el setenta y cinco por ciento (75 %) de los tubos recibidos para ensayo. La tubería se debe considerar satisfactoria si todos los tubos de prueba igualan o exceden la resistencia mencionada en la Tabla 660 — 1. Si uno o más tubos no cumplen este requisito, el constructor debe suministrar, a su costa, dos tubos por cada tubo no satisfactorio y el embarque solo puede ser aceptado cuando todos los tubos adicionales cumplan el requisito de resistencia.

De cada tubo satisfactorio se debe tomar una muestra para el ensayo de absorción, la cual debe tener un área de entre setenta y siete y ciento veintinueve centímetros cuadrados (77 cm^2 – 129 cm^2), un espesor igual al de la pared del tubo y estar exenta de astillamientos o grietas visibles. El embarque solo se debe considerar satisfactorio si todas las muestras ensayadas cumplen el requisito de absorción.

660.5.2.2 Tolerancias en las dimensiones de los tubos

Se deben permitir, como máximo, las variaciones establecidas en la Tabla 660 — 2. El interventor debe rechazar los tubos de concreto simple cuyas dimensiones excedan las tolerancias mencionadas en dicha tabla.

Tabla 660 — 2. Tolerancias permitidas en las dimensiones de los tubos de concreto simple

Diámetro nominal interno (mm)	Variación (±) permitida en diámetro nominal interno (mm)	Disminución permitida en espesor de pared (mm) (Nota 1)	Disminución permitida en longitud del tubo (mm) (Nota 2)	Variación permitida en la longitud de dos lados opuestos del tubo	Pérdida de rectitud
450	7	3	13	El mayor valor entre 6 mm o 2 % del diámetro nominal	Hasta 10 mm por metro de longitud
500	8				
600	10				

Nota 1: respecto de los valores de la Tabla 660 — 1 o el establecido en la ficha técnica suministrada por el fabricante en caso de que sea mayor que el mostrado en la Tabla 660 — 1.

Nota 2: respecto de la longitud especificada en la ficha técnica suministrada por el fabricante.

660.5.2.3 Materiales para solado, atraque y relleno

En relación con la calidad y la compactación de los materiales para solado, atraque y relleno diferentes al concreto, se deben aplicar los criterios expuestos en los numerales 610.5.2.1 y 610.5.2.2.1 del artículo 610.

660.5.2.4 Concreto para solado y atraque

En relación con la calidad de los materiales para la mezcla, se deben aplicar los criterios expuestos en el numeral 630.5.1 del artículo 630.

En relación con la calidad de la mezcla elaborada, se debe aplicar lo descrito en el numeral 630.5.2 del mismo artículo. Por lo tanto, si la resistencia de los cilindros tomados en la obra no es satisfactoria, el interventor debe rechazar el volumen del concreto correspondiente y el constructor debe demoler la obra ejecutada, y remover, cargar, transportar y depositar los escombros en los sitios aprobados por el interventor, mediante los procedimientos autorizados por este. Así mismo, el constructor debe reconstruir el área afectada con una mezcla satisfactoria. Estas operaciones las debe realizar sin costo adicional para INVÍAS.

El interventor no debe autorizar la colocación del concreto para solado, si la superficie de apoyo no se encuentra correctamente preparada.

660.5.2.5 Calidad del producto terminado

La tubería puede ser objeto de rechazo si en tramos rectos presenta variaciones de alineamiento de más de diez milímetros por metro de longitud (10 mm/m).

El interventor tampoco debe aceptar los trabajos si, a su criterio, las juntas están deficientemente elaboradas.

Todos los materiales defectuosos y los desperfectos en los trabajos ejecutados deben ser reemplazados y subsanados por el constructor, sin costo adicional para INVÍAS, de

acuerdo con las instrucciones del interventor y su aprobación.

660.6 Medida

La unidad de medida de la tubería debe ser el metro (m), aproximado a la décima (0,1), de tubería de concreto simple suministrada y colocada de acuerdo con los documentos del proyecto y esta especificación, aprobada por el interventor. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

La medida se debe realizar entre las caras exteriores de los extremos de la tubería o los cabezales, según el caso, a lo largo del eje longitudinal y siguiendo la pendiente de la tubería. Para efectos de pago, no se debe medir ninguna longitud de tubería colocada fuera de los límites aprobados por el interventor.

660.7 Forma de pago

El pago se debe hacer al precio unitario del contrato, según el diámetro de la tubería, por toda obra ejecutada, de acuerdo con esta especificación y aprobada por el interventor.

El precio unitario debe incluir todos los costos por concepto de suministro en el lugar de los tubos y su instalación; el suministro de los demás materiales y mezclas requeridos para las juntas y conexiones; la ejecución de las juntas; las conexiones a cabezales, cajas de entrada y aletas; el suministro e instalación de los entibados que se puedan requerir; la señalización preventiva de la vía y el ordenamiento del tránsito automotor durante la ejecución de las obras; la limpieza de la zona de los trabajos; el transporte, la disposición de los materiales sobrantes y, en general, todos los costos relacionados con la correcta ejecución de los trabajos especificados.

El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

Se exceptúan los costos relacionados con el desmonte y la limpieza, los cuales se deben cubrir con cargo al artículo 200, Desmonte y limpieza; los de excavación, los cuales se deben considerar en el artículo 600, Excavaciones varias; los de rellenos de solado, atraque y relleno de zanja, que se deben cubrir con cargo a los artículos 610, Rellenos para estructuras; o 630, Concreto estructural; según sea aplicable; y los de la construcción de cabezales, cajas de entrada y aletas, los cuales deben quedar cubiertos por los artículos 630, Concreto estructural; y 640, Acero de refuerzo.

660.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
660.1	Tubería de concreto simple, clase ___ de ___ mm de diámetro interior.	Metro (m)

Nota: se debe elaborar un ítem de pago para cada clase de tubería de concreto simple y cada diámetro que tengan las tuberías consideradas en los documentos del proyecto.

Tubería de concreto reforzado

Artículo 661 – 22

661.1 Descripción

Este trabajo consiste en el suministro, el transporte, el almacenamiento, el manejo y la colocación de tubería de concreto reforzado, con los diámetros, las armaduras, los alineamientos, las cotas y las pendientes mostrados en los documentos del proyecto; comprende, además, el suministro de los materiales para las juntas de los tubos y la construcción de estas, así como las conexiones a cabezales u obras existentes o nuevas, y la remoción y disposición de los materiales sobrantes.

661.2 Materiales

661.2.1 Tubería

La tubería que suministre el constructor debe cumplir los requisitos de la NTC 401. La clase de tubería y su diámetro interno se deben indicar en los documentos del proyecto, de acuerdo con los diámetros máximos citados en la mencionada norma. Los extremos de los tubos y el diseño de las juntas deben ser tales, que se garantice un encaje adecuado entre secciones continuas, de manera que brinden un conducto permanente y libre de irregularidades en la línea de flujo.

Los requisitos de resistencia al agrietamiento y rotura que deben cumplir los tubos son los especificados en la NTC 401. Los requisitos de durabilidad correspondientes al artículo 630, Concreto estructural, deben ser aplicados a las tuberías de concreto reforzado.

La prueba de abrasión, de obligatorio cumplimiento, se debe realizar de acuerdo con el procedimiento especificado en la norma técnica EAAB NP-027.

661.2.2 Material para solado, atraque y relleno de zanja

Los materiales para el solado, atraque y relleno de la zanja deben ser los indicados en los documentos del proyecto. Los suelos, los materiales de recebo, los materiales granulares tipo SBG y BG, gravilla y arena que se utilicen deben cumplir, respectivamente, lo indicado en los numerales 610.2.1, 610.2.2, 610.2.3, 610.2.5 y 610.2.6 del artículo 610, Rellenos para estructuras.

El tamaño máximo del material para solado y atraque de los tubos no debe ser mayor que veinticinco milímetros (25 mm) (1 pulgada) y el material para rellenos alrededor del tubo no debe exceder los setenta y cinco milímetros (75 mm) (3 pulgadas). El tamaño máximo del material no debe superar la mitad del espesor de la capa compactada.

Si los documentos del proyecto indican que el solado y/o el atraque para la tubería se deben ejecutar en concreto simple, este se debe elaborar según lo especificado en el

artículo 630. La resistencia mínima a la compresión, si los documentos del proyecto no indican otra cosa, debe ser de catorce megapascales (14 MPa) a veintiocho días (28 d), medida según la norma de ensayo INV E-410/ NTC 673.

661.2.3 Sello para juntas

Las juntas para las uniones de los tubos se deben sellar con empaques flexibles que cumplan la especificación ASTM C990 y/o la ASTM C443, con mortero o con lechada de cemento. Si se emplea mortero, este debe ser una mezcla volumétrica de una parte de cemento hidráulico y tres de arena aprobada, con el agua necesaria para obtener una mezcla seca, pero trabajable.

661.3 Equipo

Se requieren, principalmente, elementos para la producción de agregados pétreos y fabricación y curado de la mezcla de concreto, conforme se indica en el numeral 630.3 del artículo 630; herramientas adecuadas para la correcta colocación del refuerzo; moldes para la fabricación de los tubos, y equipos para su transporte y colocación en el sitio de las obras.

661.4 Ejecución de los trabajos

661.4.1 Preparación de las condiciones de instalación de la tubería

La preparación de las condiciones de instalación de la tubería se debe hacer de acuerdo con lo indicado en el numeral 660.4.1 del artículo 660, Tubería de concreto simple.

661.4.2 Colocación del material de solado para la tubería

La colocación del material de solado para la tubería se debe llevar a cabo, según lo indicado en el numeral 660.4.2 del artículo 660.

661.4.3 Colocación de la tubería

La colocación de la tubería se debe realizar de acuerdo con lo indicado en el numeral 660.4.3 del artículo 660.

661.4.4 Juntas

Para la elaboración de las juntas, se deben aplicar las indicaciones del numeral 660.4.4 del artículo 660.

661.4.5 Atraque

La colocación del material de atraque para la tubería se debe realizar de acuerdo con lo indicado en el numeral 660.4.5 del artículo 660.

661.4.6 Rellenos

Para la ejecución de los rellenos, se deben aplicar las indicaciones del numeral 660.4.6 del artículo 660.

661.4.7 Limpieza

Terminados los trabajos, el constructor debe limpiar la zona de las obras y retirar los materiales sobrantes, transportarlos y disponerlos en sitios aceptados por el interventor y de acuerdo con procedimientos aprobados por este.

661.4.8 Manejo ambiental

En adición a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a la presente especificación se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en las normas y disposiciones vigentes sobre la conservación del ambiente y los recursos naturales. De esta manera, dichas actividades deben estar incluidas en los costos del proyecto, por tanto, no deben ser objeto de reconocimiento directo en el contrato.

661.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

661.5.1 Controles

Se deben llevar a cabo los mismos controles generales indicados en el numeral 660.5.1 del artículo 660.

661.5.2 Condiciones específicas para el recibo y las tolerancias

661.5.2.1 Calidad de la tubería

Los tubos de concreto reforzado deben cumplir los criterios de aceptación establecidos en la NTC 401.

El interventor se abstiene de aceptar el empleo de tubos que presenten:

- Fracturas o grietas que atraviesen la pared, excepto una grieta en el extremo que no exceda el espesor de la junta.
- Defectos que indiquen dosificación, mezcla o moldeo inadecuados.
- Defectos superficiales tales como hormigueros o textura abierta.
- Extremos dañados que impidan la construcción aceptable de juntas.
- Cualquier grieta continua que tenga un ancho superficial de tres décimas de milímetro o mayor (≥ 0,3 mm) y se extienda por una longitud de trescientos milímetros o más (≥ 300 mm), independientemente de su posición en el tubo.

El constructor debe suministrar, sin costo para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), el número requerido de tubos para los ensayos, los cuales se deben elegir al azar y corresponden a tubos que no serían rechazados bajo las exigencias de esta especificación. El número de tubos no debe exceder el dos por ciento (2 %) del total necesario en la obra para cada diámetro.

El constructor debe presentar al interventor una certificación con los resultados de los ensayos de calidad efectuados por el fabricante al lote de tubos del cual forman parte los suministrados a la obra. Esta certificación en ningún caso debe ser motivo suficiente para la aceptación de dichos tubos por parte del interventor.

Los tubos se deben someter al ensayo de resistencia al aplastamiento, según la NTC 3676 y la carga necesaria para producir una grieta de cero coma tres milímetros (0,3 mm) o la carga última, no puede ser inferior a la prescrita en la tabla que corresponda de la NTC 401 para cada una de las clases existentes. La tubería es aceptable bajo los ensayos de resistencia, si todos los tubos probados cumplen los requisitos. En caso contrario, el constructor, a su costa, debe suministrar para reensayo dos

(2) tubos adicionales por cada tubo que falle y la tubería se debe considerar aceptable solamente cuando todos los tubos reensayados cumplan los requisitos de resistencia.

De cada tubo satisfactorio por resistencia, se debe tomar una muestra para el ensayo de absorción según la NTC 3676, la cual debe tener una masa mínima de un kilogramo (1 kg), y estar libre de astillamientos y grietas visibles, y representar el espesor total del tubo. Si ningún valor de absorción excede el nueve por ciento (9 %), el lote se debe considerar satisfactorio. Si la absorción de algún tubo supera dicho límite, se debe tomar otra muestra del mismo tubo para que su resultado reemplace al anterior. Si el valor vuelve a superar el límite admisible, se debe rechazar el lote representado por el conjunto de tubos ensayados.

Los tubos que se hayan sometido solamente al ensayo de la formación de la grieta de cero coma tres milímetros (0,3 mm) y que satisfagan los requisitos a la carga de grieta de cero coma tres milímetros (0,3 mm), se deben aceptar para el uso. Para tal efecto, el fabricante debe suministrar al constructor el protocolo de prueba correspondiente.

En adición a las pruebas anteriores y en el evento de que los tubos sean fabricados directamente en la obra en instalaciones adecuadas para ello, la calidad de la mezcla de concreto elaborada se debe evaluar, según lo descrito en el numeral 630.5.2 del artículo 630.

Si la resistencia de los cilindros de concreto elaborados en la obra no cumple los criterios de aceptación del citado numeral, se pueden tomar núcleos de paredes de los tubos representados por dicho concreto, si la armadura lo permite, y la resistencia de cada uno debe ser por lo menos igual a la de diseño. Si algún núcleo no satisface este requisito, se debe tomar otro del mismo tubo y se debe repetir la prueba. Si el resultado de esta tampoco es satisfactorio, o si la armadura no permite tomar los cilindros, se debe rechazar el tubo.

Los orificios que dejen los núcleos en los tubos finalmente aceptados se deben rellenar y sellar adecuadamente, sin costo para INVÍAS, de manera tal que la sección y el aspecto del tubo sean aprobados por el interventor.

661.5.2.2 Tolerancias en las dimensiones de los tubos de concreto reforzado

Las tolerancias permitidas se indican en la Tabla 661 — 1. Los tubos que presenten variaciones localizadas de espesor de pared, en exceso de las recién mencionadas, se deben aceptar si cumplen las exigencias de resistencia al aplastamiento y mínima cobertura del refuerzo, de acuerdo con los requisitos de la NTC 401.

661.5.2.3 Tolerancias en el refuerzo

661.5.2.3.1 Posición

La máxima variación admisible en la posición del refuerzo debe ser el mayor valor entre más o menos diez por ciento (± 10 %) del espesor de diseño de la pared o más o menos trece milímetros (± 13 mm). Sin embargo, se deben aceptar tubos por fuera de esta tolerancia si las muestras representativas satisfacen el ensayo de resistencia al aplastamiento. No obstante, en ningún caso se deben aceptar

tubos cuya armadura tenga un recubrimiento inferior a trece milímetros (13 mm) en la pared interna o en la externa, excepto en la superficie de acople en las juntas.

Tabla 661 — 1. Tolerancias permitidas en las dimensiones de los tubos de concreto reforzado

Diámetro nominal interno (mm)	Variación (±) permitida en diámetro nominal interno (mm)	Variación (±) permitida en espesor de pared (mm)	Disminución permitida en longitud del tubo (mm)	Variación permitida en la longitud de dos lados opuestos del tubo
600	1,5 %	El valor que resulte mayor entre 5 % del espesor de pared especificado o de diseño y 5 mm. Espesores de pared mayores a los requeridos en el diseño no son causa de rechazo de los tubos.	No debe ser superior a 10 mm por metro de longitud de tubo con un máximo total de 13 mm para cualquier longitud de este. Todo con respecto de la longitud de tubo especificada por el fabricante.	No debe ser superior a 6 mm para tuberías de 600 mm de diámetro, y no más de 10 mm por metro de longitud para los diámetros mayores, hasta un valor máximo de 16 mm en cualquier longitud de tubo de hasta 2 150 mm de diámetro interno; y un máximo de 19 mm para diámetros internos mayores.
685 — 3 650	1,0 %			

Nota: para diámetros diferentes, se debe consultar la NTC 401.

661.5.2.3.2 Área de refuerzo

Se debe considerar que el refuerzo satisface los requisitos de diseño si el área, computada sobre la base del área nominal de las varillas empleadas, iguala o excede los requisitos de la respectiva tabla de diseño de la NTC 401.

Cuando se usen canastas interior y exterior, el diseño de la interior puede tener, como mínimo, el ochenta y cinco por ciento (85 %) del área de diseño elíptica, y la canasta exterior el sesenta y cuatro por ciento (64 %) de la misma, siempre y cuando la suma de las dos (2) áreas no resulte inferior al ciento cincuenta y tres por ciento (153 %) del área de diseño elíptica.

661.5.2.4 Material de solado, atraque y relleno

En relación con la calidad y la compactación de los materiales para solado, atraque y relleno diferentes al concreto, se deben aplicar los criterios expuestos en los numerales 600.5.2.1 y 610.5.2.2.1 del artículo 610.

661.5.2.5 Concreto para solado y atraque

En relación con la calidad de los materiales para la mezcla, se deben aplicar los criterios expuestos en el numeral 630.5.1 del artículo 630.

En relación con la calidad de la mezcla elaborada, se debe aplicar lo descrito en el numeral 630.5.2 del mismo artículo. Por tanto, si la resistencia de los cilindros tomados en la obra no es satisfactoria, el interventor debe rechazar el volumen del concreto correspondiente y el constructor debe demoler la obra ejecutada, remover los escombros, cargarlos, transportarlos y depositarlos en sitios aprobados por el interventor, mediante los procedimientos autorizados por este, y reconstruir el área afectada con una mezcla satisfactoria, operaciones que debe realizar sin costo adicional alguno para INVÍAS.

El interventor no debe autorizar la colocación del concreto para solado si la superficie de apoyo no se encuentra correctamente preparada.

661.5.2.6 Calidad del producto terminado

La tubería puede ser objeto de rechazo si en tramos rectos presenta variaciones de alineamiento superiores a diez milímetros por metro (10 mm/m).

El interventor tampoco debe aceptar los trabajos si, a su criterio, las juntas están deficientemente elaboradas.

Todos los materiales defectuosos y los desperfectos en los trabajos ejecutados deben ser reemplazados y subsanados por el constructor, sin costo adicional para INVÍAS, de acuerdo con las instrucciones del interventor y su aprobación.

661.6 Medida

La unidad de medida de la tubería debe ser el metro (m), aproximado a la décima (0,1), de tubería de concreto reforzado suministrada y colocada de acuerdo con los documentos del proyecto y esta especificación, aprobada por el interventor. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

La medida se debe realizar entre las caras exteriores de los extremos de la tubería o los cabezales, según el caso, a lo largo del eje longitudinal y siguiendo la pendiente de la tubería. No se debe medir, para efectos de pago, ninguna longitud de tubería colocada fuera de los límites aprobados por el interventor.

661.7 Forma de pago

El pago se debe hacer al precio unitario del contrato, según el diámetro interno de la tubería, por toda obra ejecutada de acuerdo con esta especificación y aprobada por el interventor.

El precio unitario debe cubrir todos los costos por concepto del suministro de los materiales requeridos para construir los tubos, incluido el acero de refuerzo, la elaboración y curado de los tubos, su transporte y correcta colocación; el suministro de los materiales requeridos para las juntas y la elaboración de estas; las conexiones de cabezales, cajas de entrada y

aletas; el suministro e instalación de los entibados que se puedan requerir; la señalización preventiva de la vía y el ordenamiento del tránsito automotor durante la ejecución de las obras; la limpieza de la zona de los trabajos; el transporte y la disposición de los materiales sobrantes y, en general, todos los costos relacionados con la correcta ejecución de los trabajos especificados.

El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

Se exceptúan los costos relacionados con el desmonte y la limpieza, los cuales se deben cubrir con cargo al artículo 200, Desmonte y limpieza; los de excavación, los cuales se deben considerar en el artículo 600, Excavaciones varias; los de rellenos de solado, atraque y relleno de zanja, que se deben cubrir con cargo a los artículos 610, Rellenos para estructuras; o 630, Concreto estructural; según se aplique; y los de la construcción de cabezales, cajas de entrada y aletas, los cuales deben quedar cubiertos por los artículos 630, Concreto estructural; y 640, Acero de refuerzo.

661.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
661.1	Tubería de concreto reforzado, clase ___ de ___ mm de diámetro interior	Metro (m)

Nota: se debe elaborar un ítem de pago para cada clase de tubería de concreto reforzado y cada diámetro que tengan las tuberías consideradas en los documentos del proyecto.

Tubería metálica corrugada

Artículo 662 – 22

662.1 Descripción

Este trabajo consiste en el suministro, transporte, almacenamiento, manejo y colocación de tubos de acero corrugado galvanizado, de sección circular, ovalada, abovedada o en arco, de superficie ondulada, de diámetros y espesores dados, para ser colocados siguiendo los alineamientos, cotas y pendientes mostrados en los documentos del proyecto aprobados por el interventor. Comprende, además, las conexiones de esta a cabezales y demás obras existentes o nuevas y la remoción y disposición satisfactorias de los materiales sobrantes.

En la construcción de ductos, pasos y drenajes, con tubería metálica perforada, se tienen dos (2) procesos constructivos a saber: uno a cielo abierto o mediante apertura de zanja, y otro con la técnica de tunnel liner (revestimiento del túnel). Esta especificación hace referencia principalmente al sistema constructivo con apertura de zanja.

662.2 Materiales

662.2.1 Tubos de láminas corrugadas de acero galvanizado, remachados, pernados y helicoidales

Los tubos y accesorios necesarios para su ensamblaje deben cumplir los requisitos establecidos en las especificaciones NTC 4831 (ASTM A760), ASTM A761, ASTM A796, y las demás normas y especificaciones que se deriven de su aplicación. La tubería corresponde a los tipos I o II, según la forma definida en los documentos del proyecto. En el caso en que los recubrimientos de la NTC 4831 (ASTM A760), sean insuficientes, se puede recurrir a protección adicional como las previstas por ASTM A849, ASTM A979 o NTC 4854 (ASTM A762).

662.2.2 Tubos de láminas corrugadas con recubrimiento asfáltico (bituminoso)

Deben cumplir los requisitos indicados en la especificación AASHTO M 190 o ASTM A849 y las normas y especificaciones que se deriven de su aplicación.

Salvo que los documentos del proyecto establezcan lo contrario, la tubería debe ser del denominado tipo B. En tuberías con revestimiento asfáltico (bituminoso), el revestimiento debe aplicarse al interior y al exterior de las tuberías con un espesor mínimo de uno coma tres milímetros (1,3 mm) según AASHTO M 190 o ASTM A849.

662.2.3 Material granular para base del solado y atraque de la tubería

El material granular para la base del solado y el atraque de la tubería debe cumplir los requisitos de material granular SBG-20, numeral

610.2.3, artículo 610, Rellenos para estructuras.

662.2.4 Material de relleno

Los materiales para el relleno de la zanja deben ser los indicados en los documentos del proyecto. Los suelos, materiales de recebo y materiales granulares tipo SBG que se utilicen deben cumplir con lo indicado en el artículo 610, numeral 610.2, sub-numerales 610.2.1, 610.2.2 y 610.2.3, respectivamente.

662.3 Equipo

Se requieren, básicamente, elementos para el transporte de los tubos, para su colocación y ensamblaje, así como los requeridos para la obtención de materiales, transporte y construcción de una sub-base granular, según se indica en el numeral 300.3 del artículo 300, Disposiciones generales para la ejecución de afirmados, subbases, bases granulares y capas granulares estabilizadas. Cuando los documentos del proyecto exijan apuntalamiento de la tubería, se deben disponer de elementos de apoyo aprobados por el interventor para dicha labor.

662.4 Ejecución de los trabajos

662.4.1 Certificados de calidad y garantía del fabricante de los tubos

Antes de comenzar los trabajos, el constructor debe entregar al interventor un certificado legalizado de la fábrica, indicando el nombre y marca de fábrica del metal que suministra y un análisis de calidad y resistencia del mismo, para cada clase de tubería.

Además, debe entregar el certificado de garantía del fabricante, estableciendo que todo el material que suministra satisface las especificaciones requeridas, que lleva marcas de identificación y que debe reemplazar sin costo alguno para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) cualquier metal que no esté de conformidad con el análisis, resistencia a la tracción, el espesor y el recubrimiento galvanizado especificados.

Ningún tubo se debe aceptar hasta que los certificados de calidad de fábrica y de garantía del fabricante hayan sido recibidos y aprobados por el interventor, lo cual de ninguna manera debe eximir de la responsabilidad que tiene el constructor para garantizar la calidad del producto que suministre.

662.4.2 Inspección y muestreo en la fábrica o el taller

Cada vez que el interventor lo considere necesario, puede inspeccionar y tomar muestras del material en la planta de laminación o en el taller de fabricación de las tuberías. Además, puede requerir de la fábrica el análisis químico de cualquier lote de fundición y las pruebas de resistencia y galvanizado de los tubos que esté fabricando con destino a la obra.

El interventor debe tener libre acceso a la fábrica o taller para la inspección, y el constructor debe obtener las facilidades para el cumplimiento de esta acción. Además, el interventor debe revisar, verificar y validar el cumplimiento de los requisitos dados en el plan de inspección, medición y ensayo para esta actividad.

662.4.3 Reparación de revestimientos dañados

Aquellas unidades donde el galvanizado haya sido quemado por soldadura o dañado por cualquier otro motivo durante la fabricación, deben ser galvanizadas nuevamente, empleando el proceso de metalizado descrito en las especificaciones AASHTO M 36 y ASTM A780.

662.4.4 Manejo, transporte, entrega y almacenamiento

Para el manejo, transporte, entrega y almacenamiento de la tubería, se debe tener en cuenta los criterios y recomendaciones mínimos establecidos por el fabricante en sus catálogos de productos; así mismo, deben utilizarse los equipos y herramientas adecuados para realizar esta operación con el fin de garantizar el buen estado de la tubería.

Los tubos se deben manejar, transportar y almacenar usando métodos que no los dañen. Los tubos averiados, a menos que se reparen y aprueben por el interventor, deben ser rechazados, aún cuando hayan sido previamente inspeccionados en la fábrica y encontrados satisfactorios.

662.4.5 Preparación de las condiciones de instalación de la tubería

La preparación de las condiciones de instalación de la tubería se debe hacer de acuerdo con lo indicado en el numeral 660.4.1 del artículo 660, Tubería de concreto simple. Si los documentos del proyecto no indican otra cosa, la excavación debe tener una amplitud tal que el ancho de la base del solado de la tubería se extienda un diámetro nominal del tubo, a cada lado de la generatriz de apoyo y a lo largo de toda la longitud del tubo. Así mismo, para la estabilidad de la excavación, se debe determinar si es requerido el uso de entibados o perfilado de los taludes de excavación, de acuerdo con las recomendaciones del especialista en geotecnia.

662.4.6 Base del solado de la tubería

Sobre el terreno natural o el relleno preparado se debe colocar la base del solado de la tubería con material granular, en el ancho indicado en el numeral anterior. El espesor de la base del solado de la tubería debe ser el indicado en los documentos del proyecto, pero no debe ser menor de quince centímetros (15 cm). La superficie acabada de la base del solado de la tubería debe coincidir con las cotas especificadas del fondo exterior de la tubería y su compactación mínima debe ser del noventa por ciento (90 %) de la densidad máxima del ensayo modificado de compactación (INV E-142). El material granular para la base del solado de la tubería debe cumplir los requisitos de material granular SBG-20, numeral 610.2.3, artículo 610.

662.4.7 Instalación de la tubería

En general, para la instalación de la tubería metálica corrugada deben cumplirse los requisitos establecidos en las especificaciones NTC 5229 (ASTM A798) o ASTM A807.

La tubería se debe colocar sobre el lecho de material granular (base del solado de la tubería), conformado y compactado, comenzando en el extremo de aguas abajo, cuidando que las pestañas exteriores circunferenciales y las longitudinales de los costados se coloquen

frente a la dirección de aguas arriba. Los tubos que tengan recubrimiento asfáltico (bituminoso) deben ser colocados con dicho recubrimiento en la parte inferior.

Cuando los documentos del proyecto exijan apuntalamiento, este se debe hacer alargando el diámetro nominal vertical en el porcentaje indicado y manteniendo dicho alargamiento con puntales, trozos de compresión y amarres horizontales. El alargamiento se debe elaborar de manera progresiva de un extremo de la tubería al otro y, los amarres y puntales, deben dejarse en sus lugares hasta que el relleno esté terminado y consolidado, a menos que los documentos del proyecto lo indiquen de otra forma.

662.4.8 Relleno

La zona de relleno adyacente al tubo, con las dimensiones indicadas en los documentos del proyecto, se debe ejecutar con el material apropiado, según lo indicado en el numeral 662.2.4. Los materiales de relleno se deben extender en capas preferiblemente horizontales y de espesor uniforme, las cuales deben ser lo suficientemente delgadas para que, con los medios disponibles, se obtenga el grado de compactación exigido, verificado en la totalidad del espesor de cada capa y con los cuidados necesarios para no desplazar ni deformar los tubos.

El material de relleno se debe compactar hasta alcanzar el grado establecido en el artículo 610, numeral 610.5.2.2.1.

En zonas donde la tubería esté sometida al paso de vehículos, esta debe resistir los esfuerzos producidos por la carga vehicular y por el peso del relleno del suelo compactado en la parte superior del tubo. El espesor del relleno no puede ser menor de cero coma treinta metros (0,30 m), un octavo (1/8) del diámetro externo del tubo o el calculado para el peso de los ejes del vehículo de diseño, el que resulte mayor.

662.4.9 Limpieza

Terminados los trabajos, el constructor debe limpiar la zona de las obras y los sobrantes, transportarlos y disponerlos en sitios aceptados por el interventor, de acuerdo con procedimientos aprobados por este.

662.4.10 Limitaciones de empleo

Se puede utilizar tubería metálica cuando el suelo o el agua en contacto con el tubo cumplan con las siguientes condiciones:

- pH: Entre seis y nueve ($6 < pH < 9$)
- Resistencia mayor a tres mil ohmios por centímetro ($> 3\,000\ \Omega/cm$).
- Contenido de cloruros menor a cien miligramos por kilogramo (< 100 mg/kg)
- Contenido de sulfatos menor a quinientos miligramos por kilogramo (< 500 mg/kg)
- Contenido de sulfuros menor a cien miligramos por kilogramo (< 100 mg/kg)

No obstante las recomendaciones anteriores, se puede autorizar el uso de la tubería metálica si se dispone de la protección requerida o el diseño de sobre espesor de lámina, que garanticen la durabilidad y estabilidad de la obra incluyendo este costo de la protección en el precio unitario de la tubería.

No es recomendable la utilización de la tubería cuando ella vaya a estar sometida a corrientes

de agua con velocidades superiores a tres metros por segundo (3 m/s) o a corrientes con alto contenido de sólidos transportados a menos que se incorpore una protección en la batea que evite el deterioro por abrasión y garantice la vida útil de la tubería. La velocidad mínima debe ser aquella que satisfaga el criterio de autolimpieza de la tubería, para lo cual, se debe garantizar un esfuerzo cortante (fuerza tractiva) sobre la pared de la tubería de mínimo dos pascales (2 Pa) o cero coma dos kilogramos por metro cuadrado (0,2 kg/m^2) en alcantarillados pluviales.

662.4.11 Manejo ambiental

Adicional a los aspectos generales indicados en al artículo 106, Aspectos ambientales, todas las labores de ejecución se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en los estudios o evaluaciones ambientales del proyecto y en las normas y disposiciones vigentes sobre la conservación del ambiente y los recursos naturales.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación, deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades se deben incluir en los costos del proyecto; por tanto, no son objeto de reconocimiento directo en el contrato.

662.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

662.5.1 Controles

El plan de calidad y el plan de inspección, medición y ensayo son de obligatorio cumplimiento tal como se encuentra expresado en el numeral 103.2 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor.

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Verificar el estado de funcionamiento del equipo de construcción.
- Verificar el cumplimiento de las disposiciones existentes en el artículo 102, Aspectos generales de seguridad y salud.
- Comprobar que los tubos y demás materiales por utilizar cumplan los requisitos de la presente especificación.
- Supervisar la correcta aplicación del método de trabajo aprobado.
- Verificar que el alineamiento y la pendiente de la tubería estén de acuerdo con los requisitos de los documentos del proyecto.

El interventor debe medir, para efectos de pago, las cantidades de obra ejecutadas satisfactoriamente por el constructor.

662.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

662.5.2.1 Marcas

Cada paquete de láminas corrugadas, debe estar identificado por un sello (adhesivo) que indique:

- Nombre del fabricante de la lámina.
- Marca y clase del metal básico.
- Características de la tubería.
- Calibre o espesor de la lámina.

- Peso del galvanizado.
- Lote.

Las marcas de identificación deben ser colocadas por el fabricante de tal manera que, tales marcas aparezcan en la parte exterior de cada sección o paquete de láminas corrugadas.

662.5.2.2 Calidad de la tubería

Constituyen causal de rechazo de los tubos, los siguientes defectos:

- Traslapos desiguales.
- Forma defectuosa.
- Variación de la línea recta central.
- Bordes dañados.
- Remaches o puntos de soldadura flojos, mal alineados o mal espaciados.
- Marcas ilegibles.
- Láminas de metal abollado o roto.

La tubería metálica debe satisfacer los requisitos de todas las pruebas de calidad mencionadas en la especificación AASHTO M 36 o NTC 4831 (ASTM A760). Además, el interventor debe tomar, al azar, muestras cuadradas de lado igual a cincuenta y siete coma uno más o menos cero coma tres milímetros (57,1 mm ± 0,3 mm), para someterlas a análisis químicos y determinación del peso del galvanizado, cuyos resultados deben satisfacer las exigencias de la especificación AASHTO M 218. El peso del galvanizado se debe determinar en acuerdo con la norma AASHTO T 65 o NTC 3237 (ASTM A90). Las muestras, para estos ensayos, se pueden tomar de la tubería ya fabricada o de láminas o rollos del mismo material usado en su fabricación.

662.5.2.3 Calidad del recubrimiento asfáltico (bituminoso)

Cuando los documentos del proyecto requieran la colocación de tubería con revestimiento asfáltico (bituminoso), el material de este debe satisfacer las exigencias de calidad impuestas por la especificación AASHTO M 190 o ASTM A849.

662.5.2.4 Tamaño y variación permisibles

La longitud especificada de la alcantarilla debe ser la longitud neta de la alcantarilla terminada, la cual no debe incluir cualquier otro material para darle acabado al tubo. Si la deficiencia promedio en longitud de cualquier lote es mayor del uno por ciento (> 1 %), el lote debe ser rechazado por el interventor.

662.5.2.5 Base del solado de la tubería y relleno

En relación con la calidad y compactación de los materiales para la base del solado de la tubería, atraque y relleno, se deben aplicar los criterios expuestos en el numeral 610.5.2.2.1 del artículo 610. La frecuencia de las verificaciones de compactación debe ser establecida por el interventor, quien no debe recibir los trabajos si todos los ensayos que se efectúan no superan los límites mínimos indicados para la base del solado de la tubería y el relleno (numerales 662.4.6 y 662.4.8).

662.5.2.6 Calidad del producto terminado

La tubería debe ser objeto de rechazo si en tramos rectos presenta variaciones de alineamiento de más de diez milímetros por metro de longitud (> 10 mm/m). Así mismo, se debe cumplir con las pendientes de las tuberías, separación entre tuberías paralelas si existen, de acuerdo con los documentos del proyecto, se deben cumplir los requisitos de la NTC 4831 (ASTM A760).

Todos los materiales que resulten defectuosos de acuerdo con lo prescrito en esta especificación, deben ser reemplazados por el constructor bajo su propia cuenta y riesgo, de acuerdo con las indicaciones del interventor. Así mismo, el constructor debe reparar, a sus expensas, las deficiencias que presenten las obras ejecutadas y las que superen las tolerancias establecidas en esta especificación.

662.6 Medida

La unidad de medida debe ser el metro (m), aproximado a la décima (0,1), de tubería metálica corrugada, suministrada y colocada de acuerdo con los documentos del proyecto, con esta especificación y según lo aprobado por el interventor. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

La medida se debe hacer entre las caras exteriores de los extremos de la tubería o los cabezales, según el caso, a lo largo del eje longitudinal y siguiendo la pendiente de la tubería.

No se debe medir, para efectos de pago, ninguna longitud de tubería colocada por fuera de los límites autorizados por el interventor.

662.7 Forma de pago

El pago se debe efectuar al precio unitario del contrato, según el diámetro nominal y el espesor o calibre de la tubería, por toda obra ejecutada de acuerdo con esta especificación y aceptada por el interventor.

El precio unitario debe cubrir todos los costos por concepto de suministro, patentes e instalación de las tuberías y el apuntalamiento de estas, cuando se requiera. También, debe incluir el costo del revestimiento asfáltico (bituminoso) de los tubos que lo requieran y el suministro del material. Igualmente, las conexiones a cabezales, cajas de entrada y aletas. Además, debe incluir los costos correspondientes a la señalización preventiva de la vía y el ordenamiento del tránsito automotor durante el período de ejecución de las obras, la limpieza de la zona de ejecución de los trabajos al término de los mismos, el transporte y adecuada disposición de los materiales sobrantes y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución de los trabajos especificados.

El precio unitario debe incluir, también, los costos de administración, imprevistos y la utilidad del constructor.

Se deben exceptuar los costos derivados de las operaciones de desmonte y limpieza, que se deben pagar con cargo al artículo 200, Desmonte y limpieza; los de excavación, que se deben liquidar con cargo al artículo 210, Excavación de la explanación, canales y

préstamos o artículo 600, Excavaciones varias, según corresponda; los de rellenos, que se deben pagar con cargo al artículo 610; y los de la construcción de cabezales, cajas de entrada y aletas, que se deben cancelar con cargo al artículo 630, Concreto estructural y artículo 640, Acero de refuerzo.

662.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
662.1	Tubería corrugada de acero galvanizado, de lámina calibre y diámetro nominal (mm)	Metro (m)
662.2	Tubería corrugada de acero con recubrimiento asfáltico (bituminoso), de lámina calibre y diámetro nominal (mm)	Metro (m)

Nota: se debe elaborar un ítem de pago para cada calibre de lámina y/o cada diámetro nominal que tengan las tuberías consideradas en el proyecto.

Tubería de plástico

Artículo 663 – 22

663.1 Descripción

Este trabajo consiste en el suministro, transporte, almacenamiento, manejo y colocación de tuberías de plástico, del tipo y con los diámetros, alineamientos, cotas y pendientes mostrados en los documentos del proyecto; comprende, igualmente, el suministro de los materiales para las juntas de los tubos y la construcción de estas, así como las conexiones a cabezales u obras existentes o nuevas y la remoción y disposición del material sobrante.

663.2 Materiales

663.2.1 Tubería

La tubería y los accesorios deben ser del tipo y las características indicadas en los documentos del proyecto y deben estar de acuerdo con alguna de las siguientes normas:

- NTC 5055 (ASTM F794).
- NTC 5070 (ASTM F1803).
- NTC 4764 (ASTM F794).
- ASTM F949.
- NTC 5447 (ASTM F2306).
- ASTM F2648.
- NTC 6326 (ASTM F667).
- ASTM F714.
- ASTM F894.
- ASTM D7001, NTC 3870, ASTM D3262, ASTM D3517, ASTM D2412.
- NTC 3877 (ASTM D4161).
- NTC 3878 (ASTM D3839).
- ASTM D3567.
- NTC 3785 (ASTM D3681).
- NTC 595 (ASTM D638).

663.2.2 Sello de juntas

Salvo que los documentos del contrato indiquen otra cosa, las juntas deben ser impermeables con sello de elastómero flexible, según la norma ASTM D3212.

663.2.3 Material de relleno

Los materiales para la base del solado de la tubería, atraque y relleno de la zanja, deben ser los indicados en los documentos del proyecto. Los suelos, materiales de recebo, materiales granulares tipo SBG y BG, gravilla y arena que se utilicen deben cumplir con lo indicado en el artículo 610, Rellenos para estructuras, numeral 610.2, subnumerales 610.2.1, 610.2.2, 610.2.3, 610.2.5 y 610.2.6, respectivamente. La selección de los materiales para cada una de las partes del relleno de la zanja se debe realizar siguiendo los lineamientos de la NTC 2795 (ASTM D2321).

Salvo que los documentos del proyecto indiquen otra cosa, el tamaño máximo de los

materiales de solado y atraque debe ser veinte milímetros (20 mm) (3/4 de pulgada) y, el de los demás materiales que queden en contacto con el tubo, debe ser de cuarenta milímetros (40 mm) (1 1/2 pulgadas).

663.3 Equipo

Se requieren básicamente equipos para el transporte de la tubería y su colocación en el sitio de las obras.

663.4 Ejecución de los trabajos

Para la ejecución de los trabajos se deben seguir las recomendaciones para la instalación de tuberías termoplásticas enterradas utilizadas en alcantarillas y otras aplicaciones de flujo por gravedad, de acuerdo con la NTC 2795 (ASTM D2321).

663.4.1 Preparación de las condiciones de instalación de la tubería

La preparación de las condiciones de instalación de la tubería, se debe llevar a cabo de acuerdo con lo indicado en el numeral 660.4.1 del artículo 660, Tubería de concreto simple. Así mismo, para la estabilidad de la excavación, se debe determinar si es requerido el uso de entibados o perfilado de los taludes de excavación cuando se requiera y con base en las recomendaciones del especialista en geotecnia.

663.4.2 Colocación del material de solado para la tubería

El material de cama o base que sirve de apoyo a la tubería debe ser granular, con las características que se indiquen en los documentos del proyecto. Este material se debe colocar antes de la instalación de la tubería; por su parte, el material de solado se debe compactar hasta alcanzar el grado establecido en el artículo 610, numeral 610.5.2.2.1, salvo que, en el caso de gravilla o arena, los documentos del proyecto indiquen que este material se deba colocar en estado suelto. El espesor de las capas para construir el material granular de solado debe ser el adecuado para que, con los equipos contemplados en el proyecto, se alcance el grado de compactación especificado en todo el espesor del mismo.

663.4.3 Colocación de la tubería

La tubería se debe instalar siguiendo las instrucciones del fabricante; se debe ubicar en forma ascendente, comenzando por el lado de salida y con los extremos acampanados o de ranura dirigidos hacia el cabezal o caja de entrada de la obra. Antes de instalar la tubería dentro de la zanja, se deben inspeccionar y limpiar las uniones.

El fondo de la tubería se debe ajustar a los alineamientos y cotas señalados en los documentos del proyecto del proyecto. Cada tramo de tubo debe quedar completamente soportado y deben verificarse su alineamiento y cotas, antes de colocar el siguiente tramo.

En las instalaciones múltiples de tuberías paralelas, si los documentos del proyecto no indican otra cosa, la distancia libre entre caras externas de las tuberías debe ser igual a medio (1/2) diámetro externo, pero no menos de seiscientos milímetros (600 mm).

663.4.4 Juntas

Las juntas se deben ejecutar siguiendo las instrucciones del fabricante. Se deben limpiar todas las partes de la junta, incluyendo material de sello flexible. Antes de insertar el nuevo tubo al que ya se encuentra instalado, estos se deben alinear; el empuje para la inserción debe hacerse con presión constante, protegiendo el tubo que se empuja con madera o algún elemento similar para prevenir que el equipo de empuje cause algún deterioro.

663.4.5 Relleno de atraque

El material de atraque que le debe dar soporte a la parte inferior del tubo, en sus costados, debe ser granular, con las características que se indiquen en los documentos del proyecto. Se debe compactar hasta alcanzar el grado de compactación establecido en el artículo 610, numeral 610.5.2.2.1. El espesor de las capas para construir el atraque, debe ser el adecuado para que, con los equipos contemplados en el proyecto, se alcance el grado de compactación especificado en todo el espesor del mismo; el avance del relleno de atraque debe ser parejo a ambos lados del tubo para evitar el desplazamiento del mismo. Por su parte, la compactación del material de atraque debe lograr que el tubo quede totalmente apoyado, sin vacíos o zonas de baja densidad.

663.4.6 Rellenos laterales y superiores

Los rellenos laterales se deben ejecutar con los materiales y grados de compactación mostrados en los documentos del proyecto. Los rellenos deben avanzar en capas de espesor no mayor que quince centímetros (15 cm), a ambos lados del tubo, sin que se presenten diferencias de altura superiores a quince centímetros (15 cm) entre ellos.

El relleno debe seguir avanzando lentamente de la misma manera hasta cubrir el tubo con un espesor no menor de treinta centímetros (30 cm), por encima de este.

El material de relleno se debe compactar hasta que alcance el grado establecido en artículo 610, numeral 610.5.2.2.1. El espesor de las capas para construir el relleno debe ser el adecuado para que, con los equipos contemplados en el proyecto, se alcance el grado de compactación especificado en todo el espesor del mismo.

663.4.7 Limpieza

Terminados los trabajos, el constructor debe limpiar la zona de las obras y retirar los materiales sobrantes, transportarlos y disponerlos en sitios aceptados por el interventor, de acuerdo con procedimientos aprobados por él.

663.4.8 Manejo ambiental

Adicional a los aspectos generales indicados en al artículo 106, Aspectos ambientales, todas las labores de ejecución de tuberías de plástico se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en los estudios o evaluaciones ambientales del proyecto y en las normas y disposiciones vigentes sobre la conservación del ambiente y los recursos naturales. Además, se deben tener en cuenta los criterios definidos en el plan de inspección, medición y ensayo aprobado por la interventoría.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación, deben acatar lo establecido en las normas y disposi-

ciones ambientales. De esta manera, dichas actividades se deben incluir en los costos del proyecto; por tanto, no son objeto de reconocimiento directo en el contrato.

663.4.9 Manejo, transporte, entrega y almacenamiento

Para el manejo, transporte, entrega y almacenamiento de la tubería, se deben tener en cuenta los criterios y recomendaciones mínimos establecidos por el fabricante en sus catálogos de productos; así mismo, deben utilizarse los equipos y herramientas adecuadas para realizar esta operación con el fin de garantizar el buen estado de la tubería.

Los tubos se deben manejar, transportar y almacenar, usando métodos que no los dañen. Los tubos averiados, a menos que se reparen y aprueben por el interventor, deben ser rechazados, aun cuando hayan sido previamente inspeccionados en la fábrica y encontrados satisfactorios.

663.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

663.5.1 Controles

El plan de calidad y el plan de inspección, medición y ensayo son de obligatorio cumplimiento tal como se encuentra expresado en el numeral 103.2 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor.

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Verificar el estado de funcionamiento del equipo de construcción.
- Verificar el cumplimiento de las disposiciones existentes en el artículo 102, Aspectos generales de seguridad y salud.
- Comprobar que los tubos y demás materiales y mezclas por utilizar, cumplan los requisitos de la presente especificación.
- Supervisar la correcta aplicación del método de trabajo aprobado.
- Verificar que, el alineamiento y pendiente de la tubería, estén de acuerdo con los requerimientos de los documentos del proyecto.

El interventor debe medir, para efectos de pago, las cantidades de obra ejecutadas satisfactoriamente por el constructor.

663.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

663.5.2.1 Calidad de la tubería

Los tubos de plástico deben cumplir con los criterios de aceptación establecidos en la norma aplicable de las mencionadas en el numeral 663.2.1, según el tipo de tubo.

663.5.2.2 Materiales de relleno

En relación con la calidad y compactación de los materiales para la base del solado, atraque y relleno diferentes al concreto, se deben aplicar los criterios expuestos en los numerales 610.5.2.1 y 610.5.2.2.1 del artículo 610.

663.5.2.3 Calidad del producto terminado

La tubería debe ser objeto de rechazo si, en tramos rectos, presenta variaciones de alineamiento de más de diez milímetros por metro (10 mm/m).

El interventor tampoco debe aceptar los trabajos cuando a su criterio, las juntas están deficientemente elaboradas.

Todos los materiales defectuosos y los desperfectos en los trabajos ejecutados deben ser reemplazados y subsanados por el constructor, de acuerdo con procedimientos aceptados por el interventor, bajo su cuenta y riesgo exclusivos.

663.6 Medida

La unidad de medida de la tubería debe ser el metro (m), aproximado a la décima (0,1), de tubería de plástico suministrada y colocada de acuerdo con los documentos del proyecto aprobados por el interventor y esta especificación. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

La medida se debe hacer entre las caras exteriores de los extremos de la tubería o los cabezales, según el caso, a lo largo del eje longitudinal y siguiendo la pendiente de la tubería. No se debe medir, para efectos de pago, ninguna longitud de tubería colocada fuera de los límites autorizados por el interventor.

663.7 Forma de pago

El pago se debe hacer a los precios unitarios del contrato, por toda obra ejecutada de acuerdo con esta especificación y aceptada por el interventor.

El precio unitario debe incluir todos los costos por concepto de suministro en el lugar de los tubos y su instalación; el suministro de los demás materiales requeridos para las juntas y conexiones; la ejecución de las juntas; las conexiones a cabezales, cajas de entrada y aletas; el suministro e instalación de los entibados que puedan requerirse; la señalización preventiva de la vía y el ordenamiento del tránsito automotor durante la ejecución de las obras; la limpieza de la zona de los trabajos; el transporte, disposición de los materiales sobrantes y, en general, todos los costos relacionados con la correcta ejecución de los trabajos especificados.

El precio unitario debe cubrir, también, los costos de administración, imprevistos y la utilidad del constructor.

Se deben exceptuar los costos de desmonte y limpieza, los cuales se deben cubrir con cargo al artículo 200, Desmonte y limpieza; los de excavación, que se deben considerar en el artículo 600, Excavaciones varias, los de rellenos de solado, atraque y relleno de zanja, que se deben cubrir con cargo al artículo 610; y los de la construcción de cabezales, cajas de entrada y aletas, los cuales deben quedar cubiertos por los artículos 630, Concreto estructural y 640, Acero de refuerzo.

663.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
663.1	Tubería de plástico tipo ____, norma___, de diámetro interno___ mm	Metro (m)

Nota: se debe elaborar un ítem para cada tipo de tubería y cada diámetro incluido en el contrato.

Disipadores de energía y sedimentadores, en gaviones de alambre de acero entrelazado o en concreto ciclópeo

Artículo 670 – 22

670.1 Descripción

670.1.1 Generalidades

Este trabajo consiste en la construcción de estructuras hidráulicas de disipadores de energía y de sedimentadores, en gaviones de alambre de acero entrelazado o en concreto ciclópeo.

En todos los casos, la construcción comprende el suministro de materiales y equipos, así como la colocación de formaletas, preparación y vaciado de mezclas de concreto y mortero, colocación de gaviones, acabado y curado de las obras y, en general, todas las operaciones requeridas para su terminación, de acuerdo con los documentos del proyecto aprobados por el interventor y esta especificación.

670.1.2 Clasificación

Las estructuras hidráulicas como disipadores de energía y los sedimentadores, se deben clasificar de acuerdo con el tipo de construcción y sus elementos constitutivos. Estos pueden ser en gaviones de alambre de acero entrelazado o en concreto ciclópeo.

A su vez, los disipadores de energía y los sedimentadores en gaviones de alambre de acero entrelazado se deben clasificar en cuatro (4) clases, en función del tipo de revestimiento del alambre, como se establece en el numeral 681.2.1.2 del artículo 681, Gaviones y colchogaviones de malla de alambre de acero entrelazado.

La construcción de disipadores de energía y sedimentadores con otros materiales, debe ser objeto de una especificación particular.

670.2 Materiales

670.2.1 Gaviones

Las canastas, las piedras de llenado para los gaviones y todos los materiales constitutivos de los mismos, deben cumplir los requisitos indicados en el numeral 681.2 del artículo 681.

670.2.2 Concreto ciclópeo

Los materiales para el concreto ciclópeo deben cumplir las exigencias establecidas en el numeral 630.2 del artículo 630, Concreto estructural. Si los documentos del contrato no establecen otra cosa, el concreto ciclópeo debe estar constituido por concreto tipo F0 acorde con el numeral 630.2.6.1.1 del artículo 630 y con resistencia a la compresión simple de diecisiete megapascales (17 MPa) a los veintiocho días (28 d). El agregado ciclópeo debe ser de formas angulares y rugosas, con tamaños máximos de trescientos milímetros

(300 mm) y en una proporción de treinta por ciento (30 %), como máximo, del volumen total.

Para la producción del concreto ciclópeo, se pueden usar agregados reciclados acorde con el numeral 630.2.1.3 del artículo 630 y siguiendo las recomendaciones de ACI 555R – *Removal and Reuse of Hardenerd Concrete.*

670.2.3 Geotextil de separación

Si los documentos del proyecto así lo indican, sobre la superficie compactada se debe instalar un geotextil de separación, el cual debe cumplir con lo especificado en el artículo 231, Separación de suelos de subrasante y capas granulares con geotextil, numeral 231.2.1.

670.3 Equipo

Los equipos para la ejecución de los trabajos deben depender del material que se utilice. Si se construyen en gaviones, resulta aplicable lo descrito en el numeral 681.3 del artículo 681; mientras que, si se construyen en concreto, se debe aplicar lo pertinente del numeral 630.3 del artículo 630.

670.4 Ejecución de los trabajos

670.4.1 Generalidades

Los procedimientos que adopte el constructor para la construcción de disipadores de energía y de sedimentadores, deben prevenir el deterioro del revestimiento de los alambres de las canastas.

La ejecución de los trabajos para la construcción de disipadores de energía y de sedimentadores debe cumplir el numeral 681.4 del artículo 681.

670.4.2 Preparación de la superficie de apoyo

El interventor solamente debe autorizar la iniciación de los trabajos, cuando se compruebe que la superficie sobre la cual se deben apoyar los disipadores de energía y sedimentadores tenga las cotas y los niveles de compactación indicados en los documentos del proyecto aprobados por el interventor.

Si en dicha superficie existen irregularidades que excedan las tolerancias determinadas en la especificación correspondiente a la unidad de obra con la cual se obtuvo, el constructor debe efectuar las correcciones necesarias, las cuales deben ser aprobadas por el interventor.

En el caso de disipadores y de sedimentadores en gaviones, si los documentos del proyecto así lo indican, sobre la superficie compactada, se debe instalar un geotextil de separación, labor que debe ser adelantada de acuerdo con lo indicado en el numeral 670.2.3.

670.4.3 Disipadores y sedimentadores en gaviones

Los trabajos de construcción de disipadores de energía y sedimentadores de gaviones, se ciñen a lo establecido en el artículo 681, numeral 681.4, en particular en lo relacionado con la preparación de la superficie de apoyo (numeral 681.4.2); además, antes de construir los primeros gaviones en la base, se debe aplicar un solado de limpieza sobre toda la base de los gaviones, no menor a quince centímetros (15 cm) con una resistencia de

diecisiete megapascales (17 MPa) a los veintiocho días (28 d). El material para el solado debe cumplir con los requisitos de material granular SBG-20, numeral 610.2.3, artículo 610, Rellenos para estructuras.

Para la construcción de los gaviones, se deben usar formaletas de madera, para dar un adecuado alineamiento y terminado de estos.

Las canastas vacías y completamente ensambladas se deben poner en su posición final sobre la superficie preparada. No se debe permitir el transporte de canastas llenas.

Antes del llenado, cada canasta se debe amarrar y/o anclar a las adyacentes, laterales e inferiores, a lo largo de todas las aristas en contacto, tanto horizontales como verticales, y se deben poner los tirantes o templetes tanto permanentes como temporales.

Para obtener un mejor alineamiento y terminado, se debe tensar la malla de las canastas metálicas, antes del llenado, utilizando una palanca o una barra metálica; como alternativa para garantizar la regularidad del gavión y facilitar su llenado, se puede utilizar una formaleta de madera en las caras que no están en contacto con otros gaviones.

Los gaviones deben ser colocados de abajo hacia arriba, y deben ser empotrados convenientemente en las laderas, de acuerdo con los documentos del proyecto y las indicaciones del interventor .

Si los documentos del proyecto así lo indican, contra las caras de los gaviones que van a quedar en contacto con los rellenos laterales, se debe instalar un geotextil de separación, labor que se debe realizar según lo indicado en el numeral 681.4.7 del artículo 681.

670.4.4 Disipadores y sedimentadores en concreto ciclópeo

670.4.4.1 Construcción de las estructuras

Una vez preparada la superficie de apoyo, se debe proceder a colocar las formaletas, las cuales deben tener una resistencia suficiente para contener la mezcla de concreto, sin que se produzcan deformaciones entre soportes o en las líneas y contornos que se muestran en los documentos del proyecto.

Una vez terminada la colocación de las formaletas, se deben revisar todos los soportes y corregir cualquier defecto que pueda dar lugar a deformación o falla. Si durante la colocación del concreto se advierten fallas en los soportes, esta se debe suspender hasta que los puntales débiles hayan sido reforzados suficientemente.

Antes de iniciar la colocación del concreto, se deben limpiar las formaletas de impurezas, incrustaciones de mortero y cualquier otro material extraño.

La mezcla de concreto se debe diseñar, fabricar, descargar, transportar, entregar, colocar, compactar y curar, conforme se establece en el numeral 630.4 del artículo 630, de estas especificaciones.

Las juntas de construcción y de expansión se deben construir en los sitios y en la forma indicada en los documentos del proyecto.

670.4.4.2 Ejecución de rellenos laterales

Una vez construidas las estructuras y retiradas las formaletas, se deben ejecutar los rellenos laterales según el artículo 610, empleando los materiales indicados en los documentos del proyecto. Los equipos y procedimientos deben ser los adecuados para lograr la densidad especificada en los documentos del proyecto.

670.4.5 Manejo ambiental

Adicional a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las labores requeridas para la construcción de estructuras hidráulicas en gaviones o concreto ciclópeo, se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en los estudios y evaluaciones ambientales del proyecto, así como en las normas y disposiciones vigentes sobre conservación del ambiente, los recursos naturales y protección de la comunidad.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación, deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades se deben incluir en los costos del proyecto; por tanto, no son objeto de reconocimiento directo en el contrato.

Entre otras, se deben tomar las siguientes precauciones:

- Todo material excedente de la excavación o sobrante debe ser removido de las proximidades de la obra, evitando que contribuya en su taponamiento.
- Los materiales excedentes deben ser trasladados a los sitios de depósito autorizados y, por ningún motivo, se puede permitir que sean arrastrados hacia cursos de agua.
- Los desagües de las estructuras construidas no deben provocar erosiones de las vertientes o arrastre de sólidos hacia cursos de agua. Se debe garantizar una estructura hidráulica de entrega (por ejemplo, cabezal de entrega, pedraplén, etc.); para evitar la socavación en la base ya sea del disipador o sedimentador en gaviones de alambre de acero entrelazado o en concreto ciclópeo.
- Las estructuras hidráulicas como disipadores o sedimentadores, deben quedar por fuera de la zona de inundación de los cuerpos de agua receptores (quebradas, ríos, lagos, laguna), para caudales máximos con periodos de retorno de cincuenta (50) años de recurrencia.

670.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

El plan de calidad y el plan de inspección, medición y ensayo son de obligatorio cumplimiento tal como se encuentra expresado en el numeral 103.2 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor.

Según el material utilizado en la construcción, se deben tener en cuenta las condiciones señaladas en el numeral 681.5 del artículo 681, o en el numeral 630.5 del artículo 630, y artículo 231, numeral 231.4.3.

670.6 Medida

La unidad de medida de las estructuras hidráulicas de disipadores de energía y sedimentadores en gaviones debe ser el metro

cúbico (m^3), aproximado a la décima (0,1). El volumen se debe determinar sumando los volúmenes de las canastas de gavión instalado, recibido y aprobado por el interventor. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E- 823.

A su vez, la unidad de medida de los disipadores de energía y de sedimentadores en concreto ciclópeo debe ser el metro cúbico (m^3), aproximado a la décima (0,1). El volumen se debe determinar según el numeral 630.6 del artículo 630. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

Se deben medir por aparte, para efectos de pago, las excavaciones y los rellenos requeridos para la preparación de la fundación, los rellenos laterales, solados de limpieza y los geotextiles.

670.7 Forma de pago

670.7.1 Disipadores de energía y sedimentadores en gaviones

El pago de los disipadores de energía y sedimentadores en gaviones se debe hacer al precio unitario del contrato, por toda obra ejecutada de acuerdo con esta especificación y aprobada por el interventor. El precio unitario debe cubrir los costos del suministro, transporte e instalación de las canastas; explotación, cargue, transporte, descargue y colocación del material de relleno; cosida y anclada de las mallas, así como todos los demás costos relacionados con la correcta ejecución de los trabajos especificados. Las actividades de excavación se deben pagar de acuerdo con el artículo 600, Excavaciones varias.

670.7.2 Disipadores de energía y sedimentadores en concreto ciclópeo

El pago de los disipadores de energía y sedimentadores en concreto ciclópeo se debe hacer al precio unitario del contrato, por toda obra ejecutada de acuerdo con esta especificación y aprobada por el interventor. El precio unitario debe cubrir los costos de suministro del concreto o su elaboración en el sitio de la obra, incluyendo el suministro y transporte de los materiales componentes del concreto ciclópeo como la piedra, así como el diseño y la preparación de las mezclas; el suministro de materiales y accesorios para las formaletas y la obra falsa y su construcción y remoción; el transporte y colocación de las mezclas, su vibrado, el curado del concreto terminado, la construcción de juntas y, en general, todo costo relacionado con la correcta construcción de las obras especificadas.

670.7.3 Consideraciones adicionales

En ambos casos, el precio unitario debe incluir los costos de construcción o adecuación de las vías de acceso a las fuentes de materiales, la adecuación de las fuentes al término de la explotación para recuperar sus características hidrológicas superficiales y la obtención de todos los permisos ambientales y derechos de explotación.

El precio unitario en los dos (2) casos debe incluir, también, los costos de administración, imprevistos y la utilidad del constructor.

Se deben pagar por aparte las excavaciones y rellenos requeridos para la preparación de la fundación, los rellenos laterales, solados de limpieza, y los geotextiles, de acuerdo con las siguientes secciones:

- Excavaciones: artículo 600
- Rellenos: artículo 610
- Geotextiles: artículo 231
- Solados de limpieza: artículo 812, Recubrimiento de taludes con malla y mortero numerales 812.4.4 y 812.4.5

670.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
670.1	Disipadores de energía y sedimentadores en gaviones de alambre de acero entrelazado clase 1: recubrimiento de zinc (galvanizado)	Metro cúbico (m^3)
670.2	Disipadores de energía y sedimentadores en gaviones de alambre de acero entrelazado clase 2: recubrimiento de aleación Zn-5A1-MM	Metro cúbico (m^3)
670.3	Disipadores de energía y sedimentadores en gaviones de alambre de acero entrelazado clase 3: recubrimiento de zinc (galvanizado) y PVC	Metro cúbico (m^3)
670.4	Disipadores de energía y sedimentadores en gaviones de alambre de acero entrelazado clase 4: recubrimiento de aleación Zn-5A1-MM y PVC	Metro cúbico (m^3)
670.5	Disipadores de energía y sedimentadores en concreto ciclópeo	Metro cúbico (m^3)

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

Cunetas revestidas en concreto

Artículo 671 – 22

671.1 Descripción

Este trabajo consiste en el transporte, el suministro, la elaboración, el manejo, el almacenamiento y la colocación de los materiales de construcción de cunetas de concreto prefabricadas o vaciadas *in situ.* Las cotas de cimentación, las dimensiones, los tipos y las formas de las cunetas revestidas de concreto deben ser las indicadas en los documentos del proyecto o las aprobadas por el interventor.

En caso necesario, incluye también las operaciones de alineamiento, excavación, conformación de la sección, el suministro del material de relleno necesario y la compactación del suelo de soporte.

671.2 Materiales

671.2.1 Concreto para cunetas vaciadas *in situ*

El concreto para la construcción de las cunetas vaciadas *in situ* debe ser del tipo definido en los documentos del proyecto, y su elaboración se debe hacer según lo especificado en el artículo 630, Concreto estructural. Si los documentos del proyecto no indican otra cosa, las cunetas vaciadas *in situ* sin refuerzo y que no tienen la función de berma-cuneta se deben construir con concreto de veintiún megapascales (21 MPa) de resistencia a la compresión a veintiocho días (28 d).

671.2.2 Acero para cunetas vaciadas *in situ*

Si los documentos del proyecto lo requieren, el acero de refuerzo para la construcción de las cunetas debe cumplir lo estipulado en el artículo 640, Acero de refuerzo.

671.2.3 Piezas prefabricadas

Las piezas prefabricadas deben cumplir la NTC 4109.

Cada pieza prefabricada debe tener una longitud no menor de un metro (1 m) y sus dimensiones deben ser las señaladas en los documentos del proyecto, sobre las cuales se deben admitir las tolerancias que se indican en la Tabla 671 —1.

Tabla 671 — 1. Tolerancia para las dimensiones de las piezas prefabricadas

Dimensión	Tolerancia (mm)
Espesor	± 2
Ancho	± 5
Longitud	± 5

671.2.4 Material de relleno para el acondicionamiento de la superficie de apoyo

Todos los materiales de relleno requeridos para el adecuado soporte de las cunetas deben ser seleccionados de los cortes adyacentes o de las fuentes de materiales, según lo establezcan los documentos del proyecto, y deben cumplir la condición de seleccionados, según el artículo 220, Terraplenes.

671.2.5 Sellante de juntas

Para el sello de las juntas transversales de las cunetas vaciadas *in situ* y todas las longitudinales entre el pavimento y la cuneta se debe emplear el material indicado en los documentos del proyecto, y aprobado por el interventor. Se deben seguir todas las indicaciones de manejo e instalación consignadas en la ficha técnica del producto suministrada por el fabricante.

671.2.6 Juntas con mortero entre piezas prefabricadas de concreto

En el caso de cunetas con piezas prefabricadas, los documentos del proyecto pueden indicar que la unión entre ellas sea con mortero. El mortero debe estar formado por una parte de cemento hidráulico y tres partes, en masa, de agregado que cumpla los requisitos de la NTC 2240 y cuya granulometría se ajuste a lo indicado en la Tabla 671 — 2.

Tabla 671 — 2. Granulometría del agregado para mortero

Tamiz (mm / U.S. *Standard*)	4,75	2,36	0,150	0,075
	Nro. 4	Nro. 8	Nro. 100	Nro. 200
Pasa tamiz (%)	100	95 — 100	0 — 25	0 — 10

671.3 Equipo

Al respecto, es aplicable todo lo que resulta pertinente del numeral 630.3 del artículo 630. En caso de que el acondicionamiento de la superficie se efectúe con cargo al presente artículo, se debe disponer de elementos para su conformación, para la excavación, el cargue y el transporte de los materiales, así como equipos manuales de compactación.

671.4 Ejecución de los trabajos

671.4.1 Preparación de la superficie de apoyo

El constructor debe acondicionar la superficie de apoyo, de acuerdo con las secciones, las pendientes transversales y las cotas indicadas en los documentos del proyecto.

Los procedimientos requeridos para cumplir esta actividad pueden incluir la excavación, el cargue, el transporte y la disposición en sitios aprobados de los materiales no utilizables, así como la conformación de los utilizables y el suministro, la colocación y la compactación de los materiales de relleno que se requieran para obtener la sección típica prevista.

Cuando el terreno natural sobre el cual se vaya a colocar o construir la cuneta no

cumpla la condición de suelo tolerable, es necesario colocar una capa de suelo seleccionado según lo especificado en el artículo 220, mínimo de diez centímetros (10 cm) de espesor, convenientemente nivelada y compactada, de acuerdo con el mismo artículo.

Durante la construcción de las cunetas se deben adoptar las medidas oportunas para evitar erosiones y cambio de características de la superficie de apoyo. A estos efectos, el tiempo que la superficie de apoyo pueda permanecer sin revestir se debe limitar a lo imprescindible para la puesta en obra del concreto y, en ningún caso, debe ser superior a ocho días (8 d).

671.4.2 Elaboración del concreto

El constructor debe obtener los materiales y diseñar la mezcla de concreto, elaborarla con la resistencia exigida, transportarla y entregarla, conforme se establece en el numeral 630.4 del artículo 630.

671.4.3 Cunetas vaciadas *in situ*

671.4.3.1 Colocación de formaletas para la construcción de cunetas vaciadas en obra

Sobre la superficie preparada, el constructor debe instalar las formaletas de manera que garantice que las cunetas queden construidas con las secciones y los espesores señalados en los documentos del proyecto o aprobados por el interventor.

671.4.3.2 Construcción de la cuneta

Previo retiro de cualquier materia extraña o suelta y con la superficie de apoyo debidamente preparada, esta se debe humedecer y se debe colocar el concreto comenzando por el extremo inferior de la cuneta y avanzando en sentido ascendente de la misma, verificando que su espesor sea, como mínimo, diez centímetros (10 cm) o el señalado en los documentos del proyecto si este es mayor.

El concreto debe ser vibrado y curado conforme a lo establecido en los numerales 630.4.11 y 630.4.12 del artículo 630.

El constructor debe nivelar cuidadosamente las superficies expuestas para que la cuneta quede con las formas y las dimensiones indicadas en los documentos del proyecto. Las pequeñas deficiencias superficiales se deben corregir mediante la aplicación de un mortero de cemento de un tipo aprobado por el interventor.

Tanto si es fundida *in situ* como si es prefabricada, la cuneta debe quedar en permanente contacto en toda su área con el suelo de fundación.

671.4.3.3 Remoción de formaletas

Si las operaciones de campo están controladas por ensayos de resistencia a la compresión de cilindros, la remoción de formaletas se debe realizar cuando se alcance la resistencia fijada en el diseño. En caso contrario, el interventor debe establecer el plazo para ello, el cual no puede ser menor de cuarenta y ocho horas (48 h).

671.4.3.4 Curado

El curado de la cuneta de concreto fundida en el lugar se debe realizar atendiendo las instrucciones contenidas en el numeral 630.4.12 del artículo 630.

671.4.4 Cunetas de piezas prefabricadas

En el caso de que la cuneta se construya uniendo elementos prefabricados, no se deben aceptar piezas para la instalación que se encuentren con astilladuras, fisuras, grietas, defectos, imperfectos o roturas. Para tal fin, el constructor debe garantizar que el transporte, el almacenamiento, el acopio y su manipulación sean adecuados, sin que las piezas sufran esfuerzos de más del cincuenta por ciento (50 %) de su resistencia característica en ese proceso.

Las piezas de las cunetas prefabricadas se deben colocar perfectamente alineadas, tan próximas entre sí como sea posible, y con la rasante de la fundación a las cotas previstas. Las piezas se deben asentar firmemente sobre la superficie preparada, de manera que queden en contacto en toda su área con el suelo de fundación.

671.4.5 Juntas

Durante la construcción de cunetas vaciadas *in situ*, se deben dejar juntas de contracción a intervalos no mayores de tres metros (3 m) y con la abertura que indiquen los documentos del proyecto o apruebe el interventor. Sus bordes deben ser verticales y normales al alineamiento de la cuneta. Cuando las cunetas se construyan adosadas a un pavimento rígido, las juntas deben coincidir con las juntas transversales del pavimento.

En las uniones de las cunetas con las cajas de entrada de las alcantarillas se deben ejecutar juntas de dilatación, cuyo ancho debe estar comprendido entre quince y veinte milímetros (15 mm – 20 mm). Después del curado del concreto, las juntas se deben limpiar, colocando posteriormente los materiales de relleno, sellado y protección que se especifiquen en los documentos del proyecto.

Las juntas verticales de unión de las piezas prefabricadas se deben rellenar, cuidadosamente, con un mortero de las características señaladas en el numeral 671.2.6.

Las juntas longitudinales entre el pavimento y la cuneta se deben rellenar con el producto sellante que cumpla con el numeral 671.2.5. El empleo de un producto de otras características debe ser aprobado por el interventor de acuerdo con las características del material y se debe demostrar su idoneidad técnica.

671.4.6 Limpieza final

Al terminar la obra y antes de la aceptación definitiva del trabajo, el constructor debe retirar del sitio de las obras todos los materiales excavados o no utilizados, desechos, sobrantes, basuras y cualquier otro elemento de similar característica, restaurando en forma aceptable para el interventor toda propiedad pública o privada que pudiera haber sido afectada durante la ejecución, y dejando el lugar limpio y presentable. El material retirado se debe depositar en un sitio aprobado por el interventor.

671.4.7 Limitaciones de la ejecución

Rige lo indicado en el artículo 630.

671.4.8 Manejo ambiental

En adición a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales,

todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a la presente especificación se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en las normas y disposiciones vigentes sobre la conservación del ambiente y los recursos naturales. De esta manera, dichas actividades deben estar incluidas en los costos del proyecto, por tanto, no deben ser objeto de reconocimiento directo en el contrato.

Todo material sobrante o proveniente de excavaciones debe ser retirado de las proximidades de las cunetas, transportado y depositado en vertederos autorizados, donde no contamine cursos ni láminas de agua.

En los puntos de desagüe se deben disponer las obras de protección requeridas, de manera que eviten procesos de erosión.

671.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

671.5.1 Controles

En adición a los descritos en el numeral 630.5 del artículo 630, el interventor debe exigir que la superficie de apoyo quede correctamente acondicionada, antes de colocar la formaleta y verter el concreto o colocar la cuneta prefabricada.
Para las cunetas prefabricadas se deben comprobar, en el momento del recibo de estas, su geometría y sus dimensiones.

671.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

671.5.2.1 Aspectos generales

El interventor solo debe aceptar cunetas cuya forma corresponda a la indicada en los documentos del proyecto y cuyas dimensiones no difieran de las señaladas en dichos documentos o de las aprobadas por este, considerando las tolerancias indicadas en el presente artículo.

Las juntas se deben encontrar adecuadamente selladas con el producto aprobado, para que el interventor manifieste su conformidad con esta parte del trabajo.

El interventor no debe aceptar cunetas terminadas con depresiones excesivas, traslapos desiguales o variaciones apreciables en la sección, que impidan el normal escurrimiento de las aguas superficiales. Las deficiencias superficiales de las cunetas vaciadas en el lugar que, a su criterio sean pequeñas, deben ser corregidas por el constructor, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS).

Se debe cuidar la terminación de las superficies, y no se deben permitir irregularidades mayores de quince milímetros (15 mm), medidas con respecto a una regla de tres metros (3 m) perfectamente alineada y derecha.

671.5.2.2 Calidad del concreto

En relación con la calidad de los materiales para la mezcla, se deben aplicar los criterios expuestos en el numeral 630.5.1 del artículo 630.

En relación con la calidad de la mezcla, se debe aplicar lo descrito en el numeral 630.5.2 del mismo artículo. En consecuencia, si en caso de discusión, la resistencia de los núcleos tomados de la obra ejecutada no resulta satisfactoria, el interventor debe rechazar las piezas o el tramo representado por dichos núcleos.

En el caso de las piezas prefabricadas, se debe impedir su colocación y en el caso que la cuneta haya sido vaciada o colocada *in situ*, el constructor debe demoler la obra ejecutada, y remover, cargar, transportar y depositar los escombros en los sitios aprobados por el interventor, mediante los procedimientos autorizados por este; además reconstruir la cuneta de acuerdo con el presente artículo. Estas operaciones se deben realizar sin costo alguno para INVÍAS.

671.5.2.3 Cunetas vaciadas *in situ*

Para el concreto vaciado *in situ*, se deben aplicar las disposiciones del artículo 630, según se ha descrito en el numeral 671.5.2.2 del presente artículo.

La tolerancia para el espesor debe ser de un centímetro (1 cm) por defecto.

671.5.2.4 Cunetas con piezas prefabricadas

Para las piezas prefabricadas, deben aplicar las disposiciones de la NTC 4109. No se deben aceptar piezas para la instalación que se encuentren con astilladuras, fisuras, grietas, defectos, imperfectos o roturas, o con dimensiones que no satisfagan las tolerancias indicadas en la Tabla 671 — 1.

671.6 Medida

671.6.1 Cunetas vaciadas *in situ*

La unidad de medida debe ser el metro cúbico (m^3), aproximado a la décima (0,1), de cuneta satisfactoriamente elaborada y terminada, de acuerdo con la sección transversal, las cotas y los alineamientos indicados en los documentos del proyecto. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

El volumen se debe determinar multiplicando el área por el espesor de construcción señalado en los documentos del proyecto o aprobado por el interventor, en los tramos donde el trabajo haya sido aceptado por este. Dentro de la medida también se deben incluir los descoles y bajantes de agua revestidos en concreto, correctamente construidos.

Se debe medir por aparte el acero de refuerzo efectivamente colocado, en kilogramos (kg) con aproximación al entero, según los detalles de los documentos del proyecto. Para efectos de pago, no se debe medir el acero constructivo (soportes, separadores, silletas de alambre o elementos similares utilizados para mantener el refuerzo en su sitio).

671.6.2 Cunetas de piezas prefabricadas

En el caso de cunetas de piezas prefabricadas, la unidad de medida debe ser el metro (m), aproximado al entero, de cuneta satisfactoriamente elaborada y terminada, de acuerdo con la sección transversal, las cotas y los alineamientos indicados en los documentos del proyecto. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

El interventor no debe autorizar el pago de trabajos efectuados por fuera de los límites especificados, ni el de cunetas cuyas dimensiones o resistencia sean inferiores a las de diseño.

671.7 Forma de pago

El pago se debe hacer al precio unitario del contrato, por toda obra ejecutada de acuerdo con esta especificación, y aprobada por el interventor.

El precio unitario debe cubrir todos los costos por concepto de explotación, suministro, transporte, colocación y compactación de los materiales apropiados de relleno necesarios para el acondicionamiento previo de la superficie; la elaboración, el suministro, la colocación y el retiro de formaletas cuando corresponda; la explotación de agregados, incluidos todos los permisos y derechos para ello; el suministro de todos los materiales necesarios para elaborar la mezcla de concreto, su diseño, elaboración, descargue, transporte, entrega, colocación, vibrado y curado; la manufactura, el transporte, la entrega en obra y la correcta instalación de las piezas prefabricadas de concreto; la ejecución de las juntas, incluyendo el suministro y la colocación del material sellante; el suministro de materiales, la elaboración y la colocación del mortero requerido para las pequeñas correcciones superficiales y para la unión de las piezas prefabricadas; la señalización preventiva de la vía durante la ejecución de los trabajos; la limpieza final del sitios de las obras; todo equipo y mano de obra requeridos para la elaboración y terminación de las cunetas y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución de los trabajos especificados.

El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

Solamente debe haber pago separado, si se requiere, por concepto del suministro y colocación del acero de refuerzo en las cunetas vaciadas *in situ*, actividad que se paga bajo el artículo 640, Acero de refuerzo.

En relación con la conformación de la superficie de apoyo, se debe considerar cubierta por el artículo 210, Excavación de la explanación, canales y préstamos; o por el artículo 310, Conformación de la calzada existente; por tanto, no debe haber lugar a pago separado por dicho concepto, salvo que una o ambas actividades no estén comprendidas en el mismo contrato, caso en el cual su costo se debe incluir dentro del precio unitario de la cuneta revestida en concreto. En el caso de los descoles, la preparación de la superficie debe quedar cubierta por el artículo 600, Excavaciones varias.

671.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
671.1	Cuneta de concreto vaciada *in situ*; no incluye la conformación de la superficie de apoyo	Metro cúbico (m^3)
671.2	Cuneta de piezas prefabricadas de concreto; no incluye la conformación de la superficie de apoyo	Metro (m)
671.3	Cuneta de concreto vaciada *in situ*; incluye la conformación de la superficie de apoyo	Metro cúbico (m^3)
671.4	Cuneta de piezas prefabricadas de concreto; incluye la conformación de la superficie de apoyo	Metro (m)

Bordillos en concreto

Artículo 672 – 22

672.1 Descripción

Este trabajo consiste en la construcción de bordillos de concreto, con piezas prefabricadas o vaciadas *in situ*, en los sitios y con las dimensiones, los alineamientos y las cotas indicados en los documentos del proyecto.

En caso necesario, incluye también la preparación de la superficie de apoyo.

672.2 Materiales

672.2.1 Concreto para bordillos vaciados *in situ*

El concreto para la construcción de los bordillos vaciados *in situ* debe ser del tipo definido en los documentos del proyecto, y su elaboración se debe hacer según lo especificado en el artículo 630, Concreto estructural. Si los documentos del proyecto no indican otra cosa, el concreto debe tener una resistencia mínima a la compresión de veintiuno megapascales (21 MPa) a veintiocho días (28 d), y el tamaño máximo nominal del agregado pétreo no mayor que diecinueve milímetros (19,0 mm) (3/4 de pulgada).

672.2.2 Mortero

Cuando se requiera mortero para el asiento o la unión de bordillos, debe tener una dosificación mínima de cuatrocientos cincuenta kilogramos (450 kg) de cemento hidráulico por metro cúbico (m^3) de mortero.

672.2.3 Acero de refuerzo para bordillos vaciados *in situ*

Si el bordillo de concreto requiere acero de refuerzo, este debe cumplir con lo estipulado en el artículo 640, Acero de refuerzo.

672.2.4 Piezas prefabricadas

Las piezas prefabricadas deben cumplir con la NTC 4109.

672.2.5 Sellante de juntas

Para el sello de las juntas transversales de los bordillos vaciados *in situ* y todas las longitudinales entre el pavimento y el bordillo se debe emplear el material indicado en los documentos del proyecto, y aprobado por el interventor. Se deben seguir todas las indicaciones de manejo e instalación consignadas en la ficha técnica del producto suministrada por el fabricante.

672.2.6 Juntas con mortero entre piezas prefabricadas de concreto

En el caso de bordillos con piezas prefabricadas, los documentos del proyecto pueden indicar que la unión entre ellas sea con mortero. Este debe estar formado por una parte

de cemento hidráulico y tres partes, en masa, de agregado que cumpla los requisitos de la NTC 2240 y cuya granulometría se ajuste a lo indicado en la Tabla 672 — 1.

Tabla 672 — 1. Granulometría del agregado para mortero

Tamiz (mm / U.S. *Standard*)	4,75	2,36	0,150	0,075
	Nro. 4	Nro. 8	Nro. 100	Nro. 200
Pasa tamiz (%)	100	95 — 100	0 — 25	0 — 10

672.3 Equipo

Al respecto, es aplicable todo lo que resulta pertinente del numeral 630.3 del artículo 630.

Los bordillos también pueden ser prefabricados, caso en el cual se debe disponer de formaleta metálica que permita su confección con las dimensiones especificadas.

Se pueden emplear, además, máquinas que construyan los bordillos en el lugar con las dimensiones especificadas.

672.4 Ejecución de los trabajos

672.4.1 Preparación de la superficie de apoyo

Si la superficie de apoyo corresponde a una capa granular, esta debe ser nivelada y compactada, como mínimo, al noventa y cinco por ciento (95 %) de la densidad seca máxima del ensayo modificado de compactación de referencia (norma de ensayo INV E-142), previa la corrección que se requiera por presencia de partículas gruesas según se establece en la norma INV E-143. La superficie compactada, debe ser humedecida inmediatamente antes de colocar el concreto sobre ella.

Si la superficie de apoyo es un pavimento existente o un piso rígido, se debe picar con cincel y martillo u otro elemento que produzca el mismo efecto, en los sitios y con la intensidad que establezca el interventor.

Cuando la construcción se realice con piezas prefabricadas, la superficie granular o pavimentada, preparada como se acaba de indicar, debe ser tratada con una capa del mortero mencionado en el numeral 672.2.2, en la cantidad que autorice el interventor.

En el caso de bordillos vaciados sobre las losas de un pavimento construido en el mismo contrato, al vaciar estas se deben dejar ancladas las varillas de refuerzo del bordillo.

No está permitida la construcción de bordillos de concreto sobre suelos blandos o expansivos u otros materiales inadecuados. En tal caso, se deben efectuar los reemplazos que establezcan los documentos del proyecto o que determine el interventor.

672.4.2 Bordillos elaborados *in situ* manualmente

672.4.2.1 Colocación de formaletas para vaciado manual

El constructor debe instalar la formaleta sobre la superficie preparada. Esta, que debe ser metálica, salvo que el interventor autorice expresamente el empleo de formaletas de madera, se debe colocar y asegurar firmemente, de manera que el alineamiento y las dimensiones del bordillo correspondan a lo previsto en los documentos del proyecto.

La formaleta debe tener la rigidez suficiente para soportar la presión del concreto fresco, sin sufrir distorsiones.

672.4.2.2 Elaboración del concreto

El constructor debe diseñar la mezcla de concreto, elaborarla para que alcance la resistencia exigida, transportarla y entregarla, conforme se establece en el numeral 630.4 del artículo 630.

672.4.2.3 Construcción del bordillo

Previo al retiro de cualquier materia extraña o suelta que se encuentre en la superficie sobre la cual se va a construir el bordillo, el concreto se debe colocar, vibrar y curar, según se establece en el numeral 630.4 del artículo 630.

En el caso de requerir anclajes, estos se deben ceñir a lo establecido en los documentos del proyecto o lo que apruebe el interventor, en cuanto a su geometría, profundidad de fijación y materiales de colocación.

672.4.2.4 Juntas

Se deben proveer juntas de expansión a intervalos no mayores de seis metros (6,0 m), las cuales deben tener el ancho que fijen los documentos del proyecto. Dicho espacio se debe rellenar con el material sellante aprobado.

En el caso de bordillos vaciados sobre pavimentos de concreto, sus juntas deben coincidir con las juntas transversales del pavimento.

672.4.2.5 Acabado

Las formaletas se deben quitar antes de que haya fraguado totalmente el concreto y luego se deben alisar las caras superiores y adyacentes al pavimento, con llana o palustre, para producir una superficie lisa y uniforme.

672.4.2.6 Curado

El curado se debe efectuar mediante un método aprobado por el interventor y durante el periodo que fije este, el cual no puede ser inferior a diez días (10 d).

672.4.3 Concreto vaciado con máquina

Los bordillos se pueden fabricar con un equipo diseñado especialmente para esta clase de trabajo, si se garantiza que con este se obtienen los alineamientos, las dimensiones y los acabados previstos en los documentos del proyecto.

En este caso, la mezcla se debe diseñar y elaborar conforme se indica en el numeral 672.4.2.2, pero se debe tomar la precaución

de que su consistencia sea tal, que el bordillo conserve su forma al ser retirada la formaleta de la máquina.

El concreto se debe verter en la máquina constructora del bordillo, la cual lo debe elaborar siguiendo el alineamiento previsto. Cualquier desprendimiento o imperfección pequeña, se puede reparar manualmente con ayuda de llanas y palustres.

Al bordillo se le deben hacer ranuras en su parte superior en el espesor y con la separación que determinen los documentos del proyecto.

El curado del bordillo se debe efectuar conforme se indica en el numeral 672.4.2.6.

672.4.4 Bordillos de piezas prefabricadas

672.4.4.1 Diseño y elaboración de la mezcla

El constructor debe someter a consideración del interventor los materiales para la elaboración del concreto. Una vez aprobados, debe diseñar la mezcla, de manera que garantice la resistencia especificada, y la debe elaborar, conforme se establece en el numeral 630.4 del artículo 630.

672.4.4.2 Fabricación

Los bordillos prefabricados se deben elaborar en piezas de longitud mínima de un metro (1,0 m) y con las formas y demás dimensiones establecidas en los documentos del proyecto.

La sección transversal de los bordillos curvos debe ser la misma que la de los rectos, y su directriz se debe ajustar a la curvatura del elemento constructivo en que vayan a ser colocados.

672.4.4.3 Colocación de los bordillos

Las piezas se deben asentar sobre el lecho de mortero, siguiendo el alineamiento previsto y se deben colocar dejando entre ellas un espacio de, aproximadamente, cinco milímetros (5 mm), el cual se debe rellenar con mortero del mismo tipo que el empleado en el asiento.

En el caso de requerir anclajes, estos se deben ceñir a los documentos del proyecto o a lo aprobado por el interventor.

672.4.5 Manejo ambiental

En adición a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a la presente especificación se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en las normas y disposiciones vigentes sobre la conservación del ambiente y los recursos naturales. De esta manera, dichas actividades deben estar incluidas en los costos del proyecto, por tanto, no deben ser objeto de reconocimiento directo en el contrato.

Todo material sobrante o proveniente de excavaciones debe ser retirado de las proximidades de las cunetas, transportado y depositado en vertederos autorizados, donde no contamine cursos ni láminas de agua.

En los puntos de desagüe se deben disponer las obras de protección requeridas, de manera que eviten procesos de erosión.

672.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

672.5.1 Controles

Resultan aplicables los descritos en el numeral 630.5 del artículo 630.

672.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

El interventor solo debe aceptar bordillos cuya forma corresponda a la indicada en los documentos del proyecto y cuyas dimensiones no difieran de las señaladas en dichos documentos, siempre que estas no se encuentren por encima de las tolerancias indicadas en el presente artículo.

En lo que se refiere a la calidad del cemento, agua, agregados y eventuales aditivos y productos químicos de curado, se deben aplicar los criterios expuestos en el numeral 630.5.1, del artículo 630, Concreto estructural.

En relación con la calidad de la mezcla, se debe aplicar lo indicado al respecto en el numeral 671.5.2.2 del artículo 671, Cunetas revestidas en concreto.

En relación con la calidad del acero para el refuerzo, se deben aplicar los criterios del numeral 640.5.2 del artículo 640, Acero de refuerzo.

En relación con la calidad del producto terminado, el interventor no debe aceptar bordillos que presenten desperfectos de alineamiento o cuya sección transversal presente variaciones, en ancho o altura, superiores a diez milímetros (10 mm), con respecto a las dimensiones señaladas en los documentos del proyecto.

Las juntas se deben encontrar adecuadamente selladas con el producto aprobado, para que el interventor manifieste su conformidad con esta parte del trabajo.

Todo bordillo de concreto donde los defectos de calidad y terminación excedan las tolerancias de la presente especificación, debe ser corregido por el constructor, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), de acuerdo con las instrucciones del interventor y hasta contar con su aprobación.

En el caso de piezas prefabricadas, se deben aplicar, además, las disposiciones de la NTC 4109. No se deben aceptar piezas para la instalación que se encuentren con astilladuras, fisuras, grietas, defectos, imperfectos o roturas.

672.6 Medida

La unidad de medida debe ser el metro (m), aproximado a la décima (0,1), de bordillo satisfactoriamente elaborado y terminado, de acuerdo con la sección transversal, las cotas y los alineamientos indicados en los documentos del proyecto. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

En el caso de bordillos vaciados *in situ*, se debe medir por aparte el acero de refuerzo efectivamente colocado, en kilogramos (kg) con aproximación al entero, según los detalles de los documentos del proyecto. No se debe medir, para efectos de pago, el acero

constructivo (soportes, separadores, silletas de alambre o elementos similares utilizados para mantener el refuerzo en su sitio).

Tampoco se deben medir, para efectos de pago, longitudes de bordillos en exceso de las indicadas en los documentos del proyecto.

672.7 Forma de pago

El pago se debe hacer al precio unitario del contrato, por toda obra ejecutada de acuerdo con esta especificación, y aprobada por el interventor.

El precio unitario debe cubrir todos los costos por elaboración, suministro, colocación y retiro de formaletas; la explotación de agregados, incluidos los permisos y derechos para ello, el suministro de todos los materiales necesarios para elaborar la mezcla de concreto y el mortero; el diseño, la elaboración, la descarga, el transporte, la entrega, la colocación, el vibrado y el curado del concreto; la elaboración del mortero cuando se requiera su empleo, su transporte y su colocación; la ejecución de juntas, incluyendo el suministro y la colocación del material sellante, la señalización preventiva de la vía durante la construcción de los bordillos, todo equipo y mano de obra requeridos para su elaboración y terminación y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución de los trabajos especificados.

El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

La preparación de la superficie de apoyo se considera incluida en el ítem referente a la ejecución de la capa a la cual corresponde dicha superficie y, por tanto, no debe haber lugar a pago separado por este concepto, salvo que dicho ítem no forme parte del mismo contrato, caso en el cual el constructor debe considerar el costo de la preparación de la superficie existente dentro del precio unitario del bordillo de concreto.

Solamente debe haber pago separado, si se requiere, por concepto del suministro y la colocación del acero de refuerzo de los bordillos de concreto vaciados *in situ*, actividad que se debe pagar bajo el artículo 640, Acero de refuerzo.

672.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
672.1	Bordillo de concreto vaciado *in situ*; no incluye la preparación de la superficie de apoyo	Metro (m)
672.2	Bordillo de piezas prefabricadas de concreto; no incluye la preparación de la superficie de apoyo	Metro (m)
672.3	Bordillo de concreto vaciado *in situ*; incluye la preparación de la superficie de apoyo	Metro (m)
672.4	Bordillo de piezas prefabricadas de concreto; incluye la preparación de la superficie de apoyo	Metro (m)

Subdrenes con geotextil y material granular

Artículo 673 – 22

673.1 Descripción

Este trabajo consiste en la construcción de subdrenes con geotextil y material granular, en los sitios señalados en los documentos del proyecto.

La colocación de un geotextil en contacto con el suelo debe permitir el paso del agua, a largo plazo, dentro del sistema de drenaje subsuperficial, reteniendo el suelo adyacente. Las características del geotextil para filtración deben ser función de la gradación del suelo del sitio y de las condiciones hidráulicas del mismo.

El presente artículo establece los criterios y procedimientos para garantizar la calidad del geotextil y su supervivencia frente a los esfuerzos producidos durante la instalación, de conformidad con los documentos del proyecto aprobados por el interventor.

Si los documentos del proyecto especifican el suministro e instalación de una capa de arena de filtro entre el suelo y el geotextil y/o la instalación de una tubería perforada dentro del material filtrante, estos aspectos deben ser objeto de una especificación particular.

673.2 Materiales

673.2.1 Geotextil

En general, se pueden emplear geotextiles cuyas fibras estén elaboradas a partir de polímeros sintéticos de cadena larga, compuestos con un porcentaje mínimo del noventa y cinco por ciento (95 %) en masa de poliolefinas o poliéster; la misma composición debe aplicar para los hilos de las costuras. Las fibras del geotextil deben conformar una red estable que mantenga la estabilidad dimensional entre ellas, incluyendo los bordes.

El tipo y las propiedades requeridas del geotextil deben ser los establecidos en los documentos del proyecto en función de las características y condiciones del mismo y los procedimientos de instalación, así como de la granulometría, de la plasticidad y de las condiciones hidráulicas del suelo. En este numeral se indican las propiedades mínimas que debe tener el geotextil para aplicaciones rutinarias de separación y drenaje; además, se debe cumplir con: numeral 231.2.1 geotextil del artículo 231, Separación de suelos de subrasante y capas granulares con geotextil; AASHTO M 288: *Standard Specification for Geotextile Specification for Highway Applications*, y ASTM D6707 / D6707 M: *Standard Specification for Circular-Knit Geotextile for Use in Subsurface Drainage Applications*.

El geotextil escogido en el diseño, debe tener las siguientes características de comportamiento:

- Debe tener la capacidad para dejar pasar el agua, a largo plazo, hacia el material drenante.
- Debe retener las partículas de suelo en su sitio y prevenir su movimiento a través del geotextil.
- Si algunas partículas de suelo se mueven, el geotextil debe dejarlas pasar sin que se obstruyan los poros del mismo o se forme una película que restrinja el paso del agua.

Se deben usar geotextiles no tejidos o tejidos, siempre y cuando estos últimos no sean de hilos o elementos en forma de cinta plana, dependiendo de las condiciones hidráulicas y del suelo, así como de la función definida en el diseño, puede ser preferible usar uno u otro tipo de geotextil, para lo cual se deben tener en cuenta las indicaciones dadas en la siguiente publicación:

- FHWA NHI-07-092, NHI Course Nro. 132013, *Geosynthetic Design & Construction Guidelines*.

Las propiedades de los geotextiles se deben expresar en términos de valores mínimos promedio por rollo (VMPR). El VMPR es una herramienta de control de calidad que le debe permitir a los fabricantes establecer los valores en sus certificados, de manera que el comprador tenga un nivel de confianza del noventa y siete coma siete por ciento (97,7 %) de que las propiedades, medidas sobre el producto que compra, cumplen con los valores certificados. Para datos que tengan una distribución normal, el VMPR se debe calcular como el valor típico menos dos (2) veces la desviación estándar, cuando se especifican valores mínimos, o más dos (2) veces la desviación estándar, cuando se especifican valores máximos.

Los valores promedio de los resultados de los ensayos practicados a cualquier rollo, deben satisfacer los requisitos establecidos en este artículo, en los numerales 673.2.1.1 y 673.2.1.2.

673.2.1.1 Propiedades mecánicas

Las propiedades de resistencia de los geotextiles deben depender de los requerimientos de supervivencia, de las condiciones y de los procedimientos de instalación. Las propiedades mecánicas para condiciones normales de instalación se especifican en la Tabla 673 – 1 en términos de VMPR, de acuerdo con la NTC 1998 (ASTM D4632).

673.2.1.2 Propiedades hidráulicas y de filtración

Las propiedades hidráulicas y de filtración mínimas que debe cumplir el geotextil, se indican en la Tabla 673 – 2 en términos de VMPR; estas propiedades están en función del contenido de finos (porcentaje de suelo que pasa el tamiz de 0,075 mm (nro. 200)) del suelo que va a quedar en contacto con el geotextil.

Adicionalmente a los requisitos de permitividad, los documentos del proyecto pueden especificar requisitos de permeabilidad, determinada según la norma de ensayo NTC 3541 (ASTM D4491) (por ejemplo, que sea una o varias veces superior a la permeabilidad del suelo) y/o de ensayos de comportamiento basados en los diseños para sistemas de drenaje en condiciones de suelos problemáti-

Tabla 673 – 1. Propiedades geomecánicas del geotextil en términos de VMPR (medidas en el sentido más débil del geotextil)

Característica	Norma de ensayo	Clases de geotextil					
		Clase 1		Clase 2		Clase 3	
Elongación (%)	NTC 1998 (ASTM D4632)	< 50	≥ 50	< 50	≥ 50	< 50	≥ 50
Resistencia a la tensión Grab, valor mínimo (N)	NTC 1998 (ASTM D4632)	1 400	900	1 100	700	800	500
Resistencia a la penetración con pistón de cincuenta milímetros (50 mm) de diámetro, valor mínimo (N)	NTC 5289 (ASTM D6241)	2 750	1 925	2 200	1 375	1 650	990
Resistencia al rasgado trapezoidal, valor mínimo (N) (Nota)	NTC 2003 (ASTM D4533)	500	350	400	250	300	180

Nota: el VMPR para la resistencia al rasgado trapezoidal de los geotextiles tejidos monofilamento, debe ser de doscientos cincuenta newtons (250 N).

Tabla 673 – 2. Propiedades hidráulicas y de filtración mínimas del geotextil en términos de VMPR

Característica	Norma de ensayo	Porcentaje de suelo pasa tamiz de 0,075 mm (nro. 200) (Nota 1)		
		< 15	15 a 50	> 50
		Requisito (VMPR)		
Permitividad, valor mínimo (S^{-1}) (Nota 3)	NTC 3541 (ASTM D4491)	0,5	0,2	0,1
Tamaño de abertura aparente (TAA), valor máximo (mm) (Nota 3)	ASTM D4751	0,43 (Tamiz nro. 40)	0,25 (Tamiz nro. 60)	0,22 (Tamiz nro.70) (Nota 2)
Estabilidad ultravioleta: Resistencia retenida después de quinientas horas (500 h) de exposición, valor mínimo (%)	NTC 3300 (ASTM D4355)	50		

Nota 1: el porcentaje de suelo que pasa el tamiz de 0,075 mm (nro. 200), corresponde a la fracción de la granulometría (norma de ensayo INV E-123) del suelo en la cara exterior del geotextil.

Nota 2: el valor del tamaño de abertura aparente (TAA) representa el VMPR. Para suelos cohesivos con un índice de plasticidad mayor a siete (7), el VMPR de tamaño de abertura aparente debe ser de cero coma treinta milímetros (0,30 mm).

Nota 3: estos valores de las propiedades de filtración se deben basar en la granulometría predominante del suelo.

cos. Se deben requerir diseños particulares del geotextil para drenaje y filtración, especialmente para las siguientes condiciones de suelos problemáticos: suelos inestables o altamente erosionables, tales como limos no cohesivos; suelos de gradación discontinua; suelos estratificados con alternancia de capas arenosas y limosas; suelos dispersivos o polvo de roca; suelos de baja o ninguna cohesión, susceptibles de arrastre.

673.2.1.3 Control de calidad de la producción

El fabricante de los geotextiles debe tener un proceso de producción que cuente con un sistema de gestión de la calidad certificado bajo la norma ISO 9001. El laboratorio, propio o externo, que se use para realizar los ensayos de control de la calidad de la producción, debe estar acreditado bajo la norma ISO/IEC 17025 o contar con una acreditación GAI-LAP del Instituto de Acreditación de Geosintéticos (GAI).

El fabricante o proveedor debe suministrar el programa de control de calidad y los datos de soporte, en los que se indiquen los requisitos, los métodos y la frecuencia de los ensayos, los criterios de aceptación en la fabricación y el tamaño del lote para la evaluación de cada producto.

673.2.2 Material granular drenante

Puede provenir de la trituración de roca o ser de cantos rodados, o una mezcla de ambos, y debe estar constituido por fragmentos duros y resistentes a la acción de los agentes de la intemperie. Además, debe cumplir con los siguientes requisitos:

673.2.2.1 Granulometría

El material drenante, debe estar constituido por partículas con tamaños comprendidos entre el tamiz de setenta y cinco milímetros (75 mm) (3 pulgadas) y el tamiz de diecinueve milímetros (19 mm) (3/4 de pulgada). No se requiere ninguna gradación especial, permitiéndose el uso de fragmentos de un solo tamaño. Las partículas pueden ser angulares o redondeadas o una combinación de ellas y deben estar constituidas por gravas limpias, libre de material fino, material orgánico, terrones de arcilla u otra sustancia, de acuerdo con lo establecido en la Tabla 673-3.

En el caso que los subdrenes sean transversales al eje de la vía, los materiales deben estar comprendidos entre veinticinco milímetros (25

Tabla 673 – 3. Requisitos del material granular drenante

Característica	Norma de ensayo	Valor
Dureza (O)		
Desgaste en la máquina de los Ángeles (%)	INV E-219	≤ 40
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos (Nota) - Sulfato de sodio (%) - Sulfato de magnesio (%)	INV E-220	 ≤ 12 ≤ 18
Limpieza (F)		
Terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%)	INV E-211	0,25
Partículas livianas, máximo (%)	INV E-221	1,0
Contenido de materia orgánica (%)	INV E-121 / UNE 103204	≤ 0,2

Nota: el ensayo de pérdida de solidez se puede realizar con sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

mm) (1 pulgada) y diecinueve milímetros (19 mm) (3/4 de pulgada). En este caso se requiere compactar el material granular y es más fácil realizarlo con equipo menor. Se hace necesaria la compactación para evitar asentamientos que se reflejan en la superficie de la vía.

673.2.2.2 Calidad de las partículas minerales

El material debe estar libre de partículas finas y de material orgánico. En la Tabla 673 – 3 se indican los requisitos que debe cumplir el material granular para filtros.

673.2.3 Material de cobertura

El material de cobertura para el subdrén, se debe diferenciar en material de contacto y lleno. El de contacto corresponde a una arena limpia colocada encima del geotextil no tejido en un espesor de ciento cincuenta milímetros (150 mm) adecuadamente compactado. El material de lleno, por encima de la capa anterior, debe cumplir los requisitos establecidos para suelos seleccionados o adecuados de acuerdo con lo indicado en el artículo 220, Terraplenes, de estas especificaciones. También, dada la ubicación respecto de la estructura del pavimento, el material de cobertura puede ser granular cumpliendo los requerimientos del capítulo 3 para bases y subbases.

673.3 Equipo

Se debe disponer de los equipos necesarios para colocar el geotextil y para explotar, triturar, procesar, cargar, transportar, colocar y compactar el material drenante. También para colocar y compactar el material que debe sellar el filtro, así como para su explotación, trituración, procesamiento, cargue y transporte.

673.4 Ejecución de los trabajos

673.4.1 Generalidades

El interventor debe exigir al constructor que los trabajos sean efectuados con una adecuada programación entre las actividades de apertura de la excavación y de construcción del subdrén, de manera que aquella quede expuesta el menor tiempo posible para evitar que el material in-situ, alrededor de la excavación, pierda sus condiciones iniciales.

Las labores de explotación de materiales y elaboración de agregados para el material drenante y material de cobertura diferente al material de excavación, se deben ejecutar de acuerdo con lo establecido en el artículo 105, Desarrollo de los trabajos, numeral 105.13.3. Es responsabilidad del constructor, la colocación de elementos de señalización preventiva en la zona de los trabajos, la cual debe ser visible durante las veinticuatro horas (24 h) del día.

673.4.2 Preparación del terreno

La construcción del subdrén solo debe ser autorizada por el interventor cuando la excavación haya sido terminada, de acuerdo con las dimensiones, las pendientes, las cotas y las rasantes indicadas en los documentos del proyecto aprobados por el interventor. La excavación se debe ejecutar de acuerdo con lo indicado en el artículo 600, Excavaciones varias, de estas especificaciones.

673.4.3 Condiciones normales de instalación del geotextil

El geotextil se debe colocar cubriendo totalmente la parte inferior y las paredes laterales de la excavación, evitando que se produzcan arrugas y asegurando el contacto permanente con el suelo, sin que queden vacíos entre geotextil y suelo. Se debe dejar por encima la cantidad de geotextil suficiente para que, una vez se acomode el material drenante, se cubra en su totalidad con un traslapo mínimo de treinta centímetros (30 cm) o mediante la realización de una costura con equipo mecánico, para asegurar una densidad de puntadas superior a ciento cincuenta (150) puntadas por metro de costura. Además, se debe exigir que se realice la costura y que el traslapo sea de acuerdo con los documentos del proyecto o por la recomendación del fabricante para el tipo de geotextil usado. Los tramos sucesivos de geotextil se deben traslapar con base en lo definido por los documentos del proyecto o por la recomendación del fabricante para el tipo de geotextil usado o, en su defecto, longitudinalmente cuarenta y cinco centímetros (45 cm) como mínimo y se debe traslapar o coser el geotextil aguas arriba sobre el geotextil aguas abajo.

El constructor debe tener el suficiente cuidado durante el manejo e instalación del geotextil, de manera que este no se contamine. Si el geotextil se contamina, el constructor debe removerlo y reemplazarlo con material nuevo, bajo su cuenta y riesgo exclusivamente. En general, para el transporte, manejo y muestras del geotextil, se cumple la norma ASTM D4873/D4873M: *Standard Guide for Identification, Storage, and Handling of Geosynthetic Rolls and Samples*.

No se debe permitir que el geotextil quede expuesto, sin cubrir, por un lapso mayor a tres días (3 d).

673.4.4 Elaboración de costuras

Las costuras deben cumplir con los siguientes requisitos mínimos:

- El tipo de hilo debe ser poliéster o polipropileno. No se deben permitir hilos elaborados totalmente con fibras naturales, ni hilos de nylon. Cuando se propongan hilos compuestos por fibras sintéticas y fibras naturales, no se deben permitir aquellos que tengan diez por ciento (10 %) o más, en masa, de fibras naturales. Tampoco se deben permitir costuras elaboradas con alambres.
- El tipo de puntada puede ser simple (Tipo 101) o de doble hilo, también llamada de seguridad (Tipo 401).
- La densidad de la puntada debe ser, como mínimo, de ciento cincuenta a doscientas (150 – 200) puntadas por metro.
- La tensión del hilo se debe ajustar en el campo, de tal forma que no corte el geotextil, pero que sea suficiente para asegurar una unión permanente entre las superficies que se van a coser. Si se hace la costura a mano, se deben tener los cuidados necesarios para que, al pasar el hilo, el rozamiento no debilite las fibras del geotextil.
- Dependiendo del tipo de geotextil y del nivel de esfuerzos a que se va a solicitar, el tipo de costura se puede realizar en diferentes configuraciones y con una o varias líneas de costura, siempre y cuando se asegure la correcta transferencia de la tensión.

- Los paños de geotextil se deben unir mediante costurado de un color que contraste con el del geotextil, de forma tal que se identifiquen fácilmente las zonas de traslapo o de reparación.
- Se debe entregar al interventor una descripción y muestra del tipo de costura que se va a emplear, como mínimo catorce días (14 d) antes de iniciar la instalación del geotextil. Se debe presentar el tipo de puntada y la densidad, junto con la información relevante. La muestra debe ser de por lo menos uno coma ocho metros (1,8 m) de costura en uno coma cinco metros (1,5 m) de ancho, realizada con el equipo con el que se va a llevar a cabo el trabajo en campo.

673.4.5 Colocación del material granular drenante

El material drenante se debe colocar dentro de la zanja en capas con el espesor autorizado por el interventor y empleando un método que no dé lugar a daños en el geotextil o en las paredes de la excavación. La compactación del material drenante se debe realizar empleando procedimientos apropiados, buscando el acomodamiento de las partículas y el contacto permanente y completo entre el geotextil y el suelo.

Para las condiciones normales de instalación, la altura máxima de caída del material no debe exceder un metro (1 m).

El relleno de material drenante se debe llevar a cabo hasta la altura indicada en los documentos del proyecto o la autorizada por el interventor.

673.4.6 Cobertura del subdrén

Completado el relleno del subdrén con el material drenante, este se debe cubrir totalmente con el geotextil haciendo los traslapos y las costuras según los numerales 673.4.3 y 673.4.4 de este artículo.

El geotextil se debe cubrir inmediatamente con el tipo de material especificado en los documentos del proyecto, que cumpla con los requisitos pertinentes entre los mencionados en el numeral 673.2.3.

El material de cobertura se debe colocar y compactar en capas sucesivas de espesor no mayor a quince centímetros (15 cm), hasta la altura requerida en los documentos del proyecto o aprobada por el interventor. La densidad seca del material de cobertura, una vez compactado, debe ser igual o mayor al noventa por ciento (90 %) de la densidad seca máxima obtenida en el ensayo, según la norma INV E-142, corregida por la presencia de sobretamaños, si se requiere, según la norma de ensayo INV E-143.

673.4.7 Plan de Manejo de Tránsito (PMT)

El constructor debe contar con un PMT e instalar todos los elementos de señalización preventiva en la zona de los trabajos, de acuerdo con lo establecido en el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte, los cuales deben garantizar la seguridad permanente tanto del personal y de los equipos de construcción, como de los usuarios y transeúntes, durante las veinticuatro horas (24 h) del día.

Para actividades que no impliquen el cierre total de la vía, el interventor debe dar su visto bueno previo a la presentación de un PMT. Para casos que impliquen el cerramiento total de la vía, se deben tramitar los permisos correspondientes ante la autoridad competente y se debe presentar el PMT aprobado por el interventor.

673.4.8 Limitaciones en la ejecución

No se debe permitir adelantar los trabajos objeto del presente artículo, cuando la temperatura ambiente a la sombra y la de la superficie sean inferiores a dos grados Celsius (2 °C) o haya lluvia o fundado temor de que ella ocurra.

Los trabajos de construcción se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que sea aprobado por este. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

673.4.9 Reparaciones

Antes de ser cubierto, el geotextil colocado debe ser inspeccionado en busca de posibles daños de instalación. En caso de que los hubiese, estos se deben reparar inmediatamente, cubriéndolos con un paño de geotextil que se debe extender como mínimo setenta y cinco centímetros (75 cm) alrededor de toda la zona dañada.

Todos los defectos que se presenten en la excavación de la zanja; en la extensión, en los traslapos, en las costuras, en los cortes o en los dobleces del geotextil; en la colocación y compactación, tanto del material drenante como de cobertura; así como los que se deriven de un incorrecto control del tránsito recién terminados los trabajos, deben ser corregidos por el constructor, de acuerdo con procedimientos aceptados por el interventor, bajo cuenta y riesgo exclusivos del constructor.

673.4.10 Manejo ambiental

Adicional a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las labores de ejecución de subdrenes con geotextil y material granular se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en los estudios o evaluaciones ambientales del proyecto y en las normas y disposiciones vigentes sobre la conservación del ambiente y los recursos naturales.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación, deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades deben incluirse en los costos del proyecto; por tanto, no son objeto de reconocimiento directo en el contrato.

Se debe asegurar, por lo tanto, que la adquisición de los recursos y el manejo de los residuos cumplan los requisitos legales ambienta-

les vigentes. Se deben realizar todos los estudios, los trámites, los procedimientos y las actividades en obra necesarios para cumplir con las normas ambientales e, igualmente, entregar al interventor la documentación de la gestión ambiental.

673.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

673.5.1 Controles

El plan de calidad y el plan de inspección, medición y ensayo son de obligatorio cumplimiento tal como se encuentra expresado en el numeral 103.2 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor.

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles:

- Verificar el estado y el funcionamiento de todo el equipo utilizado por el constructor.
- Corroborar que las excavaciones tengan las dimensiones y pendientes señaladas en los documentos del proyecto y aprobadas por el interventor, antes de iniciar la construcción del subdrén o filtro.
- Constatar el cumplimiento de las disposiciones existentes en el artículo 102, Aspectos generales de seguridad y salud.
- Comprobar que los materiales a utilizar cumplan con los requisitos exigidos por la presente especificación.
- Vigilar la regularidad en la producción de los agregados durante el período de ejecución de la obra.
- Supervisar la correcta aplicación del método aceptado, en cuanto a la elaboración y la colocación de los agregados, del geotextil y de la capa de cobertura del subdrén.
- Revisar la correcta disposición de los materiales sobrantes en los sitios definidos para este fin.
- Comprobar que, durante el transporte y el almacenamiento, los geotextiles tengan los empaques que los protejan de la acción de los rayos ultravioleta, agua, barro, polvo, y otros materiales que puedan afectar sus propiedades.
- Verificar que cada rollo de geotextil tenga en forma clara la información del fabricante, el número del lote y la referencia del producto, así como la composición química del mismo.
- Efectuar ensayos de control sobre el geotextil, en un laboratorio independiente al del fabricante o proveedor, y al material granular drenante. Los ensayos de control relacionados con el geotextil, se deben llevar a cabo de conformidad con lo establecido en las normas de ensayo NTC 2437 (ASTM D4354), NTC 4805 (ASTM D4759).

El interventor debe medir y aprobar, para efectos de pago, las cantidades de obra ejecutadas.

673.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

673.5.2.1 Calidad del geotextil

Por cada lote de rollos que llegue a la obra, el constructor debe entregar al interventor una certificación expedida por el fabricante del geotextil, donde se establezca el nombre del producto, la composición química relevante

de los filamentos o cintas y toda la información que describa al geotextil, así como los resultados de los ensayos de calidad efectuados sobre muestras representativas de la entrega, los cuales deben satisfacer todas las condiciones establecidas en las Tablas 673 – 1 y 673 – 2. El interventor no debe aceptar el empleo de suministros de geotextil que no se encuentren respaldados por la certificación del fabricante. Dicha constancia no debe evitar, en ningún caso, la ejecución de ensayos de comprobación por parte del interventor, ni debe implicar, necesariamente, la aceptación de la entrega.

Además, el interventor debe escoger al azar un número de rollos equivalente a la raíz cúbica del número total de rollos que conformen el lote (cota superior del número mínimo de muestreo según el tamaño del lote (Tabla 1 de la NTC 2437 (ASTM D4354)). Se deben evaluar rollos estándar con un área entre cuatrocientos y seiscientos metros cuadrados (400 m^2 – 600 m^2) cada uno. En el caso de rollos con áreas diferentes, el total de metros cuadrados se debe convertir a unidades de rollos equivalentes de quinientos metros cuadrados (500 m^2).

De cada rollo se deben descartar las dos primeras vueltas de geotextil para el muestreo. Posteriormente, se debe tomar una muestra, como mínimo de un metro (1 m) por el ancho correspondiente al rollo, verificando que esté totalmente seca y limpia. El número de especímenes se debe determinar de conformidad con las normas de ensayo NTC 2437 (ASTM D4354) y NTC 4805 (ASTM D4759). Tales especímenes, debidamente identificados (número de lote, referencia del producto, etc.), se deben empacar y enviar a un laboratorio distinto al del fabricante o proveedor, para que les sean realizadas las pruebas especificadas en las Tablas 673 – 1 y 673 – 2.

En relación con los resultados de las pruebas, no se debe admitir ninguna tolerancia sobre los límites establecidos en las Tablas 673 – 1 y 673 – 2. Por ningún motivo se deben aceptar geotextiles rasgados, agujereados o usados.

673.5.2.2 Calidad del material granular drenante y de los materiales de cobertura distintos al material de excavación

De cada procedencia de los agregados pétreos y para cualquier volumen previsto, se deben tomar cuatro (4) muestras y, de cada fracción de ellas, se debe verificar su calidad y granulometría, según los requisitos indicados en los numerales 673.2.2 y 673.2.3. Los resultados deben satisfacer las exigencias allí establecidas; si los materiales no cumplen con la totalidad de los requisitos, deben ser rechazados.

Durante la etapa de producción, el interventor debe examinar las descargas de los acopios y debe ordenar el retiro de los agregados que, a simple vista, presenten restos de tierra vegetal, materia orgánica y tamaños superiores o inferiores al máximo y al mínimo especificados.

673.6 Medida

673.6.1 Geotextil

La unidad de medida del geotextil debe ser el metro cuadrado (m^2), aproximado al entero, de geotextil medido en obra, colocado de acuer-

do con los documentos del proyecto y esta especificación y debidamente aceptado por el interventor. No se deben medir los traslapos.

El resultado de la medida se debe informar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

673.6.2 Material granular drenante

La unidad de medida del material granular drenante debe ser el metro cúbico (m^3), aproximado al entero, de material suministrado y colocado en obra, debidamente aceptado por el interventor. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

El volumen se debe determinar multiplicando la longitud de la zanja, medida a lo largo del eje del subdrén, por el ancho de la misma y por la altura de colocación del material drenante indicados en los documentos del proyecto o autorizados por el interventor.

673.6.3 Materiales de cobertura

La unidad de medida del material de cobertura debe ser el metro cúbico (m^3), aproximado al entero, de material suministrado y colocado en obra, debidamente aceptada por el interventor. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

El volumen se debe determinar multiplicando la longitud de la zanja, medida a lo largo del eje del subdrén, por el ancho de la misma y por la altura de colocación del material de cobertura indicados en los documentos del proyecto o autorizados por el interventor.

673.7 Forma de pago

El pago se debe hacer al respectivo precio unitario del contrato por toda obra ejecutada, de acuerdo con los documentos del proyecto y esta especificación, y aprobada por el interventor.

El precio unitario del ítem 673.1, geotextil, debe incluir el suministro del geotextil en obra, su almacenamiento, transportes, colocación, costuras; traslapos y desperdicios.

El precio unitario del ítem 673.2, material granular drenante, debe comprender los costos del suministro, equipos y mano de obra para la adecuada colocación y compactación del material en la zanja del subdrén; la obtención de permisos de explotación del material; la extracción y eventual trituración y/o lavado; la clasificación del material; cargues; transportes; descargues; almacenamiento; la adecuada disposición de los materiales sobrantes de todo el proceso de fabricación del subdrén.

El precio unitario del ítem 673.3, material de cobertura, debe incluir todos los conceptos de costo enunciados para el ítem 673.2 Material granular drenante, excepto la disposición de los materiales sobrantes de todo el proceso de fabricación del subdrén, conceptos ya incluidos en el ítem 673.2

En todos los casos, el precio unitario debe incluir, también, los costos de administración, imprevistos y la utilidad del constructor.

Se deben excluir del precio unitario de los ítems anteriores, la excavación de las zanjas, la cual se debe pagar de acuerdo con el artículo 600.

673.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
673.1	Geotextil tipo _____	Metro cuadrado (m^2)
673.2	Material granular drenante	Metro cúbico (m^3)
673.3	Material de cobertura tipo _____	Metro cúbico (m^3)

Nota: se debe elaborar un ítem de pago diferente para cada tipo de geotextil y cada tipo de material de cobertura que se especifiquen en el contrato.

Drenes horizontales en taludes

Artículo 674 – 22

674.1 Descripción

Los drenes horizontales de penetración transversal constituyen un sistema de subdrenaje, que consiste en la introducción de tuberías ranuradas o perforadas insertadas transversalmente en los taludes de cortes y, eventualmente, en terraplenes, para aliviar la presión de poros.

Este trabajo consiste en la perforación de barrenos en los taludes del proyecto y la instalación de tubería ranurada o perforada de drenaje dentro de los mismos, con o sin recubrimiento de geotextil, en los sitios establecidos en los documentos del proyecto aprobados por el interventor.

674.2 Materiales

Salvo que los documentos del proyecto indiquen algo en contrario, la tubería de drenaje debe ser de policloruro de vinilo (PVC), norma ASTM D1785, con diámetro interior mínimo de cincuenta milímetros (50 mm), Schedule 80, ranurada o perforada de acuerdo con lo establecido en los documentos del proyecto aprobados por el interventor.

En el caso de que se requiera la utilización de un geotextil para el recubrimiento externo de la tubería, este debe cumplir con lo que se especifique en los documentos del proyecto; como mínimo, con lo que sea pertinente del numeral 673.2.1 del artículo 673, Subdrenes con geotextil y material granular.

674.3 Equipo

El equipo que se debe emplear para la instalación de drenes de penetración transversal, debe ser el adecuado para obtener la calidad especificada en el proyecto y en cantidad suficiente para producir el rendimiento establecido en el programa de trabajo, siendo responsabilidad del constructor su selección, pero debe contar con la aprobación del interventor. Dicho equipo debe ser mantenido en óptimas condiciones de operación durante el tiempo que dure la obra y debe ser operado por personal capacitado. El equipo debe ser el adecuado para perforar barrenos en cualquier dirección y en profundidad; puede ser ligero rotatorio o a percusión con martinete en el frente (down the hole), que permita obtener perforaciones con diámetros de cincuenta milímetros (50 mm) a ciento cincuenta milímetros (150 mm), en suelo o en roca.

Las plataformas deben contar con canastillas telescópicas, de accionamiento hidráulico o neumático, cuya versatilidad de movimientos permitan acercar y retirar el equipo, materiales y personal para la perforación e instalación de los drenes de penetración transversal, de acuerdo con los documentos del proyecto.

674.4 Ejecución de los trabajos

674.4.1 Trabajos previos

Previamente a la perforación de los barrenos, estos se deben ubicar mediante el apoyo de alineamientos topográficos, con base en la distribución espacial establecida en el proyecto.

Antes de iniciar los trabajos, la superficie sobre la que se deben instalar los drenes horizontales, debe encontrarse limpia y libre de zonas que puedan presentar riesgos de desprendimientos. No se debe permitir la instalación de drenes horizontales de penetración transversal sobre superficies que no hayan sido previamente aceptadas por el interventor.

674.4.2 Ejecución de las perforaciones e instalación del dren

En general, la instalación de los drenes horizontales se debe hacer de acuerdo con la ubicación indicada en los documentos del proyecto; sin embargo, la ubicación exacta se debe determinar conforme se acuerde con el interventor.

El esviaje y la inclinación de las tuberías horizontales deben ser los establecidos en el proyecto o aprobados por el interventor, pudiendo realizar los últimos ajustes en campo, según las condiciones del terreno en el punto de instalación de cada dren.

Si, a criterio del interventor, el equipo presenta deficiencias o no produce los resultados esperados durante la ejecución del trabajo, este se debe suspender inmediatamente en tanto que el constructor corrija las deficiencias, lo reemplace o sustituya al operador. Los atrasos en el programa de ejecución, que por este motivo se ocasionen, deben ser imputables exclusivamente al constructor.

Debe tenerse en cuenta que, si la perforación se hace en materiales sueltos o inestables, se debe colocar inmediatamente tubería de revestimiento, la cual se debe remover después de haber instalado la tubería ranurada o perforada de PVC. Si durante la perforación se utiliza agua, se debe cuidar que esta no contamine los cauces de agua superficiales.

A menos que el proyecto indique otra cosa o el interventor apruebe algo diferente, se debe conectar una extensión redondeada o en punta de bala al extremo de la tubería ranurada para facilitar ser introducida en la perforación.

La tubería se debe colocar con la ayuda del equipo de perforación para introducirla en el barreno. Para formar una línea de tubería continua se deben conectar los tramos de tubería que sean necesarios. Los tubos de PVC se deben pegar entre sí con accesorios de acuerdo con la NTC 4404 (ASTM D2467), con el sistema indicado en los documentos del proyecto o el autorizado por el interventor.

A menos que el proyecto indique otra cosa o el interventor autorice algo diferente, en el último tramo, de tres metros (3 m) de longitud, se debe utilizar tubería no ranurada o perforada que constituya la salida del dren.

El espacio entre la perforación y el tramo de tubería no perforada se debe sellar en un tramo de al menos tres metros (3 m) hacia adentro a partir de la cara del talud, con un material impermeable que cumpla lo estable-

cido en el proyecto o aprobado por el interventor. El espacio entre el barreno y la tubería perforada en el resto de la longitud del dren, no se debe sellar.

A menos que el proyecto señale algo diferente o así lo apruebe el interventor, se deben colocar tuberías de salida en los extremos de todos los drenes horizontales, utilizando una pieza (T) para conectarlos a la tubería colectora. Se debe incluir protección a la intemperie de las tuberías colectoras expuestas al aire libre.

Se debe instalar un sistema colector del tipo, características y dimensiones indicadas en el proyecto o aprobadas por el interventor.

674.4.3 Limitaciones en la ejecución

No se pueden ejecutar los trabajos de colocación de drenes horizontales en taludes, en momentos en que haya lluvia o pronóstico de ella, ni cuando la temperatura ambiente sea inferior a dos grados Celsius (2 °C).

Los trabajos de construcción de drenes horizontales se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que sea aprobado por este. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

674.4.4 Manejo ambiental

Adicional a los aspectos generales indicados en al artículo 106, Aspectos ambientales, todas las labores requeridas para la elaboración de drenes horizontales se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en los estudios o evaluaciones ambientales del proyecto, así como en las normas y disposiciones vigentes sobre la conservación del ambiente, los recursos naturales y protección de la comunidad.

Por ello, todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación, deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades deben incluirse en los costos del proyecto; por tanto, no son objeto de reconocimiento directo en el contrato.

674.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

674.5.1 Controles

El plan de calidad y el plan de inspección, medición y ensayo son de obligatorio cumplimiento tal como se encuentra expresado en el numeral 103.2 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor.

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Verificar permanentemente el estado de funcionamiento del equipo utilizado por el constructor.

- Comprobar que los tubos y demás materiales por utilizar cumplan los requisitos de la presente especificación y se encuentren en relación directa con los documentos del proyecto o sus indicaciones.
- Supervisar la correcta aplicación del método de trabajo aprobado.
- Constatar el cumplimiento de las disposiciones existentes en el artículo 102, Aspectos generales de seguridad y salud.
- Corroborar que el alineamiento y la longitud del dren estén de acuerdo con los requerimientos de los documentos del proyecto o lo autorizado por el interventor.

El interventor debe medir y aprobar, para efectos de pago, las cantidades de obra ejecutadas.

674.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

674.5.2.1 Calidad de los materiales

674.5.2.1.1 Tubos de PVC

Se deben verificar los siguientes aspectos:

- Que el lote de tubos que llegue a la obra cumpla con las especificaciones exigidas. El constructor debe entregar al interventor una certificación expedida por el fabricante con los resultados de los ensayos de calidad pertinentes. Esta certificación no debe implicar necesariamente la aceptación del lote de tubos por parte del interventor.
- Que ningún tubo presente roturas, aplastamientos o deformaciones. Todos los tubos que presenten algún desperfecto deben ser rechazados.
- Que el diseño y la ejecución de las ranuras o perforaciones de cada uno de los tubos se encuentre de acuerdo con los documentos del proyecto.
- Que la unión de los tubos, a medida que se van introduciendo en el barreno, se ejecute conforme con las indicaciones establecidas en los documentos del proyecto.

674.5.2.1.2 Geotextil

El geotextil debe cumplir con lo estipulado en el numeral 674.2. El constructor debe entregar al interventor una certificación expedida por el fabricante con los resultados de los ensayos de calidad pertinentes. Esta certificación no debe implicar necesariamente la aceptación del lote de geotextil por parte del interventor.

674.5.2.1.3 Calidad del producto terminado

Se debe verificar la adecuada colocación del material impermeable de sello en el último tramo del dren. Además, se debe comprobar que cada uno de los drenes esté correctamente conectado al sistema colector del agua, de acuerdo con los documentos del proyecto y a los procedimientos aceptados por el interventor.

674.6 Medida

La unidad de medida debe ser el metro (m), aproximado a la décima (0,1), de dren horizontal instalado de acuerdo con los documentos del proyecto aprobados por el interventor y esta especificación. El resultado de la medida

se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

674.7 Forma de pago

El pago se debe hacer al respectivo precio unitario del contrato, por toda obra terminada y aprobada por el interventor. El precio unitario debe comprender todos los costos de preparación de la superficie del talud; la perforación de los barrenos y la eventual instalación y posterior retiro de tubería de revestimiento; el suministro, adecuación e instalación de la tubería de PVC, incluyendo sus ensambles; el suministro y la instalación del geotextil, si se requiere; la colocación del sello impermeable; los costos de cargue, transporte, descargue, desperdicios, disposición adecuada de sobrantes y, en general, todos los costos requeridos para la correcta ejecución de los trabajos objeto de esta especificación.

El precio unitario debe incluir, también, los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

En caso de que se requiera instalar un sistema colector al cual se deban conectar los drenes, su forma de pago se debe definir mediante una especificación particular.

674.7.1 Plan de Manejo de Tránsito (PMT)

El constructor debe contar con un PMT e instalar todos los elementos de señalización preventiva en la zona de los trabajos, de acuerdo con lo establecido en el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte, los cuales deben garantizar la seguridad permanente tanto del personal y de los equipos de construcción, como de los usuarios y transeúntes, durante las veinticuatro horas (24 h) del día.

Para actividades que no impliquen el cierre total de la vía, el interventor debe dar su visto bueno previo a la presentación de un PMT. Para casos que impliquen el cerramiento total de la vía, se deben tramitar los permisos correspondientes ante la autoridad competente y se debe presentar el PMT aprobado por el interventor.

674.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
674.1	Dren horizontal de longitud menor o igual a veinte metros (20 m)	Metro (m)
674.2	Dren horizontal de longitud mayor a veinte metros (20 m)	Metro (m)

Muros de tierra estabilizada mecánicamente con paneles de concreto

Artículo 680 – 22

680.1 Descripción

Este trabajo consiste en la construcción de rellenos con material granular recubiertos con paneles de concreto, sostenidos con armaduras metálicas, en los sitios y con las dimensiones señaladas en los documentos del proyecto y aprobados por el interventor.

680.2 Materiales

680.2.1 Paneles de concreto

El concreto para la construcción de los paneles debe ser del tipo definido en los documentos del proyecto y su elaboración se debe hacer según lo especificado en el artículo 630, Concreto estructural. Si los documentos del proyecto no indican algo diferente, el concreto debe tener una resistencia mínima a la compresión de veintiocho megapascales (28 MPa) a veintiocho días (28 d). Los paneles deben ser construidos en concreto reforzado, según las dimensiones y cantidades de refuerzo establecidas y aprobadas en los documentos del proyecto, que cumplan los requisitos del artículo 640, Acero de refuerzo. La forma y las dimensiones de los paneles deben corresponder con las indicadas en los documentos del proyecto.

Los paneles deben disponer de sistemas de espigos y tubos para su entrelazamiento, así como de arranques de armaduras sobre las cuales se deben atornillar estas y un sistema de levantamiento que permita su izada en posición vertical durante su colocación.

Las juntas verticales de los paneles deben tener un empaque consistente en una cinta de poliuretano y, en las juntas horizontales, se pueden dar apoyos de neopreno que sirvan de soporte al panel superior.

680.2.2 Armadura y tornillería

Las armaduras deben ser de acero de conformidad con lo establecido en la NTC 1985 (ASTM A572) Grado 65 (Grado 450) y estar provistas de un recubrimiento de zinc por galvanizado en caliente según la NTC 3320 (ASTM A123), dotadas en ambas caras de estrías transversales. Deben constituirse por elementos lineales de la sección y la longitud indicadas en los documentos del proyecto.

Los tornillos deben satisfacer los requisitos para la clase de resistencia ocho punto ocho (8.8) indicada en la norma ISO 4017, con dimensiones apropiadas para la resistencia requerida por los elementos que deben ser sometidos a los mayores niveles de carga. Cada tornillo debe estar provisto de tuerca.

Las armaduras se deben enviar a la obra preparadas para su uso; es decir, cortadas a la medida y perforadas en su extremidad para atornillarlas a los arranques metálicos que salen de los paneles.

680.2.3 Concreto para solera

El concreto de la solera debe ser del tipo definido en los documentos del proyecto, y su elaboración se debe realizar teniendo en cuenta lo especificado en el artículo 630. Si los documentos del proyecto no indican otra cosa, debe ser un concreto simple con una resistencia mínima a la compresión de diecisiete megapascales (17 MPa) a veintiocho días (28 d).

680.2.4 Relleno

Los documentos del proyecto deben definir los requisitos que debe cumplir el material de relleno, el cual puede ser: material granular tipo SBG (artículo 610, Rellenos para estructuras, numeral 610.2.3), material granular tipo BG (artículo 610, numeral 610.2.3), o un material de características diferentes que cumpla con los requisitos definidos en la Tabla 680 – 1. No se debe permitir el uso de materiales procedentes de procesos industriales o de manipulación humana como residuos de construcción y demolición (RCD), residuos de fresado de capas asfálticas o cualquier otro material con uso previo.

Los materiales de relleno deben cumplir, también, las propiedades electroquímicas que se indican en la Tabla 680 – 2.

El pH del material de relleno, determinado según la norma de ensayo INV E-131, debe estar entre cinco (5) y diez (10).

Tabla 680 – 1. Requisitos para los materiales de relleno

Propiedad	Norma de ensayo INV	Requisito
Tamaño máximo (mm)	E-123	20
Porcentaje que pasa a través del tamiz de 0,425 mm (nro. 40), máximo (%)	E-123	60
Porcentaje que pasa a través del tamiz de 0,075 mm (nro. 200), máximo (%)	E-123	15
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-133	6
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%) (Nota) - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	E-220	 15 30

Nota: se puede validar el requisito de durabilidad, empleando cualquiera de los dos (2) sulfatos indicados.

Tabla 680 – 2. Propiedades electroquímicas de los materiales de relleno

Propiedad	Norma de ensayo	Requisito
Resistividad (ohm-cm)	AASHTO T 288	> 3 000
pH	AASHTO T 289	5 a 10
Cloruros (ppm)	ASTM D4327	< 100
Sulfatos (ppm)	ASTM D4327	< 200
Contenido de material orgánica (%)	INV E-121 / UNE 103204	≤ 0,2

680.2.5 Drenaje

En los documentos del proyecto se deben definir los parámetros necesarios para la construcción del sistema de drenaje del muro, tanto en lo que respecta a sus dimensiones como a los materiales y procesos necesarios para su ejecución.

En el caso en que se opte por el uso de un sistema de drenaje con material granular, su diseño y proceso constructivo deben cumplir con lo establecido en el artículo 673, Subdrenes con geotextil y material granular.

Si en los documentos del proyecto se adopta una alternativa de drenaje distinta a las consideradas en las presentes especificaciones generales, debe ser necesario definir una especificación particular.

La propuesta de drenaje debe incluir los diseños de las estructuras y/o adecuaciones necesarias, que permitan garantizar la entrega de las aguas procedentes del muro a otro sistema de conducción de aguas de origen pluvial o a un efluente natural cercano.

680.3 Equipo

Al respecto, debe regir todo lo que sea aplicable del numeral 630.3 del artículo 630.

Las formaletas o moldes para la fabricación de los paneles deben ser metálicos, con acceso para el vibrado del concreto.

Se debe requerir, además, equipo para la explotación, procesamiento, extensión, humedecimiento, conformación y compactación del material de relleno, así como vehículos para el transporte de todos los elementos constitutivos de la tierra mecánicamente estabilizada con paneles de concreto, sin procesar o procesados.

También, se debe disponer de equipo para el izado y la colocación de los paneles de concreto y los elementos auxiliares requeridos para la correcta ejecución de los trabajos especificados.

680.4 Ejecución de los trabajos

680.4.1 Fabricación de los paneles

680.4.1.1 Generalidades

La fabricación de los paneles se debe realizar de acuerdo con las partes pertinentes de los artículos 630 y 640. Los materiales y procedimientos empleados en la fabricación deben contar con la aprobación previa del interventor y deben estar sujetos a su inspección durante la ejecución de los trabajos; deben permitir la producción de una manera ordenada, que garantice la obtención de un producto de características uniformes, de acuerdo con los diseños y dentro de las especificaciones. La zona de trabajo debe adecuarse para el desarrollo de todas las operaciones. El interventor puede exigir todos los cambios que considere necesarios para cumplir estos preceptos.

680.4.1.2 Elaboración

El interventor solo debe autorizar la colocación del concreto cuando haya aprobado la correcta colocación del refuerzo. El vaciado del concreto, para cada panel, debe ser continuo hasta su terminación y el vibrado posterior se

debe efectuar empleando procedimientos adecuados que no produzcan segregación de los agregados, ni desplacen el acero de refuerzo o las formaletas. Los paneles de concreto deben someterse a un proceso de curado de acuerdo con el numeral 630.4.12 del artículo 630, al documento ACI 308.1, *Standard Specifications for Curing Concrete*, así como a las recomendaciones presentadas en el documento ACI 308R, *Guide to External Curing of Concrete*.

680.4.2 Descarga y almacenamiento de los paneles

Los paneles se deben descargar y manipular por medio de los arranques de armaduras.

Se deben almacenar sobre una superficie plana, con el paramento hacia abajo, en filas de cinco (5) paneles, como máximo.

El panel inferior de cada fila se debe proteger del contacto con el suelo por medio de tablones puestos de canto u otro sistema autorizado por el interventor. Durante estas operaciones debe tenerse cuidado de no doblar los arranques de las armaduras. Los paneles únicamente se pueden instalar luego de veintiocho días (28 d) de su fabricación.

680.4.3 Solera de asiento

Los paneles de la fila inferior se deben apoyar sobre el suelo por medio de una solera de concreto simple, con una resistencia mínima a la compresión de diecisiete megapascales (17 MPa) a los veintiocho días (28 d). La geometría de la solera debe estar definida en los documentos de proyecto junto con su respectiva memoria de cálculo.

680.4.4 Montaje de los paneles y colocación del relleno

El montaje de los paneles se debe efectuar por filas horizontales sucesivas, sobre toda la longitud de la obra. La primera fila de paneles debe estar compuesta por una intercalación de elementos enteros con elementos de media altura, apoyados directamente sobre la solera de asiento.

Antes de efectuar el relleno, todos los paneles de la primera fila deben ser calzados para que no se produzca ningún movimiento mientras se efectúa el relleno. Además, los paneles se deben mantener con puntales al lado opuesto del relleno, los cuales se pueden retirar cuando este haya cubierto uno coma cinco metros (1,5 m) de altura o cuando lo señale el interventor.

El relleno detrás de los paneles se debe efectuar por capas, extendiendo el material de forma paralela a la fila de los paneles. Los niveles superiores de estas capas deben corresponder a la parte alta de los paneles enteros y al nivel de las capas de armaduras.

El material debe ser humedecido o aireado según se precise y luego compactado, evitando la acción de compactadores pesados a menos de un metro (1 m) del paramento, para prevenir el desplazamiento de los paneles. En dicha zona, la compactación se debe realizar empleando máquinas accionadas manualmente. Cabe anotar que, la totalidad del material de relleno debe cumplir los requisitos de compactación establecidos en el numeral 680.5.2.6.

El montaje de una nueva fila de paneles solamente se puede iniciar cuando el relleno

haya sido construido en toda la altura de la anterior. Este montaje debe comenzar por los espacios entre los paneles de la fila inferior.

La última fila del macizo debe llevar, también, paneles de media altura.

680.4.5 Colocación de las armaduras

Las armaduras se deben colocar perpendicularmente al paramento, en capas horizontales y sujetas a los paneles mediante tornillos con sus respectivos accesorios de fijación.

El relleno debe estar cuidadosamente nivelado, para que la armadura se apoye completamente sobre su superficie.

680.4.6 Limpieza final

Al terminar la obra, y antes de la aceptación final del trabajo, el constructor debe retirar del lugar toda obra falsa, materiales no utilizados, desechos, basuras y construcciones temporales, restaurando en forma aceptable para el interventor, toda propiedad, tanto pública como privada, que pueda haber sido afectada durante la ejecución de este trabajo y debe dejar el lugar de la estructura limpio y presentable.

680.4.7 Limitaciones en la ejecución

No se debe permitir adelantar los trabajos objeto del presente artículo, cuando la temperatura ambiente a la sombra y la de la superficie sean inferiores a dos grados Celsius (2 °C) o haya lluvia o fundado temor de que ella ocurra.

Los trabajos de construcción se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que sea aprobado por este. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

680.4.8 Manejo ambiental

Adicional a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las labores requeridas para la construcción de muros de tierra mecánicamente estabilizada con paneles de concreto, deben realizarse teniendo en cuenta lo establecido en los estudios y evaluaciones ambientales del proyecto, así como en las normas y disposiciones vigentes sobre conservación del ambiente, los recursos naturales y la protección de la comunidad.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación, deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades deben incluirse en los costos del proyecto; por tanto, no son objeto de reconocimiento directo en el contrato.

680.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

680.5.1 Controles

El plan de calidad y el de inspección, medición y ensayo son de obligatorio cumplimiento, tal como se encuentra expresado en el numeral 103.2 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor.

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y funcionamiento de todo el equipo empleado.
- Constatar el cumplimiento de las disposiciones existentes en el artículo 102, Aspectos generales de seguridad y salud.
- Comprobar que los materiales por utilizar acaten los requisitos de calidad exigidos por esta especificación.
- Vigilar la regularidad en la producción de los agregados y en la elaboración de las mezclas de concreto.
- Efectuar los ensayos necesarios para el control de las mezclas.
- Supervisar la correcta aplicación del método de trabajo aprobado.
- Corroborar que el alineamiento, pendiente, verticalidad o forma del paramento, sección y acabado de los paneles, cumplan los requerimientos de los documentos del proyecto.
- Medir las cantidades de obra ejecutadas satisfactoriamente por el constructor.

680.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

680.5.2.1 Calidad de los ingredientes de la mezcla de concreto y de los productos de curado

En lo referente a la calidad del cemento, adiciones suplementarias, agua, agregados y eventuales aditivos y productos químicos de curado, se deben aplicar los criterios del artículo 630, numeral 630.5.1.1, 630.5.1.2, 630.5.1.3, 630.5.1.4 y 630.5.1.6.

680.5.2.2 Calidad de las mezclas

680.5.2.2.1 Dosificación

Al respecto, se deben aplicar los criterios del artículo 630, numeral 630.5.2.3.

680.5.2.2.2 Consistencia

En tal sentido, deben emplear los criterios del artículo 630, numeral 630.5.2.4.

680.5.2.2.3 Resistencia de las mezclas

En relación con el concreto utilizado para elaborar los paneles, deben tomarse al azar muestras para fabricar tres (3) cilindros por cada lote.

Se debe entender por lote, veinticinco (25) paneles prefabricados o los elaborados en una jornada de trabajo, lo que resulte menor.

Para el concreto destinado a la producción de los paneles, el proceso de toma, elaboración, curado y ensayo de las muestras se debe realizar según lo descrito en el numeral

630.5.2.9 del artículo 630, así como los criterios para definir conformidad o no conformidad del producto terminado.

En caso de incumplimiento de una o varias de las exigencias a que se refiere el numeral 630.5.2.9, se deben rechazar los paneles representados por dichos cilindros.

Para el concreto destinado a la elaboración de la solera, se deben emplear los criterios definidos en el artículo 630, numeral 630.5.2.9.

680.5.2.3 Refuerzo de los paneles

No se debe admitir tolerancia alguna por parte del interventor en relación con la calidad establecida para el acero en el numeral 640.2 del artículo 640.

En relación con la colocación de las armaduras, se aceptan las tolerancias indicadas en el numeral 640.5.2 del mismo artículo.

680.5.2.4 Aceptación de los paneles

Para su colocación, los paneles solamente se deben aceptar si cumplen con las dimensiones del diseño y demás requisitos establecidos en esta especificación y en las particulares del contrato. Sus superficies deben ser lisas, uniformes, libres de bordes salientes, hormigueros u otros defectos. Todos los paneles que presenten defectos en la superficie a la vista o señales de haber sido averiados durante su manejo deben ser rechazados por el interventor.

680.5.2.5 Armaduras y tornillería

No debe haber ninguna tolerancia en relación con los requisitos establecidos en el numeral 680.2.2 para las armaduras y tornillería.

680.5.2.6 Relleno

La calidad del material de relleno se debe evaluar en función de sus características y de los requisitos aplicables de las presentes especificaciones, según sea el tipo de material por utilizar, de acuerdo con lo señalado en el numeral 680.2.4.

El valor del peso unitario seco máximo se debe obtener según la norma de ensayo INV E-142, efectuando, de ser necesaria, la corrección por la presencia de partículas gruesas de acuerdo con la norma INV-E-143. La humedad de compactación debe permanecer dentro del intervalo de más o menos dos por ciento (± 2 %) con relación al valor óptimo determinado mediante la norma INV E-142. Excepto que los documentos del proyecto especifiquen algo diferente, la capa de relleno se debe aceptar si el grado de compactación individual GC_i , calculado para todos los ensayos de densidad en el terreno efectuados en la capa, cumple los siguientes criterios:

Cuando el muro deba soportar cargas derivadas de la construcción de la vía:

$$GC_i \geq 95{,}0\ \% \qquad [680.1]$$

En los casos en que el muro deba soportar cualquier otra carga distinta de las generadas por la estructura del pavimento, siempre y cuando existan diseños detallados y autorización expresa por parte del diseñador:

$$GC_i \geq 100{,}0\ \% \qquad [680.2]$$

680.5.2.7 Calidad del producto terminado

En caso de que la superficie a la vista del muro de tierra mecánicamente estabilizada con paneles de concreto presente irregularidades que sean notorias, debe ser rechazada por el interventor.

En lo que respecta a las dimensiones del muro y su localización en planta, se deben aceptar las tolerancias que resulten pertinentes del artículo 630, numeral 630.5.3.

Toda obra ejecutada donde los defectos de calidad y terminación excedan las tolerancias de esta especificación, se debe corregir por el constructor, bajo su propia cuenta y riesgo, sin costo adicional para INVÍAS, de acuerdo con los procedimientos aprobados por el interventor y hasta conseguir su aprobación.

680.6 Medida

680.6.1 Paneles en concreto

La unidad de medida de los paneles en concreto debe ser el metro cuadrado (m^2), aproximado a la décima (0,1), de paneles realmente suministrados, colocados y terminados, debidamente aceptados por el interventor. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

El área se debe determinar multiplicando el área de un panel completo y uno de media altura por el número de paneles de cada clase aceptados por el interventor. El área total debe ser la suma de las dos (2) multiplicaciones.

680.6.2 Armadura

La unidad de medida de la armadura debe ser el kilogramo (kg), aproximado la décima (0,1), de acero galvanizado, incluyendo empalmes, suministro y colocación de acuerdo con los documentos del proyecto y la presente especificación. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

La medida de la armadura se debe basar en el producto entre la longitud de armadura colocada y aprobada por el interventor y los valores de masa, por metro, suministrados por el fabricante.

680.6.3 Relleno

La unidad de medida del relleno granular debe ser el metro cúbico (m^3), aproximado al entero, de material suministrado, colocado y terminado de acuerdo con los documentos del proyecto y debidamente aceptada por el interventor. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

Los volúmenes se deben determinar con base en las áreas de las secciones transversales del proyecto localizado, verificadas por el interventor antes y después de ser ejecutados los trabajos de relleno. Dichas áreas deben estar limitadas por las líneas de pago teóricas mostradas en los documentos del proyecto o autorizadas por el interventor. No se deben medir cantidades en exceso de las indicadas en los documentos del proyecto aprobadas por el interventor, ni el concreto utilizado para la solera de asiento.

680.6.4 Drenaje

Si el sistema adoptado corresponde al establecido en el artículo 673, se debe aplicar lo dispuesto en el numeral 673.6.

En el caso en que se defina un método distinto, se debe acudir a la especificación particular aprobada para la actividad.

680.7 Forma de pago

El pago se debe hacer al precio unitario del contrato por toda obra ejecutada de acuerdo con los documentos del proyecto, la presente especificación y según lo que sea aprobado por el interventor.

680.7.1 Paneles en concreto

El precio unitario debe cubrir los costos de todos los materiales empleados en la fabricación de los paneles con las dimensiones especificadas, incluyendo formaletas o moldes, el acero de refuerzo, los espigos y tubos para entrelazamiento, los arranques de armaduras, los materiales para las juntas y su colocación; la elaboración de la mezcla de fabricación de los paneles de acuerdo con los documentos del proyecto y lo aprobado por el interventor; los equipos, la mano de obra y los accesorios requeridos; patentes, transporte, almacenamiento, desperdicios, colocación de los paneles y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución de los trabajos.

Debe comprender, así mismo, los costos de materiales, elaboración, transporte y colocación en el lugar indicado por el interventor, del concreto para la solera de asiento; al igual que los costos de señalización preventiva de la vía y el eventual ordenamiento del tránsito automotor durante la ejecución de los trabajos.

Los precios unitarios deben incluir, también, los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

680.7.2 Armadura galvanizada

El precio unitario debe cubrir todos los costos que se deriven del suministro de las platinas galvanizadas, incluidas las patentes, los tornillos de unión, tuercas y otros materiales accesorios; el equipo y mano de obra requeridos; los cargues, transportes, descargues, instalación de las armaduras, desperdicios y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución del trabajo objeto del pago. El precio unitario debe incluir, también, los costos de administración, imprevistos y la utilidad del constructor.

680.7.3 Relleno granular para muros de tierra mecánicamente estabilizada

El precio unitario debe cubrir los costos de extracción, preparación y suministro de los materiales; la obtención de los permisos ambientales y derechos de explotación, la construcción o adecuación de las vías de acceso a las zonas de préstamo; la adecuación de dichas zonas una vez extraído el material, para recuperar las características hidrológicas superficiales; los cargues, transportes, compactación y conformación del relleno granular para tierra mecánicamente estabilizada; todo equipo y mano de obra requeridos para ejecutar esta labor y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución del trabajo especificado.

El precio unitario debe incluir, también, los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

Si la superficie de apoyo del muro se debe preparar mediante una excavación, se debe pagar con cargo al artículo 600, Excavaciones varias.

680.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
680.1	Paneles de concreto	Metro cuadrado (m^2)
680.2	Armadura galvanizada	Kilogramo (kg)
680.3	Relleno granular para tierra mecánicamente estabilizada con paneles de concreto	Metro cúbico (m^3)
680.4	Drenaje	Se debe cobrar según las unidades definidas en la especificación utilizada

Gaviones y colchogaviones de malla de alambre de acero entrelazado

Artículo 681 – 22

681.1 Descripción

Este trabajo consiste en el transporte, suministro, manejo, almacenamiento e instalación de canastas de mallas hexagonales de alambre de acero con revestimiento metálico, entrelazado en triple torsión (Nota), y el suministro, transporte y colocación de material de relleno dentro de las canastas, de acuerdo con los alineamientos, formas y dimensiones y en los sitios establecidos en los documentos del proyecto o aprobados por el interventor. También incluye las canastas de alambre de acero con doble revestimiento, metálico y policloruro de vinilo (PVC), cuando los documentos del proyecto así lo requieran.

Nota: la definición de malla de triple torsión utilizada en el numeral 3.2.3 de la NTC 5333 es equivalente a la expresión "*Double-Twisted wire mesh*" empleada en la norma ASTM A975, en su numeral 3.2.1. Para efectos de la denominación en las presentes especificaciones, se adopta la expresada en la NTC 5333.

Las canastas de colchogaviones tienen un espesor que es varias veces menor que su largo y su ancho.

681.2. Materiales

681.2.1 Canastas metálicas

681.2.1.1 Requisitos

Las canastas metálicas deben estar formadas de alambre de acero con recubrimiento metálico (o con recubrimiento metálico y recubrimiento posterior de PVC) de triple torsión, con huecos hexagonales y deben cumplir los requisitos de materiales y de fabricación establecidos en la NTC 5333 (ASTM A975).

681.2.1.2 Clasificación

Las mallas para gaviones y colchogaviones se clasifican en cinco (5) estilos, en función del recubrimiento del alambre, como se menciona en la Tabla 681 – 1.

- Las mallas estilo uno (1) se elaboran con alambres de acero recubiertos con zinc (galvanizado).

Tabla 681 – 1. Estilos de mallas para gaviones y colchogaviones según el tipo de recubrimiento del alambre

Estilo	Tipo de recubrimiento
1	Zinc (galvanizado)
2	Aleación Zn-5Al-MM
3	Igual a estilo 1, recubierto con PVC
4	Aluminio (aluminizado)
5	Igual a estilo 2, recubierto con PVC

- Las mallas estilo dos (2) se fabrican con alambres de acero recubiertos con una aleación de zinc, cinco por ciento (5 %) aluminio y metal de Misch (Zn – 5Al – MM).
- Las mallas estilo tres (3) corresponden a las del estilo uno (1), sobre las cuales se aplica un recubrimiento en PVC.
- Las mallas estilo cuatro (4) se elaboran con alambres de acero recubiertos con aluminio (aluminizados).
- Las mallas estilo cinco (5) concuerdan con las del estilo dos (2), sobre las cuales se aplica un recubrimiento en PVC.

Para los alambres que componen las mallas de los gaviones y colchogaviones, el recubrimiento especificado se debe aplicar antes de entrelazarlos entre sí con triple torsión.

A su vez, los alambres que acompañan a las mallas en la formación de las canastas (para aristas o bordes, templetes, amarres y anclajes) deben tener los siguientes recubrimientos, dependiendo del tipo de malla al cual se integran:

- Estilo 1: Recubrimiento en zinc (galvanizado).
- Estilo 2: Recubrimiento en zinc, cinco por ciento (5 %) aluminio y metal de Misch (Zn – 5Al – MM).
- Estilo 3: Elaborados en acero inoxidable.
- Estilo 4: Recubrimiento en aluminio (aluminizados).
- Estilo 5: Elaborados en acero inoxidable.

Para los alambres que acompañan a las mallas en la formación de las canastas, si el estilo de malla usado exige la aplicación de un recubrimiento, este debe ser aplicado antes de su instalación en la canasta.

681.2.1.3 Características del alambre

681.2.1.3.1 Resistencia a la tensión

Todos los alambres deben ser de acero de bajo tiemple; su resistencia a la tensión, cuando se verifique con base en los métodos de ensayo NTC 3353 (ASTM A370) y NTC 2 (ASTM E8), debe cumplir con lo establecido en la Tabla 681 – 2.

681.2.1.3.2 Diámetro de los alambres

El diámetro mínimo de los alambres debe cumplir los requisitos mencionados en la Tabla 681 – 3.

681.2.1.3.3 Recubrimiento metálico

El alambre con recubrimiento metálico debe estar libre de astillas, escamas y otras imperfecciones que no sean consistentes con las buenas prácticas de fabricación de estos elementos. El recubrimiento debe ser continuo

Tabla 681 – 2. Resistencia máxima a la tensión para los alambres

Diámetro del alambre (mm)	Resistencia a la tracción (MPa)	
	Mínima	Máxima
2,0 – 2,69	415	515
> 2,69		485

Tabla 681 – 3. Diámetro mínimo nominal de los alambres

Característica	Tipo de recubrimiento	
	Metálico (estilos 1, 2 y 4)	Metálico y PVC (estilos 3 y 5)
Malla (mm)		
• Gaviones	3,00	2,70
• Colchogaviones	2,20	2,20
Aristas y bordes (mm)		
• Gaviones	3,80	3,40
• Colchogaviones	2,70	2,70
Templetes (aplica solo para gaviones):		
• Elaborados en obra para conectar las caras anterior y posterior de cada panel de gavión (mm)	2,20	2,20
• Preformados para enlazar las esquinas de una misma canasta (mm)	3,80	3,40
Amarres (gaviones y colchogaviones) (mm)	2,20	2,20

y razonablemente homogéneo; se debe permitir la soldadura en fábrica de los extremos del alambre para conseguir la longitud necesaria en los rollos de empaque.

El recubrimiento con zinc de todos los alambres para los gaviones y colchogaviones de estilo uno (1) y tres (3) debe cumplir los requerimientos de la norma ASTM A641 para recubrimiento clase tres (3).

El recubrimiento con aleación zinc, cinco por ciento (5 %) aluminio y metal de Misch (Zn – 5Al – MM) de todos los alambres para los gaviones y colchogaviones de estilos dos (2) y cinco (5) debe cumplir los requerimientos la norma ASTM A856 para recubrimiento clase tres (3).

El recubrimiento con aluminio de todos los alambres para los gaviones y colchogaviones del estilo cuatro (4) debe cumplir los requerimientos de la norma ASTM A809.

La cantidad de recubrimiento metálico, en masa por unidad de área de la superficie del alambre sin recubrir, se debe determinar según los procedimientos descritos en las normas NTC 3237 (ASTM A90) o ASTM A428, según el tipo de recubrimiento utilizado.

El alambre, con su recubrimiento metálico, debe ser enrollado alrededor de un mandril cilíndrico de acero, formando una espiral apretada, a razón de quince (15) giros por minuto, sin que el recubrimiento metálico se agriete o descascare hasta tal punto que cualquier partícula del recubrimiento (zinc, aleación Zn-5Al-MM o aluminio) se pueda remover frotando con los dedos desnudos. El mandril para la prueba de adherencia debe tener el diámetro indicado en la Tabla 681 – 4, el cual está en función del diámetro nominal del alambre, D.

El aflojamiento o desprendimiento durante la prueba de pequeñas partículas del recubrimiento metálico (zinc, aleación Zn-5Al-MM o aluminio) que se hayan formado por pulimiento mecánico de la superficie del alambre recubierto, no se debe considerar como causa de rechazo del recubrimiento metálico.

Tabla 681 – 4. Diámetro del mandril para la prueba de adherencia del recubrimiento metálico

Diámetro nominal del alambre (D) (mm)	Diámetro del mandril (mm)
2,20 a 3,69	3 * D
≥ 3,70	4 * D

Nota: para el caso de alambres con recubrimiento en Aluminio (estilo 4), solo se debe utilizar un mandril con diámetro de 3 * D.

681.2.1.3.4 Recubrimiento en PVC

El recubrimiento con PVC de todos los alambres para los gaviones y colchogaviones de estilos tres (3) y cinco (5), que se coloca sobre el recubrimiento metálico, debe cumplir los requerimientos de la NTC 5333 (ASTM A975); su espesor debe cumplir los requisitos indicados en la Tabla 681 – 5.

681.2.1.4 Características de las mallas para gavión y colchogavión

En la NTC 5333 (ASTM A975) se indica la nomenclatura de los elementos que integran tanto un gavión como un colchogavión, así como su configuración y detalles de fabricación; las partes se ilustran en la Figura 681 – 1.

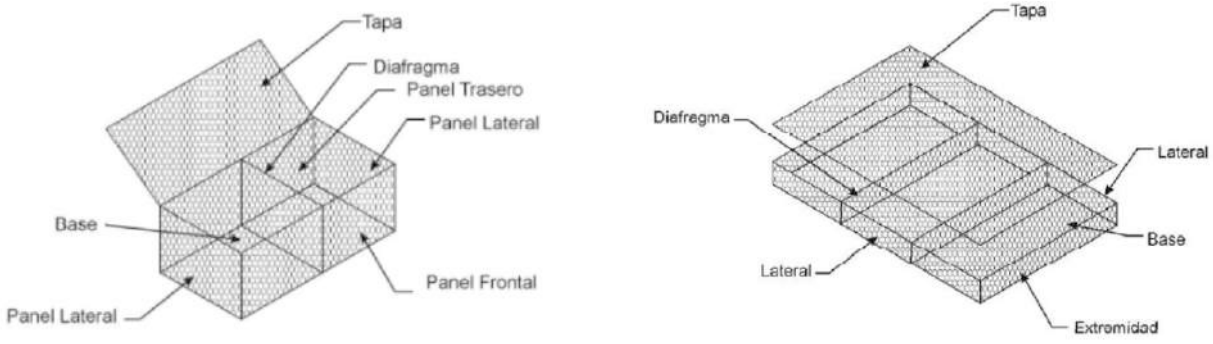
Tabla 681 – 5. Espesor del recubrimiento de PVC

Característica	Requisito
Espesor nominal (mm)	0,50
Espesor mínimo (mm)	0,38

La abertura de malla y sus tolerancias deben ser:

- Sentido horizontal:
  - Gavión: Ocho centímetros más o menos ocho milímetros (8 cm ± 8 mm)
  - Colchogavión: Seis centímetros más o menos seis milímetros (6 cm ± 6 mm).
- Sentido vertical:
  - Gavión: Diez centímetros más o me-nos diez milímetros (10 cm ± 10 mm).
  - Colchogavión: Ocho centíme-tros más o menos ocho milímetros (8 cm ± 8 mm).

Estas medidas se deben obtener tomando las longitudes en ángulo recto en sentidos vertical



(a) (b)

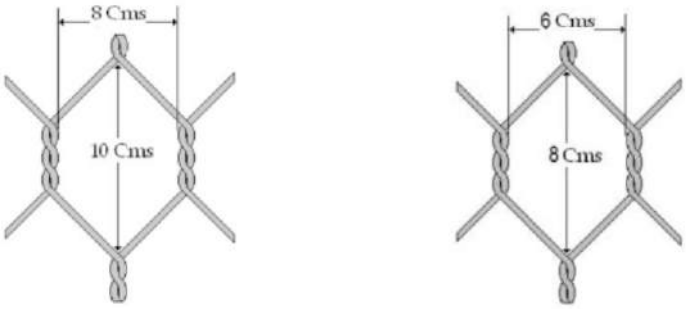
Figura 681 – 1. Partes de (a) un gavión y (b) un colchogavión

y horizontal, como se muestra en la Figura 681 – 2.

La canasta metálica debe llevar diafragmas conformando celdas de largo no mayor a un metro (1 m). Las medidas nominales de los gaviones y colchogaviones y su número de celdas se muestran en las Tablas 681 – 6 y 681 – 7 respectivamente. Las tolerancias dimensionales antes del llenado se establecen en el numeral 681.5.2.2.

El ancho, la altura y la longitud de una canasta para gavión o colchogavión al ser fabricada, no debe diferir, antes de su llenado, en más o menos cinco por ciento (± 5 %) en la menor dimensión y en más o menos tres por ciento (± 3 %) en las otras dos (2) dimensiones.

El diámetro de los alambres debe cumplir con lo establecido en la Tabla 681 – 3, con una tolerancia según lo definido en las normas ASTM A641, ASTM A809 o ASTM A856, de acuerdo con el estilo de malla utilizado.



(a) (b)

Figura 681 – 2. Abertura de la malla de (a) gavión y (b) colchogavión

Todos los bordes y aristas deben ser rematados, como mínimo, envolviendo los alambres de la malla alrededor del alambre de borde por lo menos dos coma cinco (2,5) veces, como lo indica la Figura 681 – 3(a), con excepción de la unión de los paneles laterales y diafragmas con la base, que se pueden doblar con una sola abertura de malla, como lo señala la Figura 681 – 3(b). Los requisitos de resistencia mínima de la malla, de las conexiones de la malla con los alambres de las aristas o bordes, de las conexiones entre paneles y de las

Tabla 681 – 6. Medidas nominales y número de celdas de los gaviones

Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Número de celdas	Volumen (m^3)
2,0	1,0	1,0	2	2,0
3,0	1,0	1,0	3	3,0
4,0	1,0	1,0	4	4,0
2,0	1,0	0,5	2	1,0
3,0	1,0	0,5	3	1,5
4,0	1,0	0,5	4	2,0

Tabla 681 – 7. Medidas nominales y número de celdas de los colchogaviones

Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Número de celdas	Volumen (m^3)
3 0	2 0	0 17	3	1 02
4,0	2,0	0,17	4	1,36
3,0	2,0	0,23	3	1,38
4,0	2,0	0,23	4	1,84
3,0	2,0	0,30	3	1,80
4,0	2,0	0,30	4	2,40

pruebas de punzonamiento son los mostrados en la Tabla 681 – 8. Los ensayos se deben realizar siguiendo los métodos descritos en la NTC 5333 (ASTM A975).

681.2.2 Material de llenado

El material de llenado puede estar conformado por rocas provenientes de una fuente aluvial o de cantera, que no exhiban un nivel elevado de meteorización. Debe estar razonablemente libre de materia orgánica, no debe tener óxido de hierro con excesiva alcalinidad o compuestos salinos, cuya composición pueda atacar el alambre de la canasta.

Como alternativa para el material de llenado, se debe permitir el uso de residuos triturados y lavados de concreto.

En cualquiera de los casos mencionados, o también si se realiza una mezcla entre materiales naturales y residuos de concreto, el material resultante debe cumplir los requisitos descritos en la Tabla 681 – 9.

681.2.3 Geotextil de separación

Sobre la superficie compactada se debe instalar un geotextil de separación, el cual debe cumplir con lo especificado en el artículo

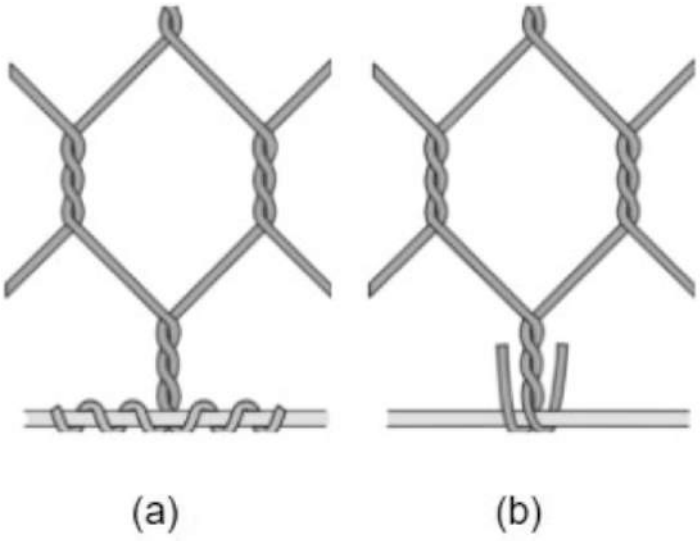


Figura 681 – 3. Remates para bordes de la malla en las aristas de la canasta

Tabla 681 – 8. Resistencia mínima de la malla y las conexiones

Descripción del ensayo	Tipo de recubrimiento		
	Gavión		Colchogavión
	Metálico (clases 1 y 2)	Metálico y PVC (clases 3 y 4)	Todas las clases
Resistencia de la malla, mínimo (kN/m)			
• Ensayo paralelo al entorchado de los alambres	51,1	42,3	33,6
• Ensayo perpendicular al entorchado de los alambres	26,3	20,4	13,1
Resistencia de las conexiones, mínimo (kN/m)			
• Conexiones a los bordes y aristas	20,4	17,5	10,2
• Conexiones entre paneles	20,4	17,5	10,2
Ensayo de punzonamiento, mínimo (kN)	26,7	23,6	17,8

231, Separación de suelos de subrasante y capas granulares con geotextil, numeral 231.2.1.

681.3 Equipo

Se requieren, principalmente, equipos para el transporte del material de relleno y la eventual adecuación de la superficie sobre la cual se deben construir los gaviones o colchogaviones, así como herramientas manuales para las operaciones de tensionamiento, amarre y cierre de las canastas metálicas.

681.4 Ejecución de los trabajos

681.4.1 Generalidades

Los procedimientos que adopte el constructor para la construcción de gaviones y colchogaviones deben prevenir el deterioro del revestimiento de los alambres de las canastas.

681.4.2 Preparación de la superficie de apoyo

Cuando los gaviones requieran una base firme y lisa para apoyarse, esta puede consistir en una adecuación del terreno o una cimentación diseñada y construida de acuerdo con los detalles de los documentos del proyecto o lo aprobado por el interventor.

En el caso de adecuaciones del terreno, en función de los niveles definidos en los documentos del proyecto, se aplica lo contenido en los artículos 600, Excavaciones varias y 610, Rellenos para estructuras, según sea el caso.

681.4.3 Colocación del geotextil de separación sobre la superficie de apoyo

Si los documentos del proyecto así lo indican, sobre la superficie compactada se debe instalar un geotextil de separación, labor que debe adelantarse de acuerdo con lo indicado en el artículo 231, numerales 231.4.3. y 231.4.4.

681.4.4 Colocación y ensamble de las canastas

Las canastas vacías y completamente ensambladas se deben colocar en su posición final sobre la superficie preparada. Su amarre y llenado se debe realizar en su posición final; no se debe permitir el transporte de canastas llenas.

Tabla 681 – 9. Características del material granular para llenado de gaviones y colchogaviones (piedras)

Característica	Norma de ensayo	Requisito
Granulometría (F)		
- Tamaño máximo (mm) - Tamaño mínimo (mm)	(Nota 1)	200 100
Dureza (O)		
Desgaste en la máquina de los Ángeles (Gradación 1), máximo (%)	INV E-219	50
Durabilidad (O)		
Pérdidas de ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%) (Nota 2) - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	INV E-220	 12 18
Resistencia mecánica (O)		
Relación $\frac{Resistencia\ a\ la\ compresion\ simple}{Maximo\ esfuerzo\ de\ trabajo}$ - La muestra para el ensayo se obtiene tomando núcleos de piedras representativas	ASTM D7012 Método C	≥ 250
Geometría de las partículas (Nota 4)		
Partículas con relación largo / espesor mayor que tres (3), máximo (%)	-	10
Masa unitaria (F)		
Masa unitaria de las canastas llenas con agregado compactado, mínimo (kg/m^3) (Nota 4)	(Nota 3)	1 250
Absorción (O)		
Absorción de agua, máximo (%) - La muestra para el ensayo se debe obtener fragmentando una muestra representativa de las piedras	INV E-223	2,0

Nota 1: el constructor debe tener en obra unas mallas con aberturas de cien y doscientos milímetros (100 mm – 200 mm) para el control de la granulometría. En ningún caso, el material de relleno puede ser menor de diez centímetros (10 cm).

Nota 2: se puede validar el requisito de durabilidad, empleando cualquiera de los dos (2) sulfatos indicados.

Nota 3: el procedimiento constructivo que debe elaborar el constructor para aprobación de la interventoría, debe incluir un método para la verificación de la masa unitaria de las canastas llenas. El material debe presentar una adecuada distribución de tamaños para cumplir con el requisito establecido.

Nota 4: los documentos pueden especificar un valor mayor de masa unitaria de las canastas llenas con agregado compactado, por ejemplo, mil seiscientos kilogramos por metro cúbico (1 600 kg/m^3). Así mismo, se puede requerir el uso de material granular triturado para el relleno de las canastas.

Los paneles que conforman las canastas metálicas se deben amarrar a través de las cuatro (4) aristas en contacto y los diafragmas con las paredes laterales.

Antes del llenado, cada canasta se debe amarrar a las adyacentes, laterales e inferiores, a lo largo de todas las aristas en contacto, tanto horizontales como verticales y se deben poner los tirantes permanentes y temporales.

Para obtener un mejor alineamiento y terminado, se debe tensar la malla de las canastas metálicas antes del llenado, utilizando una palanca o una barra metálica; como alternativa para garantizar la regularidad del gavión o

colchogavión y facilitar su llenado, se puede utilizar una formaleta de madera en las caras que no están en contacto con otros elementos del mismo tipo.

681.4.5 Llenado y atirantado de las canastas

El proceso de llenado se debe hacer de forma que se obtengan superficies de contacto parejas y libres de bordes entrantes o salientes entre gaviones o colchogaviones; así mismo, que se cumpla con la masa unitaria definida en los documentos del proyecto o, ante ausencia de este valor, con el que se encuentra definido en la Tabla 681 – 9. Para el efecto, el material de relleno se debe colocar dentro de la canasta manualmente, distribuyendo las piedras por tamaño de la manera más compacta posible, logrando que las partículas de menor tamaño queden hacia el centro y las más grandes junto a la malla; finalmente, el material de llenado se debe apisonar por capas; no se deben dejar espacios en la parte superior de la canasta.

Durante el relleno, se deben colocar tirantes o tensores internos transversales, para volver solidarios los paneles opuestos de las canastas, así como tirantes diagonales en las esquinas, con el fin de evitar la deformación de las canastas debido a la presión ejercida por el relleno. En la Figura 681 – 4 se ilustra la disposición de estos elementos.

Las canastas de una misma fila o capa se deben rellenar por etapas, de manera que el nivel de llenado de ninguna canasta supere en más de trescientos milímetros (300 mm) el nivel de llenado de las canastas adyacentes.

Las canastas se deben llenar a tope; al cerrar la tapa, no deben quedar vacíos en la parte superior de la canasta.

681.4.6 Costura y cierre

Terminadas las operaciones de relleno, se debe instalar la tapa de la canasta sobre la base y coserla a los bordes superiores de la base y de los diafragmas. Todas las costuras o amarres deben ser realizados de forma continua, atravesando todas las mallas con el alambre, alternativamente, con una vuelta simple y una doble, como se ilustra en la Figura

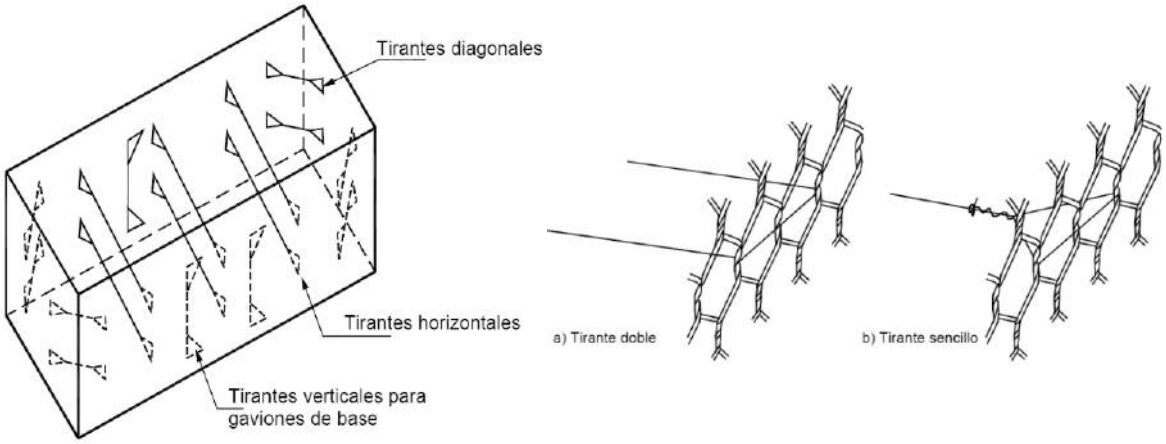


Figura 681 – 4. Disposición de tirantes o tensores

Fuente: Suárez Díaz, Jaime. (2001). Control de erosión en zonas tropicales. (p. 240)

681 – 5. Las uniones deben ser resistentes y asegurar una estructura monolítica y apta para soportar fuertes solicitaciones y deformaciones; su resistencia, debe cumplir los requisitos de la Tabla 681 – 8.

681.4.7 Colocación del geotextil de separación detrás de las canastas

Contra las caras de los gaviones o colchogaviones que van a quedar en contacto con los rellenos laterales se debe instalar un geotextil de separación; el geotextil se debe asegurar a las canastas por medios mecánicos suficientemente resistentes y convenientemente separados, de manera que el geotextil no se desplace durante la colocación y compactación de los rellenos laterales.

La colocación del geotextil se debe realizar según lo dispuesto en el numeral 231.4.4 del artículo 231.

681.4.8 Ejecución de rellenos laterales

Los rellenos laterales de las estructuras de gaviones o colchogaviones se deben adelantar a medida que avanza su construcción según el artículo 610, empleando los materiales indicados en los documentos del proyecto.

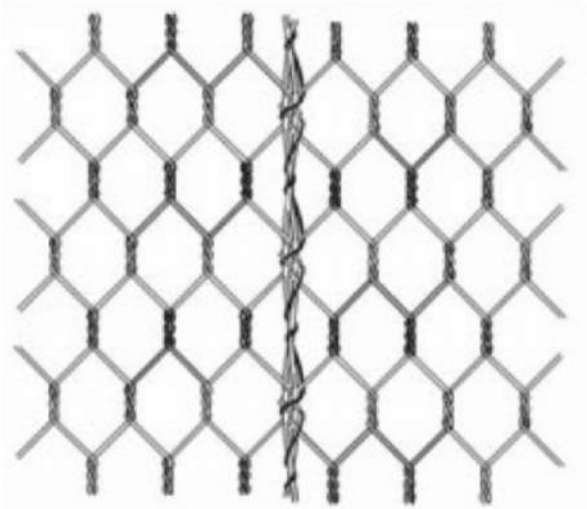


Figura 681 – 5. Detalle de las costuras o amarres

Los equipos y procedimientos deben ser los adecuados para lograr la densidad especificada en los documentos del proyecto; en el caso de uso de geotextiles de separación, los equipos y procedimientos deben lograr los requisitos de compactación sin afectar el geotextil.

681.4.9 Limitaciones en la ejecución

No se debe permitir adelantar los trabajos objeto del presente artículo, cuando la temperatura ambiente a la sombra y la de la superficie sean inferiores a dos grados Celsius (2 °C) o haya lluvia o fundado temor de que ella ocurra.

Los trabajos de construcción se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que sea aprobado por este. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

681.4.10 Manejo ambiental

Adicional a los aspectos generales indicados en al artículo 106, Aspectos ambientales, todas las labores requeridas para la elaboración de gaviones y colchogaviones de malla de alambre de acero entrelazado se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en los estudios o evaluaciones ambientales del proyecto, así como en las normas y disposiciones vigentes sobre la conservación del ambiente, los recursos naturales y protección de la comunidad.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades deben incluirse en los costos del proyecto; por tanto, no son objeto de reconocimiento directo en el contrato.

681.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

681.5.1 Controles

El plan de calidad y el de inspección, medición y ensayo son de obligatorio cumplimiento, tal como se encuentra expresado en el numeral 103.2 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor.

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Comprobar el estado y el funcionamiento del equipo utilizado por el constructor.
- Verificar el cumplimiento de las disposiciones existentes en el artículo 102, Aspectos generales de seguridad y salud.
- Comprobar que los materiales por utilizar cumplan con los requisitos de calidad estipulados en la presente especificación.
- Revisar que el alineamiento y las pendientes y dimensiones de la obra se ajusten al diseño.

El interventor debe medir, para efectos de pago, el trabajo correctamente ejecutado.

681.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

Se debe verificar que las canastas metálicas y el material de llenado satisfagan las exigencias de los documentos del proyecto y de la presente especificación y que la estructura construida esté en concordancia con los alineamientos, pendientes y secciones indicados en los documentos del proyecto y las

eventuales modificaciones aprobadas por el interventor.

681.5.2.1 Calidad de las canastas

Por cada lote de canastas y alambres complementarios que llegue a la obra, el constructor debe entregar al interventor una certificación de calidad de estos elementos, expedida por el fabricante, con los respectivos reportes de ensayos de laboratorio, los cuales deben satisfacer todos los requisitos establecidos en el numeral 681.2.1. Dicha constancia no debe evitar, en ningún caso, la ejecución de ensayos de comprobación por parte del interventor ni debe implicar, necesariamente, la aceptación de la entrega.

681.5.2.2 Tolerancias en las canastas metálicas

Las dimensiones en la abertura hexagonal de la malla de triple torsión, deben encontrarse dentro los límites establecidos en el numeral 681.2.1.4.

El ancho, la altura y la longitud de una canasta para gavión o colchogavión al ser fabricada, antes de su llenado, debe cumplir las tolerancias establecidas en el numeral 681.2.1.4.

Los diámetros de los alambres deben cumplir con los requisitos definidos en la Tabla 681 – 3 y en el numeral 681.2.1.4.

En caso de deficiencias en los materiales o en la ejecución de la obra, el constructor debe acometer, bajo su cuenta y riesgo exclusivos, sin costo adicional alguno para INVÍAS, las correcciones necesarias hasta conseguir la aprobación por parte del interventor.

681.5.2.3 Calidad de los materiales de llenado de los gaviones y colchogaviones

De cada procedencia de los agregados pétreos y para cualquier volumen previsto, se deben tomar cuatro (4) muestras y, de cada fracción de ellas, se debe verificar el cumplimiento de los requisitos establecidos en el numeral 681.2.2. Si los materiales no satisfacen la totalidad de los requisitos, estos deben ser rechazados.

En el caso en que se cambie la fuente de los materiales, se incorpore alguna nueva, u ocurran cambios en el aspecto de los materiales que puedan ser relacionados con variaciones en su comportamiento, debe ser necesario realizar un nuevo proceso de caracterización de la misma forma como se establece en el párrafo anterior.

Durante la etapa de producción, el interventor debe examinar las descargas de los acopios y ordenar el retiro de los agregados que, a simple vista, presenten restos de tierra vegetal, materia orgánica y tamaños superiores o inferiores al máximo y al mínimo especificados.

681.6 Medida

La unidad de medida de los gaviones y colchogaviones debe ser el metro cúbico (m^3), aproximado a la décima (0,1). El volumen se debe determinar sumando los volúmenes de las canastas de gavión o colchogavión, según corresponda, instaladas y aprobadas por el interventor. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

No se deben medir cantidades en exceso de las recién indicadas.

Se deben medir por aparte, para pago, las excavaciones y los rellenos requeridos para la preparación de la fundación, los rellenos laterales y los geotextiles

681.7 Forma de pago

El pago se debe hacer al precio unitario del contrato por toda obra ejecutada de acuerdo con los documentos del proyecto, la presente especificación y según lo que sea aprobado por el interventor.

El precio unitario debe cubrir todos los costos por concepto de equipos, herramientas y mano de obra; suministro e instalación de las canastas; la extracción, preparación y suministro de los materiales para el llenado de los gaviones o colchogaviones; la construcción o adecuación de las vías de acceso a las fuentes, la obtención de los permisos y derechos de explotación; la adecuación de las fuentes al terminar la explotación para recuperar sus características hidrológicas superficiales, el cargue, transporte y descargue de los fragmentos de roca; el llenado, amarre y anclaje de los gaviones o colchogaviones; y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución de los trabajos, de acuerdo con los documentos del proyecto, la presente especificación y según lo que sea aprobado por el interventor.

El precio unitario debe incluir, también, los costos por concepto del suministro e instalación de abrazaderas, alambre, separadores, silletas de alambre o cualquier otro elemento utilizado para sostener y mantener el gavión o el colchogavión en su sitio, así como la señalización preventiva de la vía y el ordenamiento del tránsito automotor durante la ejecución de los trabajos.

El precio unitario debe cubrir, igualmente, los costos de administración, imprevistos y la utilidad del constructor.

Se deben pagar independientemente las excavaciones y rellenos requeridos para la preparación de la fundación, los rellenos laterales y los geotextiles, de acuerdo con los siguientes artículos:

- Artículo 600.
- Artículo 610.
- Artículo 231.

681.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
681.1	Gaviones o colchogaviones de malla de alambre de acero entrelazado estilo 1: recubrimiento de zinc (galvanizado)	Metro cúbico (m^3)
681.2	Gaviones o colchogaviones de malla de alambre de acero entrelazado estilo 2: recubrimiento de aleación Zn-5Al-MM	Metro cúbico (m^3)
681.3	Gaviones o colchogaviones de malla de alambre de acero entrelazado estilo 3: recubrimiento de zinc (galvanizado) y PVC	Metro cúbico (m^3)
681.4	Gaviones o colchogaviones de malla de alambre de acero entrelazado estilo 4: recubrimiento de aluminio (aluminizado)	Metro cúbico (m^3)
681.5	Gaviones o colchogaviones de malla de alambre de acero entrelazado estilo 5: recubrimiento de aleación	Metro cúbico (m^3)

Muros de tierra estabilizada mecánicamente con geosintéticos

Artículo 683 – 22

683.1 Descripción

Este trabajo consiste en la construcción de muros de tierra estabilizada mecánicamente con geosintéticos, en los sitios y con las dimensiones definidas en los documentos del proyecto y aprobados por el interventor.

683.2 Materiales

683.2.1 Geosintéticos

Los geosintéticos por emplear en las capas de refuerzo y en las fachadas pueden ser geotextiles tejidos o geomallas. Los tipos y las propiedades requeridas de los geosintéticos deben ser los establecidos en los documentos del proyecto; por ello, las propiedades de los geosintéticos relacionadas con los requisitos de diseño deben ser, como mínimo, las indicadas en la Tabla 683 – 1.

Las propiedades de los geosintéticos se expresan en general en términos de Valores Mínimos Promedio por Rollo (VMPR). El VMPR es una herramienta de control de calidad que le permite a los fabricantes establecer los valores en sus certificados de manera que el

Tabla 683 – 1. Propiedades de los geosintéticos relacionadas con los requisitos de diseño

Propiedad	Norma de ensayo o guía	Requisito
Resistencia a la tensión última en la dirección del refuerzo, mínimo (kN/m) - Geotextiles - Geomallas	NTC 3334 (ASTM D4595) NTC 5492 (ASTM D6637)	Según lo establecido en los documentos del proyecto
Resistencia a la tensión a largo plazo en la dirección del refuerzo, mínimo (kN/m)	Numeral 683.2.1.1.	Según lo establecido en los documentos del proyecto
Resistencia de las uniones o nodos de las geomallas	ASTM D7737	Según lo establecido en los documentos del proyecto
Coeficiente de interacción geosintético/suelo por extracción para el tipo de relleno contemplado en el proyecto, mínimo	ASTM D6706	0,85
Coeficientes de deslizamiento pico y residual en la interfaz geosintético/suelo, para el tipo de relleno contemplado en el proyecto, mínimo	NTC 4847 (ASTM D5321)	Según lo establecido en los documentos del proyecto
Estabilidad ultravioleta: Resistencia retenida después de quinientas horas (500 h) de exposición, valor mínimo (%)	NTC 3300 (ASTM D4355)	70

comprador tenga un nivel de confianza del noventa y siete coma siete por ciento (97,7 %) de que las propiedades, medidas sobre el producto que compra, cumplen con los valores certificados. Para datos que tengan una distribución normal, el VMPR se calcula como el valor promedio menos dos (2) veces la desviación estándar, cuando se especifican valores mínimos, o más dos (2) veces la desviación estándar, si se especifican valores máximos. Esta consideración es válida para datos provenientes del mismo método de ensayo y asociados a una misma propiedad.

Los valores promedio de los resultados de los ensayos practicados a cualquier rollo, deben satisfacer los requisitos establecidos en el presente artículo.

683.2.1.1 Resistencia a largo plazo

Los valores de resistencia a largo plazo de los geosintéticos deben cumplir los requisitos establecidos en los documentos del proyecto; estos valores se deben determinar a partir de la resistencia última, aplicando los factores de reducción [683.1] definidos mediante ensayos, según los procedimientos descritos en el documento WSDOT T925 – *Standard practice for determination of long-term strength for Geosynthetic reinforcement.*

$$RF = RF_{ID} \times RF_{CR} \times RF_{D} \quad \textbf{[683.1]}$$

Siendo:

RF, factor de reducción de resistencia combinado, que tiene en cuenta el potencial de degradación a largo plazo debido a daños de instalación, fluencia y degradación química y biológica.

RF_{ID}, factor de reducción de resistencia para tener en cuenta los daños de instalación.

RF_{CR}, factor de reducción de resistencia para prevenir la rotura del refuerzo a largo plazo por fluencia (creep).

RF_{D}, factor de reducción de resistencia para prevenir la rotura del refuerzo por degradación química y biológica.

El constructor debe entregar las certificaciones de los ensayos efectuados, suministradas por el proveedor del geosintético, para determinar los factores de reducción específicos para las condiciones del proyecto.

En ausencia de estos ensayos, se deben adoptar los valores para los factores de reducción según los siguientes documentos:

- Norma Colombiana de Diseño de Puentes – LRFD – CCP 14: en caso de que la estructura se ajuste a los criterios para el uso de un único factor de reducción por defecto (RF), definidos en la sección 11.
- En los casos en que no se permita la adopción de un único factor de reducción por defecto (RF), ·según los criterios establecidos en la sección 11 de la Norma Colombiana de Diseño de puentes – LRFD – CCP 14:
  - FHWA-NHI-10-024. Diseño y construcción de muros de tierra estabilizada mecánicamente y taludes de suelos reforzado – Volumen I.
  - FHWA-NHI-10-025. Diseño y construcción de muros de tierra estabilizada mecánicamente y taludes de suelos reforzado – Volumen II.

Así mismo, se deben tener en cuenta los criterios indicados en las siguientes publicaciones:

- AASHTO LRFD *Bridge Design Specifications, Customary U.S. Units*.
- GRI GG4(a). *Determination of the Long-Term Design Strength of Stiff Geogrids* (Nota).
- GRI GG4(b). *Determination of the Long-Term Design Strength of Flexible Geogrids*.
- GRI GT7 *Determination of Long-Term Design Strength of Geotextiles*.

Nota: GRI método de ensayo del *Geosynthetic Research Institute*.

Para la determinación de los factores de reducción se deben tener en cuenta, además, las consecuencias que pueda tener la falla o el comportamiento deficiente del geosintético, según los criterios establecidos en los documentos de la AASHTO y la FHWA citados anteriormente.

Algunas de las pautas que se deben tener en cuenta para la selección de los factores de reducción son:

- Para geosintéticos que cuenten con todos los ensayos y pruebas específicas para el producto, relacionados con daños durante la instalación, fluencia (creep) y degradación (química y biológica), el valor de reducción de resistencia combinado (RF), debe estar típicamente entre tres (3) y seis (6). En ningún caso, este valor debe ser menor que dos (2).
- Para geosintéticos que no cuenten con todos los ensayos y pruebas específicas para el producto, como soporte para la determinación de los factores de reducción, y sea necesario emplear valores por defecto, el valor de RF no debe ser menor que siete (7).
- El período de diseño para la selección de los factores de reducción debe ser el definido en los documentos del proyecto, pero no debe ser menor de cien (100) años para obras permanentes.
- El factor de reducción por daños durante la instalación (RF_{ID}), se debe escoger en función del tipo de material de relleno por emplear.
- En cualquier caso, los valores del factor de reducción por daños durante la instalación (RF_{ID}) y el factor de reducción de resistencia para prevenir la rotura del refuerzo por degradación química y biológica (RF_D), no pueden ser menores a uno coma uno (1,1).

683.2.1.2 Empalmes en la dirección del refuerzo

Si los documentos del proyecto contemplan la ejecución de empalmes en la dirección del refuerzo (costuras de geotextiles o empalmes mecánicos de geomallas), las resistencias última y a largo plazo a la tensión, de esos empalmes, en la dirección perpendicular al empalme, deben cumplir con los valores especificados en la Tabla 683 – 1. La medición de la resistencia última y el cálculo de la resistencia a largo plazo de los empalmes se deben realizar con los mismos procedimientos de ensayo y análisis que se emplean para determinar las resistencias del geosintético.

683.2.1.3 Documentación de soporte de la resistencia a largo plazo

Para la aprobación de los geosintéticos de refuerzo, el fabricante o proveedor debe suministrar la información sobre las propiedades que se mencionan en la Tabla 683 – 2, relacionada con la resistencia a largo plazo para diseño.

Tabla 683 – 2. Información de soporte para la determinación de la resistencia a largo plazo de los geosintéticos

Propiedad	Método o norma de ensayo
Comportamiento en fluencia para un rango de niveles de carga, para una duración mínima de diez mil horas (10 000 h)	AASHTO R 69 NTC 4853 (ASTM D5262)
Resultados de ensayos de laboratorio y metodología para la extrapolación de los datos de fluencia para setenta y cinco (75) y cien (100) años	AASHTO R 69
Resistencia última a la tensión - Geotextilles. - Geomallas. Los ensayos se deben ejecutar a una tasa de diez por ciento (10 %) por minuto	NTC 3334 (ASTM D4595) NTC 5492 (ASTM D6637)
Resultados de ensayos de laboratorio y técnicas de extrapolación que documenten las siguientes características para todos los componentes del geosintético: - Resistencia a la hidrólisis del poliéster (PET). - Resistencia a la oxidación del polipropileno (PP) y polietileno de alta densidad (HDPE). - Resistencia al agrietamiento por esfuerzos del polietileno de alta densidad (HDPE). - Factores de seguridad parciales por degradación por envejecimiento para setenta y cinco (75) y cien (100) años	AASHTO R 69
Resultados de ensayos de campo y laboratorio, así como criterios utilizados de la literatura especializada, que soporten los factores de reducción por deterioro en la instalación en función de la gradación del material de relleno	AASHTO R 69 Documento FHWA NHI-10-025 Vol. II
Resultados de ensayos de laboratorio y metodología para la extrapolación que documenten la resistencia a la degradación biológica de todos los materiales que componen el geosintético y los valores de reducción correspondiente (Nota)	AASHTO R 69 Documento FHWA NHI-10-025 Vol. II
Resistencia de las uniones o nodos de las geomallas	ASTM D7737

Propiedad	Método o norma de ensayo
Coeficientes de interacción geosintético/suelo por extracción para varios tipos de suelo	ASTM D6706
Coeficientes de deslizamiento en las interfaces geosintético/suelo, para varios tipos de suelos, y geosintético/geosintético	NTC 4847 (ASTM D5321)
Información sobre la resina primaria usada en la fabricación del geosintético - Resina tipo polietileno de alta densidad (HDPE). - Resina tipo polipropileno (PP): identificación de grupo, clase y grado. - Resina tipo poliéster (PET): viscosidad intrínseca mínima	 ASTM D1248 NTC 2966 (ASTM D4101) ASTM D4603
Estabilidad ultravioleta: Resistencia retenida después de quinientas horas (500 h) de exposición, valor mínimo (%)	NTC 3300 (ASTM D4355)

Nota: para proyectos con riesgo de que se presente degradación biológica.

683.2.1.4 Control de calidad de la producción

El fabricante de los geosintéticos debe contar con un proceso de producción que incluya un sistema de gestión de la calidad certificado bajo la norma ISO 9001. El laboratorio, propio o externo, que se use para realizar los ensayos de control de calidad de la producción, debe estar acreditado bajo la norma ISO/IEC 17025 o contar con una acreditación *Geosynthetic Accreditation Institute - Laboratory Accreditation Program* (GAI-LAP) del *Geosynthetic Institute* (GSI).

El fabricante o proveedor debe suministrar el programa de control de calidad y los datos de soporte, en el que se indiquen los requisitos de

Tabla 683 – 3. Criterios mínimos de aceptación que debe contemplar el programa de control de calidad del fabrican-

Propiedad	Norma de ensayo
Resistencia a la tensión - Geotextiles: resistencia en tira ancha. - Geomallas: resistencia individual de las costillas	 NTC 3334 (ASTM D4595) NTC 5492 (ASTM D6637)
Resistencia de las uniones o nodos de las geomallas	ASTM D7737
Productos de polietileno de alta densidad (HDPE) - Gravedad específica - Índice de fluidez	 NTC 3577 (ASTM D1505) NTC 3576 (ASTM D1238)
Productos de polipropileno (PP) - Índice de fluidez	 NTC 3576 (ASTM D1238)
Resina de poliéster (PET) - Viscosidad intrínseca	 ASTM D4603

ensayos, los métodos de ensayo, la frecuencia de los ensayos, los criterios de aceptación en la fabricación y el tamaño del lote para la evaluación de cada producto. Los criterios de aceptación contemplados en el programa de control de calidad del fabricante deben incluir, como mínimo, las propiedades indicadas en la Tabla 683 – 3, evaluadas bajo las normas de ensayo allí citadas.

683.2.1.5 Geotextiles

En general, se pueden emplear geotextiles tejidos elaborados a partir de polímeros sintéticos de cadena larga, compuestos de un porcentaje mínimo del noventa y cinco por ciento (95 %) en masa de poliolefinas o poliéster. Las fibras del geotextil deben conformar una red estable que mantenga la estabilidad dimensional entre ellas, incluyendo los bordes. El geotextil debe permitir el libre paso del agua en todo momento.

El geotextil debe ser fabricado con al menos un noventa y cinco por ciento (95 %) de resina virgen, complementando con un máximo de cinco por ciento (5 %) de material remolido en planta. La resina de poliéster debe tener una masa molecular mínima de veinticinco mil gramos por mol (25 000 g/mol) (norma ASTM D4603) y un número de grupo carboxilo final máximo de treinta (30) (norma ASTM D7409); los productos de polietileno y polipropileno deben estabilizarse con antioxidantes de largo plazo.

De igual manera, las propiedades mecánicas por supervivencia y las propiedades hidráulicas deben ser las establecidas en los documentos del proyecto; en este numeral se indican las propiedades mínimas que debe tener el geotextil.

683.2.1.5.1 Propiedades mecánicas por supervivencia a la instalación

Las propiedades mecánicas para condiciones normales de instalación se especifican en la Tabla 683 – 4, en términos de VMPR.

683.2.1.5.2 Propiedades hidráulicas

El geotextil de refuerzo debe ser permeable y debe permitir el flujo libre del agua dentro del

Tabla 683 – 4. Propiedades mecánicas del geotextil por supervivencia en términos de VMPR (Medidas en el sentido más débil del geotextil)

Propiedad	Norma de ensayo	Requisito
Elongación, valor máximo (%)	NTC 1998 (ASTM D4632)	50
Peso por unidad de área, mínimo (g/m²)	NTC 1999 (ASTM D5261)	270
Resistencia a la tensión Grab, valor mínimo (N)	NTC 1998 (ASTM D4632)	1 400
Resistencia de la costura a tensión Grab, valor mínimo (N)	NTC 1998 (ASTM D4632)	1 260
Resistencia a la penetración con pistón de cincuenta milímetros (50 mm) de diámetro, valor mínimo (N)	NTC 5289 (ASTM D6241)	2 750
Resistencia al rasgado trapezoidal, valor mínimo (N). (Nota)	NTC 2003 (ASTM D4533)	500

Nota: el VMPR para la resistencia al rasgado trapezoidal de los geotextiles tejidos monofilamento debe ser de doscientos cincuenta newtons (250 N).

relleno, sin atraparla ni generar empozamientos. Salvo que los documentos del proyecto indiquen algo diferente, las propiedades hidráulicas a cumplir por el geotextil se indican en la Tabla 683 – 5, en términos de VMPR.

Tabla 683 – 5. Propiedades hidráulicas del geotextil en términos de VMPR

Propiedad	Norma de ensayo	Requisito
Permitividad, valor mínimo (s^{-1})	NTC 3541 (ASTM D4491)	0,5
Permeabilidad	NTC 3541 (ASTM D4491)	Según lo establecido en los documentos del proyecto. Debe ser mayor que la permeabilidad del suelo.

permitir una adecuada trabazón mecánica con los materiales de relleno. La geomalla debe ser capaz de mantener su estabilidad dimensional durante su instalación y el tránsito normal de construcción que circule sobre la capa de relleno que se coloque sobre ella. Debe resistir el daño durante la construcción, la degradación ultravioleta y debe tener resistencia a largo plazo a la degradación química y biológica.

La geomalla debe ser fabricada con por lo menos un noventa y cinco por ciento (95 %) en masa de resina virgen consistente en cadenas largas de polietileno, polipropileno o poliéster, complementada con un máximo de cinco por ciento (5 %) de material remolido en planta. La resina de poliéster debe tener una masa molecular mínima de veinticinco mil gramos por mol (25 000 g/mol) (norma ASTM D4603) y un número de grupo carboxilo final máximo de treinta (30) (norma ASTM D7409). Los productos de polietileno y polipropileno deben ser estabilizados con antioxidantes de largo plazo.

683.2.1.6 Geomallas

La geomalla debe tener una geometría regular de elementos resistentes a la tensión interconectados, con apertura suficiente para

El fabricante debe documentar la supervivencia de las uniones a la instalación, mediante pruebas a escala real, según la NTC 5015 (ASTM D5818), que demuestren su integridad bajo las condiciones del proyecto (suelo de apoyo, espesor de capas, materiales de relleno, equipo de construcción). La geomalla se debe cubrir con una capa de material de relleno de quince centímetros (15 cm) de espesor mínimo y se debe someter al paso repetido de una volqueta cargada hasta producir un ahuellamiento de diez centímetros (10 cm). El informe de las pruebas debe incluir un registro fotográfico de la geomalla recuperada, que muestre claramente que las uniones no se han desplazado ni sufrido deterioro alguno durante el proceso de instalación.

683.2.1.7 Suministro y manejo de los geosintéticos

El geosintético que se suministre debe estar debidamente empacado. La identificación, el

almacenamiento y el manejo de los rollos de geosintético se deben realizar según lo dispuesto en la norma ASTM D4873.

El vehículo en el que se transporten los rollos de geosintético debe tener la longitud necesaria para proporcionarles apoyo continuo y evitar que se flexionen y dañen durante el traslado.

En el transporte (carga y descarga) de los rollos de geosintético se debe evitar que se produzcan daños mecánicos en los rollos (pinchazos, cortes, etc.).

Los rollos de geosintético se deben almacenar horizontalmente, preferiblemente, en sitios cubiertos y protegidos de la luz solar y la humedad. Adicionalmente, si el almacenamiento se hace a la intemperie, el empaque debe ser opaco e impermeable y los rollos de geosintético se deben colocar elevados sobre soportes o estantes y no sobre el piso. En todo caso, se deben evitar temperaturas superiores a setenta grados Celsius (70 °C).

Los rollos de geosintético deben ser almacenados preferiblemente en sitios cercanos al frente de trabajo, sobre superficies planas y libres de piedras u otros objetos que puedan dañarlos.

No se debe almacenar ningún rollo o fracción que haya resultado dañado o no esté debidamente identificado.

Los rollos de geosintéticos no deben ser arrastrados, izados por un extremo, levantados por medio de cables o cadenas o lanzados al piso.

En todo caso, se deben tener en cuenta las indicaciones adicionales consignadas en la ficha técnica del producto suministrada por el fabricante para el transporte y almacenamiento de los geosintéticos.

683.2.2 Elementos especiales de fachada

Los documentos del proyecto pueden especificar elementos de fachada diferentes a los geosintéticos de fachada, tales como los establecidos en el numeral 3.6 del documento FHWA NHI-10-025 Vol. II.

Estos elementos se deben definir mediante especificación particular, junto con sus elementos de sujeción a los geosintéticos; la especificación particular debe indicar, también, los requisitos de resistencia a largo plazo para las uniones de los elementos especiales de fachada con los geosintéticos y los procedimientos y las normas para su evaluación, teniendo en cuenta los criterios y métodos establecidos en el documento FHWA NHI-10-025 Vol. II, apéndice B.

683.2.3 Material de relleno

Los documentos del proyecto deben definir los requisitos que debe cumplir el material de relleno, el cual puede ser: material granular tipo SBG (artículo 610, Relleno para estructuras, numeral 610.2.3), material granular tipo BG (artículo 610, numeral 610.2.3) o un material alternativo que cumpla con los requisitos de la Tabla 683 – 6. No se debe permitir el uso de residuos de construcción y demolición o cualquier otro material reciclado.

Tabla 683 – 6. Requisitos para material alternativo de relleno

Característica	Norma de ensayo INV	Requisito
Tamaño máximo, (mm)	E-123	19,0
Material que pasa a través del tamiz de 0,075 mm, máximo (%)	E-123	15
Desgaste en la máquina de los Ángeles, máximo (%)	E-218	50
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%) - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	E-220	 12 18
Límite líquido, máximo (%)	E-125	25
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	6
Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	25
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%)	E-211	2
Índice de alargamiento y aplanamiento, máximo (%)	E-230	35
Caras fracturadas (una cara), mínimo (%)	E-227	50

El pH del material de relleno, determinado según la norma de ensayo AASHTO T 289, debe estar entre cinco (5) y diez (10). El contenido de materia orgánica, determinado según la norma de ensayo INV E-121 o la UNE103204 para la porción de material que pasa el tamiz de 2,00 mm (nro. 10), no puede ser mayor que cero coma dos por ciento (0,2 %).

683.2.4 Materiales accesorios

Los materiales accesorios, tales como grapas, arandelas, elementos de fijación y demás elementos necesarios para la instalación del geosintético y su conexión con los elementos de fachada, deben cumplir con los requisitos establecidos por la ficha técnica del producto suministrada por el fabricante.

683.3 Equipo

Se debe disponer de los equipos necesarios para instalar los geosintéticos correctamente, así como de elementos de corte y costura y, además, de todos aquellos que se requieran para explotar, procesar, cargar, transportar, extender y compactar el material de relleno, de conformidad con esta especificación y los documentos del proyecto.

El equipo que se debe usar para compactar las capas de relleno sobre el geosintético debe ser acorde con la clase del geosintético, el espesor de capa y las características de los materiales de apoyo y relleno.

Para la colocación del geosintético de fachada, el contratista debe suministrar formaletas metálicas o de madera suficientemente fuertes para resistir la compactación del material adyacente.

683.4 Ejecución de los trabajos

683.4.1 Generalidades

Durante el transporte y el almacenamiento, los geosintéticos deben tener empaques que los protejan de la acción de los rayos ultravioleta, agua, barro, polvo y otros materiales que puedan afectar sus propiedades.

El constructor debe presentar al interventor, para su aprobación, los planos detallados de disposición de los geosintéticos y los elementos de fachada, secuencias y procedimientos constructivos, con los detalles de los empalmes (traslapos, empalmes mecánicos, etc.), con anticipación no menor a siete días (7 d) respecto del inicio de la instalación del geosintético.

Los trabajos se deben efectuar con una adecuada coordinación entre las actividades de colocación del geosintético y la colocación, conformación y compactación del material de relleno, de manera que el geosintético quede expuesto el menor tiempo posible.

683.4.2 Preparación del terreno

Antes de iniciar la construcción de los muros de tierra mecánicamente estabilizada con geosintéticos, el terreno de apoyo debe ser preparado como se indica en el numeral 220.4.2 del artículo 220, Terraplenes.

La superficie debe quedar nivelada y debe ser firme. La firmeza se comprueba por medio del paso de una volqueta completamente cargada. Toda zona débil debe ser excavada y reemplazada con un suelo adecuado y compactado. La superficie preparada del terreno debe ser inspeccionada y aprobada por el interventor.

La superficie del terreno de apoyo preparado debe estar libre de rocas, piedras grandes u otros elementos que puedan deteriorar el geosintético.

Además, se deben adelantar las labores adicionales de preparación del terreno que indiquen los documentos del proyecto. Para el caso de sistemas de elementos prefabricados de fachada, los documentos deben indicar el sistema de apoyo en concreto que se requiere instalar a nivel de cimentación.

683.4.3 Colocación de los geosintéticos

683.4.3.1 Extensión

El geosintético de refuerzo se debe instalar de acuerdo con las recomendaciones consignadas en la ficha del producto suministrada por el fabricante. Se debe colocar entre las capas de relleno compactado, según lo indicado en los documentos del proyecto, con los ajustes y modificaciones que apruebe el interventor.

Los rollos se deben extender en la dirección del refuerzo principal, perpendiculares al talud (vista en planta), sobre la superficie compactada y aceptada del terreno de apoyo o de la capa subyacente de relleno, sin arrugas o dobleces. No se deben permitir empalmes en la dirección del refuerzo, a no ser que estos se muestren en los documentos del proyecto. Los geosintéticos se deben instalar según las cotas de los documentos del proyecto, sin que difieran de estas en más de cincuenta milímetros (50 mm) y en una longitud nunca menor que la señalada en ellos.

El geosintético se debe templar manualmente y asegurar a la superficie para mantener la tensión y prevenir movimientos durante la colocación del relleno. La sujeción a la superficie se debe hacer según las recomendaciones consignadas en la ficha técnica del producto, por medio de grapas o elementos similares.

Los rollos adyacentes se deben colocar con o sin traslapos entre ellos o con conexiones mecánicas entre ellos, según lo indiquen los documentos del proyecto. En ausencia de información, se debe adoptar la recomendación del fabricante. Las conexiones mecánicas (costuras de geotextiles o ganchos en geomallas, etc.) se deben hacer usando los materiales y siguiendo las recomendaciones consignadas en la ficha técnica del producto.

El traslapo (mínimo de quince centímetros (15 cm)) o conexión mecánica entre rollos adyacentes, es indispensable cuando los documentos del proyecto indiquen que el geosintético debe envolver la superficie del talud. Las conexiones mecánicas (costuras de geotextiles o ganchos en geomallas, etc.) deben hacerse usando los materiales y siguiendo las recomendaciones del fabricante del geosintético.

No se debe permitir que el geosintético quede expuesto, sin cubrir, por un lapso mayor a tres días (3 d).

En ninguna circunstancia se debe permitir la circulación de equipos sobre el geosintético antes de que esté cubierto con una capa de relleno de por lo menos quince centímetros (15 cm) de espesor. Se debe evitar el frenado brusco o los giros cerrados que ocasionen algún desplazamiento del material de relleno.

683.4.3.2 Empalmes

No se deben permitir los empalmes de geosintéticos en la dirección del refuerzo, a no ser que su uso se encuentre expresamente indicado en los documentos del proyecto.

En caso de que estén contemplados en los documentos del proyecto, los empalmes (costuras de geotextiles o empalmes mecánicos de geomallas) se deben realizar según las recomendaciones consignadas en la ficha técnica del producto y deben cumplir los requisitos de capacidad última y a largo plazo establecidos en el numeral 683.2.1.2.

683.4.4 Colocación del material de relleno

El relleno se debe colocar por capas sensiblemente horizontales. La operación de extensión del material de relleno sobre el geosintético se debe realizar cuidadosamente, empleando un método que no dé lugar a daños en el mismo. No se debe permitir el tránsito de maquinaria sobre el geosintético hasta que se conforme y se compacte adecuadamente la primera capa de relleno sobre el mismo. En el caso de geotextiles, no se debe permitir el giro de maquinaria sobre la primera capa de relleno sobre él.

El espesor de la primera capa compactada de material de cobertura sobre el geosintético debe estar definido en los documentos del proyecto, en función de la granulometría del material, de las características del geosintético y del equipo de compactación. En general, para materiales pétreos de tamaño máximo igual o mayor a treinta milímetros (≥ 30 mm), el espesor de la primera capa compactada de

material de cobertura debe ser de veinte centímetros como mínimo (≥ 20 cm); para materiales pétreos de tamaño máximo menor de treinta milímetros (< 30 mm), el espesor de la primera capa compactada debe ser de quince centímetros como mínimo (≥ 15 cm).

El material de relleno se debe compactar con el equipo adecuado, hasta lograr el grado de compactación definido en el numeral 683.5.2.3.2, antes de comenzar las labores de colocación de la siguiente capa. El relleno se debe llevar a cabo hasta la cota indicada en los documentos del proyecto.

En la cercanía de la cara del muro uno o uno coma cinco metros (1 m o 1,5 m), se debe utilizar equipos manuales para garantizar la adecuada compactación de esta zona; en este caso, se debe reducir el espesor de capas para que los equipos manuales permitan alcanzar el grado de compactación especificado.

683.4.5 Construcción de la fachada del muro

En los documentos del proyecto se debe indicar el sistema de fachada del muro de tierra estabilizado mecánicamente con geosintéticos. En ningún caso, los geosintéticos que envuelven la cara del talud deben quedar expuestos a la intemperie.

683.4.5.1 Empradización de la cara del talud con bloques de césped

Los documentos del proyecto pueden requerir que la fachada sea empradizada mediante la instalación de bloques de césped contra los geosintéticos de fachada, que en este caso deben ser geomallas, para que permitan que el césped atraviese sus espacios libres.

Los bloques de césped deben cumplir los requisitos establecidos en el artículo 810, Protección vegetal de taludes, numeral 810.2.1, y se deben instalar, regar y conservar según lo indicado en el numeral 810.4 del mismo artículo.

683.4.5.2 Protección de la cara del talud con malla y mortero

Si los documentos del proyecto indican que la cara del talud se debe proteger con malla de alambre de acero y mortero de cemento hidráulico, el trabajo correspondiente se debe ejecutar según el artículo 812, Recubrimiento de taludes con malla y mortero.

683.4.5.3 Fachada en gaviones de malla de alambre de acero entrelazado

Si los documentos del proyecto especifican que la fachada se debe construir con gaviones de malla de alambre de acero entrelazado, los materiales y el trabajo correspondiente deben atender lo especificado en el artículo 681, Gaviones y colchogaviones de malla de alambre de acero entrelazado. La conexión entre los geosintéticos de refuerzo y los gaviones debe ser por la fricción que se desarrolla en la longitud de geosintético que se coloque entre gaviones verticales adyacentes, según los detalles de los documentos del proyecto.

683.4.5.4 Colocación de elementos especiales de fachada

Si los documentos del proyecto especifican que la fachada se debe construir con bloques especiales de concreto provistos de elementos de sujeción a los geosintéticos de refuerzo,

las características de los bloques y los elementos, así como su instalación, se deben definir mediante especificación particular. En este caso, en la especificación particular se deben precisar también las características del sistema de apoyo que requiere esta fachada a nivel de cimentación, como viga de concreto o similar.

683.4.6 Control del tránsito

El constructor debe contar con un PMT e instalar todos los elementos de señalización preventiva en la zona de los trabajos, de acuerdo con lo establecido en el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte, los cuales deben garantizar la seguridad permanente tanto del personal y de los equipos de construcción, como de los usuarios y transeúntes, durante las veinticuatro horas (24 h) del día.

Para actividades que no impliquen el cierre total de la vía, el interventor debe dar su visto bueno previo a la presentación de un PMT. Para casos que impliquen el cerramiento total de la vía, se deben tramitar los permisos correspondientes ante la autoridad competente y se debe presentar el PMT aprobado por el interventor.

683.4.7 Limitaciones en la ejecución

No se debe permitir adelantar los trabajos objeto del presente artículo, cuando la temperatura ambiente a la sombra y la de la superficie sean inferiores a dos grados Celsius (2 °C) o haya lluvia o fundado temor de que ella ocurra.

Los trabajos de construcción se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que sea aprobado por este. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y, debe poner a disposición de la obra, el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

683.4.8 Manejo ambiental

Adicional a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las labores requeridas para la construcción de muros de tierra estabilizada mecánicamente con geostintéticos, se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en los estudios y evaluaciones ambientales del proyecto, así como en las normas y disposiciones vigentes sobre conservación del ambiente, los recursos naturales y la protección de la comunidad.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades deben incluirse en los costos del proyecto; por tanto, no son objeto de reconocimiento directo en el contrato.

683.4.9 Reparaciones

Antes de ser cubierto, el geotextil colocado debe ser inspeccionado en busca de posibles daños de instalación. En caso de que los hubiese, estos se deben reparar inmediatamente, cubriéndolos con un paño de geotextil que se debe extender como mínimo setenta y cinco centímetros (75 cm) alrededor de toda la zona dañada.

Todos los defectos que se presenten en la extensión, en los traslapos, en las uniones, en los elementos de sujeción, en los cortes de los geosintéticos; en la extensión y compactación del material de relleno; en la instalación de los materiales de fachada, así como los que se deriven de un incorrecto control del tránsito recién terminados los trabajos, deben ser corregidos por el constructor bajo su propia cuenta y riesgo, de acuerdo con los documentos del proyecto y lo aprobado por el interventor.

683.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

683.5.1 Controles

El plan de calidad y el plan de inspección, medición y ensayo son de obligatorio cumplimiento tal como se encuentra expresado en el numeral 103.2 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor.

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles:

- Iderificar el estado y el funcionamiento de todo el equipo de construcción.
- Constatar el cumplimiento de las disposiciones existentes en el artículo 102, Aspectos generales de seguridad y salud.
- Revisar que cada rollo de geosintético tenga en forma clara la información del fabricante, el número del lote y la referencia del producto, así como su composición química.
- Comprobar que, durante el transporte y el almacenamiento, los geosintéticos tengan los empaques que los protejan de la acción de los rayos ultravioleta, agua, barro, polvo, y otros materiales que puedan afectar sus propiedades.
- Corroborar que el sistema de almacenamiento garantice la protección de los geosintéticos contra cualquier tipo de deterioro.
- Supervisar la correcta aplicación del método aceptado en cuanto a la colocación del geosintético de refuerzo, del geosintético de fachada, de los bloques de césped (si es el caso) y la construcción de las capas de relleno.
- Confirmar que los diferentes niveles de geosintéticos sean colocados con las separaciones definidas en los documentos del proyecto, de acuerdo con los procedimientos aceptados por el interventor.
- Efectuar ensayos de control sobre el geosintético, en un laboratorio independiente al del fabricante o proveedor. Los ensayos de control relacionados con el geosintético se deben efectuar de conformidad con lo establecido en las normas NTC 2437 (ASTM D4354) y NTC 4805 (ASTM D4759).
- Realizar ensayos de control sobre el material de relleno.
- Comprobar la compactación de las capas de relleno.

El interventor debe medir, para efectos de pago, el trabajo correctamente ejecutado.

683.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

683.5.2.1 Calidad del geosintético

Por cada lote de rollos que llegue a la obra, el constructor debe entregar al interventor una certificación expedida por el fabricante del geosintético, donde se establezca el nombre del producto, la composición química y toda la información que lo describa, así como los resultados de los ensayos de calidad efectuados sobre muestras representativas de la entrega, los cuales deben satisfacer todas las condiciones establecidas en los documentos del proyecto o en las Tablas 683 – 1, 683 – 4 y 683 – 5, según los que prevalezcan. El interventor no debe aceptar el empleo de suministros de geosintéticos que no se encuentren respaldados por la certificación del fabricante. Dicha constancia no debe evitar, en ningún caso, la ejecución de ensayos de comprobación por parte del interventor, ni debe implicar necesariamente la aceptación de la entrega.

Además, el interventor debe escoger al azar un número de rollos equivalente a la raíz cúbica del número total de rollos que conformen el lote. Se deben evaluar rollos estándar con un área entre cuatrocientos y seiscientos metros cuadrados (400 m^2 – 600 m^2) cada uno. En el caso de rollos con áreas diferentes, el total de metros cuadrados se debe convertir a unidades de rollos equivalentes de quinientos metros cuadrados (500 m^2).

De cada rollo se deben descartar las dos (2) primeras vueltas de geosintético para el muestreo. Posteriormente, se debe tomar una

Tabla 683 – 7. Pruebas de verificación de la calidad del geotextil

Propiedad	Norma de ensayo
Propiedades de refuerzo	
Resistencia última a la tensión en prueba de tira ancha (kN/m)	NTC 3334 (ASTM D4595)
Resistencia última a la tensión de las costuras, medida perpendicularmente al empalme (kN/m)	ASTM D4884
Área abierta, como (%) del área total	Medido
Tamaño de abertura (mm)	Medido
Propiedades de supervivencia	
Elongación (%)	NTC 1998 (ASTM D4632)
Peso por unidad de área (g/m^2)	NTC 1999 (ASTM D5261)
Resistencia a la tensión Grab (N)	NTC 1998 (ASTM D4632)
Resistencia de la costura a tensión Grab (N)	NTC 1998 (ASTM D4632)
Resistencia a la penetración con pistón de cincuenta milímetros (50 mm) de diámetro (N)	NTC 5289 (ASTM D6241)
Resistencia al rasgado trapezoidal (N)	NTC 2003 (ASTM D4533)
Estabilidad ultravioleta: resistencia retenida después de quinientas horas (500 h) de exposición (%)	NTC 3300 (ASTM D4355)
Propiedades hidráulicas	
Permitividad (s^{-1})	NTC 3541 (ASTM D4491)
Permeabilidad (cm/s)	NTC 3541 (ASTM D4491)

Tabla 683 – 8. Pruebas de verificación de la calidad de la Geomalla

Propiedad	Norma de ensayo
Propiedades de refuerzo	
Resistencia última a la tensión del geosintético en prueba con costillas múltiples (kN/m)	NTC 5492 (ASTM D6637)
Resistencia última a la tensión de los empalmes mecánicos, medida perpendicularmente al empalme (kN/m)	NTC 5492 (ASTM D6637)
Área abierta, como (%) del área total	Medido
Tamaño de abertura (mm)	Medido
Propiedades de supervivencia	
Resistencia de las uniones o nodos (N)	ASTM D7737
Estabilidad ultravioleta: resistencia retenida después de quinientas horas (500 h) de exposición (%)	NTC 3300 (ASTM D4355)

muestra, como mínimo de un metro (1 m) por el ancho correspondiente al rollo, verificando que esté totalmente seca y limpia.

Para la evaluación de las costuras en los geotextiles, se deben tomar muestras de juntas cosidas cuyo largo sea al menos dos metros (2 m) en el sentido de la costura, y cuyo ancho sea al menos uno coma cinco metros (1,5 m).

El número de especímenes para ensayo y la conformidad con las especificaciones, se deben determinar según las normas de ensayo NTC 2437 (ASTM D4354) y NTC 4805 (ASTM D4759). Los especímenes, debidamente identificados (número de lote, referencia del producto, etc.), se deben empacar y enviar a un laboratorio distinto al del fabricante, para realizar las pruebas especificadas en los documentos del proyecto o las Tablas 683 – 7 y 683 – 8, según corresponda.

En relación con los resultados de las pruebas, no se debe admitir ninguna tolerancia sobre los límites establecidos en las Tablas 683 – 1, 683 – 4 y 683 – 5, o los que se establezcan en los documentos del proyecto, según los que prevalezcan. No se deben aceptar geosintéticos rasgados o usados; en el caso de los geotextiles, no se debe permitir la presencia de agujeros en ellos.

No se deben emplear geosintéticos o productos relacionados acopiados cuando las condiciones de almacenamiento no hayan sido adecuadas.

683.5.2.2 Calidad del material de relleno

La calidad del material de relleno se debe evaluar en función de sus características y de los requisitos aplicables de las presentes especificaciones, según sea el tipo de material por utilizar, de acuerdo con lo señalado en el numeral 683.2.3.

683.5.2.3 Calidad del producto terminado

683.5.2.3.1 Relleno estabilizado

El geosintético instalado debe tener las dimensiones establecidas y debe estar libre de dobleces y arrugas; debe estar templado y

sujeto a la superficie de apoyo, según lo indicado en el numeral 683.4.3. Los empalmes deben tener las características y dimensiones definidas para el proyecto, según se establece en el numeral 683.4.3.2.

Cada capa terminada de relleno debe presentar una superficie uniforme, ajustada a la rasante y a las pendientes establecidas.

La fachada terminada no debe acusar irregularidades a la vista.

La cota de cualquier punto de la capa final del relleno, conformada y compactada, no debe variar en más de treinta milímetros (30 mm) de la cota proyectada, medida verticalmente hacia abajo. Si la capa final del relleno corresponde a la subrasante del pavimento, en ningún caso la cota de subrasante puede superar la cota del proyecto. No se debe aceptar la presencia de irregularidades que impidan el normal escurrimiento de las aguas en las obras concluidas.

Todas las irregularidades que excedan las tolerancias mencionadas deben ser corregidas por el constructor, sin costo adicional para INVÍAS, hasta conseguir la aprobación por parte del interventor.

683.5.2.3.2 Compactación del relleno

Para efectos de la verificación de la compactación de cada una de las capas del relleno, se debe definir como lote, que se acepta o rechaza en conjunto, el menor volumen que resulte de aplicar los siguientes criterios:

- Quinientos metros (500 m) de capa compactada en el ancho total del relleno.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m^2).
- El volumen de relleno colocado y compactado en una jornada de trabajo.

Los sitios para la determinación de la densidad seca de cada capa en el terreno se deben elegir al azar, según la norma de ensayo INV E-730, pero de manera que se realice al menos una (1) prueba por hectómetro. Se deben efectuar, como mínimo, cinco (5) ensayos por lote.

Para el control de la compactación de una capa de relleno, se debe calcular su grado de compactación a partir de los resultados de los ensayos de densidad en el terreno y del ensayo descrito en la norma INV E-142, mediante la expresión que resulte aplicable entre las siguientes:

Material sin sobretamaños:

$$GC_i = \frac{Y_{d,i}}{Y_{d,máx}} x\ 100 \quad [683.2]$$

Material con sobretamaños:

$$GC_i = \frac{Y_{d,i}}{CY_{d,máx}} x\ 100 \quad [683.3]$$

Siendo

GC_i, valor individual del grado de compactación, en porcentaje.

$Y_{d,i}$, valor individual del peso unitario seco del material en el terreno, determinado por cualquier método aplicable de los descritos en las normas de ensayo INV E-161, E-162 y E-164, sin efectuar corrección por presencia de sobretamaños, de manera que corresponda a la muestra total.

$Y_{d,máx}$, valor del peso unitario seco máximo del material, obtenido según la norma de ensayo INV E-142 (ensayo modificado de compactación), sobre una muestra representativa del mismo.

$CY_{d,máx}$, valor del peso unitario seco máximo del material, obtenido según la norma de ensayo INV E-142 sobre una muestra representativa del mismo, y corregido por sobretamaños según la norma de ensayo INV E-143, numeral 3.1, de manera que corresponda a la muestra total.

Sobretamaños (fracción gruesa) (P_{FG}), porción de la muestra total retenida en el tamiz de control correspondiente al método utilizado para realizar el ensayo de compactación (norma INV E-142).

El peso unitario seco máximo corregido del material ($CY_{d,máx}$) que se debe usar para calcular el grado de compactación individual GC_i se debe obtener, para cada sitio, a partir del contenido de sobretamaños, P_{FG}, presente en ese sitio.

Para la aceptación del lote se deben aplicar los siguientes criterios:

$GC_I(90) \geq 95{,}0\%$ se acepta el lote **[683.4]**

$GC_I(90) < 95{,}0\%$ se rechaza el lote **[683.5]**

Siendo:

$GC_I(90)$, límite inferior del intervalo de confianza en el que, con una probabilidad del noventa por ciento (90 %), se encuentra el valor promedio del grado de compactación del lote, en porcentaje; se debe calcular según el numeral 107.3.1.3 del artículo 107, Control y aceptación de los trabajos, a partir de los valores individuales del grado de compactación GC_i.

Las verificaciones de compactación se deben efectuar en todo el espesor de la capa que se controla.

Los rellenos de los lotes que no alcancen las condiciones mínimas de compactación se deben escarificar, homogenizar, llevar al contenido de humedad adecuado y compactar nuevamente hasta obtener el valor de la densidad seca especificada. Este procedimiento debe ser adelantado por el constructor de manera que no se afecte el geosintético subyacente. Si el geosintético sufre algún deterioro, se debe remover la capa de relleno correspondiente al lote rechazado, reemplazarse por uno nuevo y se debe colocar nuevamente la capa de relleno hasta lograr el grado de compactación especificado.

683.5.2.3.3 Fachada con elementos especiales

Si en los documentos del proyecto se especifica que la fachada se debe construir con bloques especiales de concreto, las condiciones específicas para el recibo y tolerancias de instalación se deben definir mediante especificación particular.

683.6 Medida

683.6.1 Geosintéticos

La unidad de medida de los geosintéticos debe ser el metro cuadrado (m^2), aproximado al entero, de geosintético colocado aprobado por el interventor, de acuerdo con lo exigido por la presente especificación. El resultado de la medida se debe reportar con la aproxima-

ción establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

No se debe medir ningún área por fuera de tales límites indicados en los documentos del proyecto, ni se deben considerar para efecto del pago, los traslapos.

683.6.2 Relleno

La unidad de medida del relleno debe ser el metro cúbico (m^3), aproximado al entero, de material suministrado, colocado, compactado y terminado de acuerdo con los documentos del proyecto y debidamente aceptado por el interventor. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

No se deben medir cantidades en exceso de las indicadas en los documentos del proyecto.

683.7 Forma de pago

683.7.1 Geosintéticos

El pago de los geosintéticos se debe hacer al respectivo precio unitario del contrato, por metro cuadrado (m^2), para toda obra ejecutada de acuerdo con la presente especificación y aceptada por el interventor.

El precio unitario debe incluir el suministro, almacenamiento y transporte del geosintético y los elementos accesorios a que hace referencia el numeral 683.2.4; la colocación del geosintético con sus uniones y elementos de fijación entre geosintéticos y con los elementos de fachada; los traslapos y costuras; los desperdicios; la señalización preventiva de la vía y el ordenamiento de todo tipo de tránsito durante la ejecución de los trabajos y el período posterior en que se deba impedir o controlar, de acuerdo con lo aprobado por el interventor; así como toda labor, mano de obra, equipo o material necesario para la correcta ejecución de los trabajos especificados.

El precio unitario debe comprender, también, los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

683.7.2 Relleno

El precio unitario debe cubrir los costos de extracción, preparación y suministro de los materiales en el sitio de la obra; la obtención de los permisos y derechos de explotación, la construcción o adecuación de las vías de acceso a las zonas de préstamo; la adecuación de dichas zonas una vez extraído el material, para recuperar las características hidrológicas superficiales; los cargues, transportes, compactación y conformación del relleno; los costos de los desvíos que fuese necesario construir con motivo de la ejecución de las obras; la señalización preventiva de la vía y el ordenamiento de todo tipo de tránsito durante la ejecución de los trabajos y el período posterior en que se deba impedir o controlar, de acuerdo con los documentos del proyecto y lo aprobado por el interventor; todo equipo y mano de obra requeridos para ejecutar esta labor y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución del trabajo especificado. Además, debe incluir los costos por concepto de desperdicios.

El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

Se deben pagar por aparte las excavaciones y rellenos requeridos para la preparación de la fundación y los elementos de fachada diferentes a los geosintéticos, de acuerdo con los siguientes artículos:

- Excavaciones: artículo 600, Excavaciones varias.
- Rellenos: artículo 610.
- Protección de la fachada del muro con malla y mortero: artículo 812.
- Empradización de la fachada con bloques de césped: artículo 810.
- Fachada en gaviones de malla de alambre de acero galvanizado: artículo 681.

Los elementos especiales de fachada, como bloques de concreto, y los elementos especiales de apoyo asociados, se deben pagar según la especificación particular correspondiente.

683.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
683.1	Geotextil de refuerzo tipo ___ para muros de tierra estabilizada mecánicamente con geosintéticos	Metro cuadrado (m^2)
683.2	Geomalla de refuerzo tipo ___ para muros de tierra estabilizada mecánicamente con geosintéticos	Metro cuadrado (m^2)
683.3	Geotextil de fachada tipo ___ para muros de tierra estabilizada mecánicamente con geosintéticos	Metro cuadrado (m^2)
683.4	Geomalla de fachada tipo ___ para muros de tierra estabilizada mecánicamente con geosintéticos	Metro cuadrado (m^2)
683.5	Relleno tipo ___ para muros de tierra estabilizada mecánicamente con geosintéticos	Metro cúbico (m^3)
683.6	Muro de tierra estabilizada mecánicamente con geosintético tipo ___ y relleno tipo ___	Metro cúbico (m^3)

Nota: se debe establecer un ítem de pago para cada tipo de geosintético y de relleno que se especifiquen en el contrato.

Estabilización de taludes con sistema combinado de muro plástico y anclajes

Artículo 684 - 22

684.1 Descripción

Este trabajo consiste en la construcción de un sistema de contención que puede ser definido como una medida temporal o como diseño definitivo, que permite mediante el uso combinado de un muro plástico con instalación de anclajes en la cara del muro, permitiendo la transmisión de esfuerzos de forma adecuada, garantizando la contención de un talud de corte o terraplén.

En caso de colapso total de la calzada, el sistema reconstruye de manera total la vía mediante restitución de material de terraplén y reconformación posterior con la construcción de un sistema combinado, el cual requiere del uso de lodos bentoníticos como agente cementante de la pantalla flexible o muro plástico de retención y la contención de esta pantalla mediante anclajes inyectados con lechada de cemento, para mejorar las propiedades mecánicas del suelo y garantizar la transferencia de carga con la deformación controlada del terreno.

El sistema busca condiciones de estabilidad idóneas para cortes y rellenos que presenten algún tipo de inestabilidad geotécnica y requieran una intervención rápida, que garantice la puesta en servicio y/o restauración de operación, así como la disminución de los riesgos de ejecución de obra para los trabajadores, ya que al contar con una pantalla flexible se garantiza condiciones estables del corte temporal durante la ejecución del avance y la instalación de los anclajes.

El sistema es construido de arriba hacia abajo, permitiendo una rápida apertura en las vías de carreteras reduciendo al mínimo la interferencia con el tránsito vehicular.

684.2 Materiales

684.2.1 Agua

El agua que se requiera para la estabilización debe ser ser limpia, puede ser obtenida de lluvia, ríos, lagos u otros cuerpos de agua, siempre y cuando no contenga elementos contaminantes que puedan afectar el desempeño de los estabilizantes. Lo anterior debe ser comprobado con el diseño de la mezcla; idealmente, aunque no es obligatorio dada la accesibilidad a los ensayos, se pueden efectuar ensayos de pH (Norma ASTM D1293) y contenido de sulfatos (Norma ASTM D516).

684.2.2 Agua de mezclado

El agua para el mezclado y curado debe ser limpia y libre de sustancias que puedan ser dañinas a la mezcla.

a) Detergentes: no debe contener.
b) pH: debe ser igual o mayor que siete (7).

684.2.3 Arena

La arena debe especificarse con una granulometría que va de un tamaño de grano de cinco milímetros (5 mm) a fino. Puede usarse arena que no cumpla con la granulometría anterior, si las pruebas preliminares establecen que proporciona buenos resultados. Así mismo, la arena empleada para acabados, recubrimientos rápidos y ciertos usos especiales, puede ser más fina que la de esa granulometría, sin embargo, debe tenerse en cuenta, que las arenas más finas generalmente originan una contracción mayor por secado.

684.2.4 Gravilla

La gravilla debe especificarse con una granulometría parte de un tamaño de grano diez milímetros (10 mm) como mínimo, puede usarse gravilla que no cumpla con la granulometría anterior, si las pruebas preliminares establecen que proporciona buenos resultados.

684.2.5 Aditivos químicos

Los aditivos químicos no deben contener sulfitos. Debe tomarse en cuenta que con el uso de aditivos se obtiene una mezcla más oscura.

684.2.6 Lechada plástica

En la construcción del muro plástico se utiliza un mortero (cemento-agua-bentonita-arena) que se le adiciona bentonita, con la cual se crea una pantalla impermeable permanente, aumenta la plasticidad del cemento y estabiliza la resistencia mecánica.

684.2.6.1 Lodo bentonítico

Debe utilizarse bentonita hidratada (arcilla de origen natural) como lodo bentonítico; el tiempo de hidratación es de mínimo cinco (5) horas. Se permite su uso ya que está clasificado como sustancia no peligrosa, esta bentonita debe ser tener más del cincuenta por ciento (50 %) de óxido de sílice.

684.2.6.2 Cemento

Se debe usar Cemento Pórtland Ordinario (CPO); si la mezcla a utilizar está expuesta a suelo o agua freática que contengan elevadas concentraciones de sulfatos disueltos, debe usarse cementos resistentes a los sulfatos.

La magnitud de los trabajos debe ser definida de acuerdo al diseño de la obra, esta dependerá del volumen a estabilizar dado por los parámetros obtenidos de la mecánica de suelos y/o de la magnitud de la afectación de la calzada si esta estuviera completamente colapsada.

Tabla 684-1 Dosificaciones y propiedades lodo bentonítico

Material			Especificaciones		
			Densidad (g/cm^3)	Fluidez (s)	Compresión (kg/cm^2)
Lodo bentonítico			1,03 ± 0,02	33 ± 4,0	N/A
Material	**Unidad**	**Cantidad**			
Bentonita	kg	50			
Agua	L	1 000			

Tabla 684-2 Dosificaciones y resistencias mínimas a siete (07) días de curado de lechada plástica

Material			Especificaciones		
			Densidad (g/cm^3)	Fluidez (s)	Compresión (min) (kg/cm^2)
Lechada plástica			1,23 ± 0,04	37,5 ± 5,0	5,0
Material	**Unidad**	**Cantidad**			
Cemento	kg	500			
Lodo bentónico	L	1 000			
Agua	L	300			
Arena	m^3	0,91			

684.2.7 Lechada inyección

Para la inyección de anclajes se utiliza una lechada de cemento (cemento-agua) mezclada homogéneamente. En caso de ser necesario se agrega algún aditivo químico (que por lo regular se utiliza silicato). El silicato principalmente se utiliza para acelerar el tiempo de fraguado, aunque también mejora la rigidez de la mezcla.

El fin de la lechada de inyección es cubrir los espacios ocupados por el agua y/o aire que molecularmente integran el material del cual este constituido en talud, mejorando su estructura molecular, disminuyendo la permeabilidad e incrementando la resistencia del material existente logrando la consolidación global en la zona tratada.

Tabla 684-3 Dosificaciones y resistencias mínimas para lechada de inyección

Material			Especificaciones		
			Densidad (g/cm^3)	Fluidez (s)	Compresión (kg/cm^2)
Lechada de inyección			N/A	N/A	100
Material	**Unidad**	**Cantidad**			
Cemento	kg	50			
Agua	L	35			
Aditivo	(Nota)	(Nota)			

Nota: la cantidad de adición depende de las condiciones de la mezcla.

684.2.8 Concreto lanzado

La aplicación de lanzado utiliza un concreto (cemento-agua-gravilla) con un agregado que este en los límites entre fino y grueso, por tal motivo se recomienda emplear la gravilla, aunque si la arena es muy gruesa se puede utilizar.

El fin principal del concreto lanzado es proteger la pantalla plástica del intemperismo y de darle una apariencia aceptable al muro; además de mejorar la resistencia final de la pantalla impermeable.

Tabla 684-4 Dosificaciones y resistencias mínimas para concreto lanzado

Material			Especificaciones		
			Densidad (g/cm^3)	Fluidez (s)	Compresión (kg/cm^2)
Concreto Lanzado			N/A	N/A	150
Material	**Unidad**	**Cantidad**			
Cemento	kg	50			
Agua	L	30			
Arena o gravilla	m^3	0,166			

Nota: Las dosificaciones y resistencias son valores de referencia, estos valores deben ser establecidas según los criterios de diseño implementados en la ejecución del proyecto. La resistencia a los siete (7) días equivale como mínimo al sesenta porciento (60 %) de la resistencia de diseño.

684.2.9 Anclajes

Las especificaciones de los anclajes debe estar elaboradas para su aplicabilidad según lo establecido en el proyecto y de la misma manera deben estar descritas en los planos; por lo general se utilizan anclajes de fricción y tensión con diferentes longitudes y resistencias acordes con los requerimientos del diseño.

684.2.10 Placa reacción

La placa de reacción para los anclajes debe ser de acero tipo estructural A-36 y f'y = 2 530 kg/cm^2; la placa debe considerar las siguientes dimensiones mínimas de veinticinco por veinticinco centímetros (25 cm x 25 cm) y una pulgada (1 Pulgada) de espesor para AT-20 y AF-20 y de treinta por treinta centímetros (30 cm x 30 cm) para AT-30 y AF-30.

684.2.11 Drenes

Drenes locales. Estos drenes deben estar diseñados según el proyecto y deben estar descritos en los planos. Son fabricados con tubos de PVC y/o poliducto y forrados con geotextil.
Drenes sub-horizontales. Estos drenes deben estar diseñados según el proyecto y deben estar descritos en los planos. Son fabricados con tubos de PVC y forrados con geotextil.

En cualquier caso, los drenes deben cumplir con lo especificado en el artículo INV E- 674, Drenes horizontales en taludes y las condiciones de calidad establecida en el numeral 674.5.2.1.

684.3 Equipo

A continuación, se presenta la maquinaria típica utilizada. La capacidad de algunos equipos puede variar dependiendo de las condiciones iniciales del lugar de los trabajos, los rendimientos de los equipos también están ligados a las condiciones del suelo y las condiciones topográficas del lugar. En climas extremos y /o tratamientos correctivos de fallas geológicas y en suelos inestables el rendimiento será menor a los rendimientos que se pueden observar en tratamientos preventivos.

Perforadora: Maquinaria de perforación tipo Casagrande C-6, C-4 o neumático tipo stenwick en casos de topografía complejas, incluye accesorios de perforación (barras, martillo, ademe etc.)

Excavadora: Retroexcavadora con brazo extensible utilizada en la conformación del terraplén de trabajo, la excavación del muro plástico con lechada autofraguante y la excavación para la formación de terrazas.

Compresor: Compresor de aire de capacidad mínima de setecientos cincuenta (750) cfm que en conjunto con el equipo de perforación debe ser utilizado para la colocación de anclajes y drenes. Incluye tubería y/o mangueras de alta presión.

Mezclador: Equipo turbo mezclador de altas revoluciones con capacidad mínima de trecientos litros (300 L) utilizado para el mezclado de cemento, agua y aditivo para la inyección de los anclajes.

Agitador: Equipo agitador de lechadas de bajas revoluciones, mantiene en suspensión la mezcla durante los trabajos de inyección.

Bomba de inyección: Equipo de inyección equipada con medidor de presión utilizado para la inyección de la lechada, incluye mangueras de alta presión y accesorios.

Equipo de lanzado: Maquinaria para el lanzado de concreto, utilizado para el tratamiento del muro plástico después de la excavación de terrazas.

Gato hidráulico: Para realizar el tensado de los anclajes se utiliza un gato hidráulico de capacidad de acuerdo al diseño de los anclajes.

Generador de energía: Equipo de combustión interna con capacidad mínima de ochenta kilovatios (80 kW) utilizado para la conexión del equipo eléctrico.

Bomba sumergible: Bomba de cuatro (4) pulgadas para preparación de lechada plástica y recirculación de agua.

Digestor de tres mil quinientos (3 500): Turbo mezclador de gran capacidad utilizado para la preparación de la lechada plástica para la construcción del muro.

El equipo a utilizar depende de la etapa constructiva del sistema, y comprende las siguientes etapas:

684.3.1 Equipo para la reconformación de calzada

Habilitado provisional de vía restringida y formación de plataforma de trabajo en zona del acotamiento.

El equipo a utilizar es el requerido para lograr la función y la calidad adecuada y en número suficiente para producir el volumen establecido en el programa de obra. Su selección es responsabilidad del contratista de obra y este debe mantenerlo en óptimas condiciones durante el desarrollo de la misma.

El equipo puede ser un tractor sobre orugas o similar, depende de la magnitud de la obra a estabilizar. Compactador de placa vibratoria: que proporcione fuerzas de compactación superiores. Estas unidades producen impulsos de alta potencia a una tasa de dos mil doscientos (2 200) impactos por minuto, las fuerzas generadas por esta vibración reúnen las partículas de suelo para compactaciones más sólidas y estables.

684.3.2 Equipo para la excavación de muro plástico

El constructor debe proponer para consideración del interventor los equipos más adecuados para las operaciones a realizar, de acuerdo con el tipo de material por excavar los cuales no deben producir daños innecesarios en zonas colindantes a la obra y debe garantizar el avance físico de ejecución, según el programa de trabajo que permita el desarrollo de las etapas constructivas siguientes.

El constructor puede utilizar cualquier tipo de equipo apropiado para la realización de las excavaciones incluyendo retroexcavadora para la zanja y retiro de material producto de la excavación, para la fabricación, almacenamiento y colocación de la lechada, es necesario bombas de inyección, bombas sumergibles, turbomezclador y disponer de contenedores para almacenamiento de agua, así mismo es indispensable contar con un generador eléctrico de una potencia igual o superior a cien kilovatios (100 kW).

684.3.3 Equipo para el suministro y colocación de concreto lanzado

Mezcladora de concreto: para la fabricación de la mezcla arena-cemento, se debe contar con lanzadora de concreto, la cual debe ser disponer de un compresor de aire para la aplicación del concreto lanzado.

684.3.4 Equipo para la perforación, suministro y colocación de anclajes

Para la perforación y colocación de anclajes se debe utilizar perforadora rotatoria, en el caso de la inyección de los anclajes se utiliza bomba de inyección, compresor, agitador de lechadas, turbo mezclador, generador de luz, planta de soldar, motogenerador, equipo de oxicorte, torno paralelo, para el caso de la perforación y colocación de drenes locales y de penetración se utiliza perforadora rotatoria y compresor.

684.3.5 Equipo para el cabezal de muro plástico

Se debe utilizar para la fabricación, almacenamiento y colocación de la lechada: bombas de inyección, bombas sumergibles, turbomezclador, contenedores para almacenamiento de agua y generador eléctrico de cien kilovatios (100 kW). La mezcladora de concreto se emplea para la fabricación de la mezcla arena-cemento y la lanzadora de concreto para la aplicación del concreto lanzado. Por último, el compresor de aire, para la aplicación del concreto lanzado.

684.3.6 Equipo para el tensado y protección

Utilización de gato hidráulico de al menos sesenta toneladas (60 t) para el tensado de los anclajes hasta su tensión de trabajo, así como planta de luz y de soldar para aplicar puntos de soldadura en tuercas, varilla y placas de anclajes para fijar y evitar el retiro de las placas.

684.3.7 Equipo para excavación para formación de terraza

El equipo a utilizar debe ser el pertinente para obtener la calidad adecuada y en cantidad suficiente para producir el volumen establecido en el programa de obra. Su selección es responsabilidad del contratista de obra y este debe ser mantenerlo en óptimas condiciones durante el desarrollo de la obra.

684.3.8 Equipo para la conformación

El suelo estabilizado debe ser conformado de tal manera, que la vía cumpla con los peraltes y drenaje superficial establecido en el proyecto. Para la conformación de la calzada se puede utilizar una motoniveladora u otro equipo similar con chuchilla que permita lograr una nivelación homogénea de la superficie. También pueden ser utilizadas técnicas manuales de conformación, de acuerdo con los manuales de mano de obra intensiva del CIDB (Construction Industry Development Board).

684.3.9 Equipo para la compactación

El suelo debe ser compactado para obtener la densidad y resistencia establecida en el proyecto. Pueden ser utilizados compactadores de rodillo liso, sencillo o doble, de operación manual o mecánica. Los equipos de operación mecánica, mínimo siete toneladas (7 t) permiten una compactación de capas de mayor espesor.

El uso de equipos de compactación manual limita el espesor a compactar, de tal manera que es necesario modificar el método constructivo para permitir la estabilización por capas no mayores a diez centímetros (10 cm).

684.4 Ejecución de los trabajos

Las especificaciones de construcción de este sistema de contención deben quedar detalladas en los planos constructivos.

684.4.1 Relleno para plataforma de trabajo

Se realiza en caso de ser necesario para recuperar el terraplén y/o crear una plataforma de trabajo, adicionando por gravedad un material y en su caso compactándolo en capas hasta recuperar una altura que permita construir el muro plástico.

Posteriormente deben servir para generar una plataforma de trabajo. En caso de zonas muy accidentadas se utiliza sistema de tabla-estacado. Al tratarse de un relleno temporal y cuya finalidad solamente es obtener una plataforma de trabajo uniforme para la construcción del sistema de contención, puede ser realizado en

suelo natural producto de excavación común.

684.4.2 Diseño de mezclas

Se procede con el diseño de mezclas de conformidad con lo establecido para la dosificación y resistencia de lechada plástica, lechada de inyección y concreto lanzado definidos en el numeral 684.2 Materiales de esta especificación en los apartes 684.2.6, 684.2.7, 684.2.8.

684.4.3 Construcción de muro plástico

684.4.3.1 Excavación

Para la construcción del muro plástico se traza la longitud total del muro a través de marcas de cinco a siete metros (5 a 7 m), los cuales conforman cada uno de los paneles durante la excavación, el avance diario depende de las características del suelo en el que se trabaje pudiendo avanzar hasta diez metros (10 m) por día.

Esta excavación se realiza utilizando una retroexcavadora con un balde de cuarenta centímetros (40 cm). La excavación debe alcanzar una profundidad hasta cinco coma cinco metros (5,5 m) y el ancho final está comprendido entre cuarenta y sesenta centímetros (40 y 60 cm) dependiendo de las características del terreno.

684.4.3.2 Vaciado de lechada plástica

Para el vaciado del muro se utiliza una lechada plástica (un mortero preparado con lodo bentonítico) el cual alcanza una resistencia mayor o igual a cinco kilogramos por centímetro cuadrado (f´c=5 kg/cm^2). Las características de la lechada plástica pueden variar con las condiciones de los suelos encontrados, se recomienda inicialmente una relación agua/cemento en masa mayor o igual a cero coma cuatro (0,4), controlando sus características de viscosidad Marsh, densidad y resistencia a la compresión.

Para la preparación de la lechada plástica se requiere de la preparación de lodo bentonítico (agua-bentonita) con una relación cincuenta sobre mil (50/1 000) controlando sus características de viscosidad Marsh y densidad, de conformidad con los parámetros definidos en el numeral 684.2 de la presente especificación, subnumeral 684.2.6, Tabla 684-1 y Tabla 684-2 de la presente especificación.

684.4.4 Conformación de plataforma de trabajo

Excavación de terraza. Para realizar la plataforma de trabajo se procederá a retirar el terraplén (relleno y/o terreno natural) después de un mínimo de cuarenta y ocho horas (48 h) de la formación del muro plástico, para iniciar con el recubrimiento con concreto lanzado.

Se puede descubrir hasta veinte metros (20 m) lineales de muro, sin embargo, esto depende de las características de la falla a estabilizar. En condiciones severas se recomienda solo descubrir cinco metros (5 m) de manera alternada.

Una vez que se tiene la plataforma de trabajo se procede con la liberación de la cara del muro plástico, el cual consiste en un reperfilamiento manual para lograr una superficie uniforme que permita una fácil colocación de la malla electrosoldada y proceder con el sistema de confinamiento.

684.4.5 Sistema de sostenimiento

684.4.5.1 Suministro y colocación de concreto lanzado

El primer paso consiste en la colocación de una malla electrosoldada la cual debe cumplir con las características requeridas en el artículo 812, Recubrimiento de taludes con malla y mortero de estas especificaciones, las cuales se incluyen en el subnumeral 812.2.1 Malla de alambres de acero, Tabla 812-1. La colocación se realiza anclándola con varilla enterrada en el muro plástico al menos quince centimetros (15 cm); para el traslape entre mallas se debe

de asegurar que este cubra por lo menos un (1) cuadro entre mallas.

Se recomienda el uso de cubos de concreto de al menos tres centímetros (3 cm) para separar la malla electrosoldada del contacto directo sobre la pantalla, con la finalidad de centrar su posición frente al espesor de concreto.

El concreto lanzado debe contar con un espesor promedio de ocho centímetros (8 cm) y una resistencia ciento cincuenta kilogramos por centímetro cuadrado (f´c=150 kg/cm^2). Se recomienda usar como calibradores las mismas varillas de sujeción de la malla para identificar y garantizar el espesor aplicado. Las características del concreto a lanzar pueden variar con las condiciones del lugar de aplicación, se recomienda inicialmente una relación agua/cemento de cero coma seis (0,6), controlando sus características de resistencia a la compresión (ciento cincuenta kilogramos por centímetro cuadrado (f´c=150 kg/cm^2)). Como agregado se utiliza una gravilla. Los parámetros de calidad deben cumplir con los requerimientos definidos en el numeral 684.2 de la presente especificación, subnumeral 684.2.8 en la Tabla 684-4.

684.4.5.2 Instalación de anclajes pasivos

El proceso de colocación de concreto lanzado y el de anclajes al muro pueden alternar su secuencia según las condiciones del terreno.

684.4.5.2.1 Perforación y colocación de anclajes

Se realizan barrenos conforme al proyecto en cuanto a distribución y profundidad. Las especificaciones de los anclajes deben estar elaboradas para su aplicabilidad según lo establecido en el proyecto y de la misma manera deben estar descritas en los planos.

684.4.5.2.2 Inyección de anclajes

Para la inyección de los anclajes instalados se debe utilizar una lechada de cemento la cual debe cumplir con una resistencia mínima de cien kilogramos por centímetro cuadrado (f´c=100 kg/cm^2).

Dicha mezcla se prepara en un turbo mezclador de alta velocidad y posteriormente se pasa al agitador para mantenerla homogenizada durante todo el tiempo de la inyección. La lechada de cemento a utilizar debe tener una relación de agua/cemento en masa igual o mayor de cero coma seis (0,6) y controlar sus características de resistencia establecidas de la mezcla. La lechada de inyección debe cumplir como mínimo con lo establecido en el numeral 684.2 de la presente especificación, subnumeral 684.2.7, en la Tabla 684-3.

Dichas cantidades pueden ser ajustadas en la obra dependiendo las condiciones en las que se encuentre la zona a inyectar (humedad, temperatura, tipo de estratigrafía, urgencia de fraguado, etc.), además de evaluar la necesidad de agregar aditivos adicionales.

La inyección de los anclajes se realiza a través de un ducto o manguera perforada, en la punta que es adosada a cada anclaje por el cual fluye la lechada de cemento a una presión y volumen controlado.

684.4.5.3 Tensado y protección

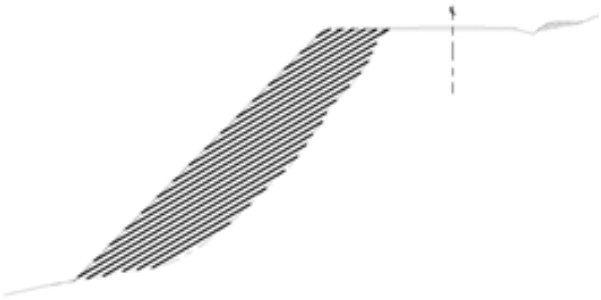
Como medida de control de calidad se realiza un tensado de los anclajes. El tensado del anclaje se da halando el anclaje con un gato hidráulico aplicándole un incremento da carga controlado hasta la capacidad especificada en el proyecto. Se aplica la prueba de tensado al dos porciento (2%) de los anclajes de tensión una vez alcanzada la resistencia de la lechada (mínimo tres días (3 d)). Después del tensado se coloca una protección al cabezal de cada anclaje.

684.4.6 Sistema de drenaje

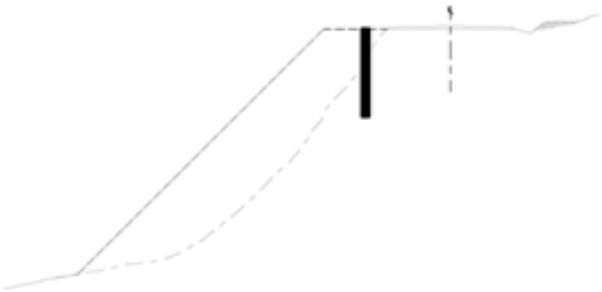
Después de un día de haber inyectado los anclajes se realizan barrenos para colocación de drenes perforando el muro plástico cada

cuatro metros (4 m) y un diámetro mínimo de dos pulgadas (2 pulgadas) tal que permita colocar los drenes dentro del barreno.

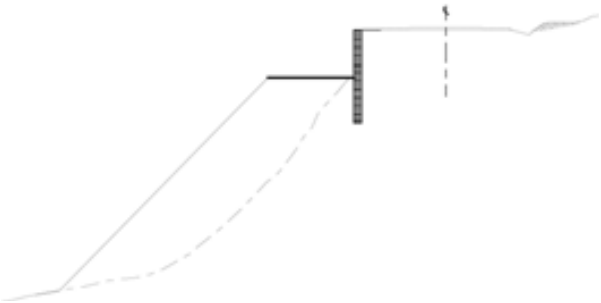
Existen dos (2) tipos de drenes sub-horizontales con una longitud igual o mayor a la longitud del anclaje instalado y los drenes locales (lloraderos) los cuales tienen una longitud necesaria para pasar el espesor del muro.



1. Relleno para plataforma

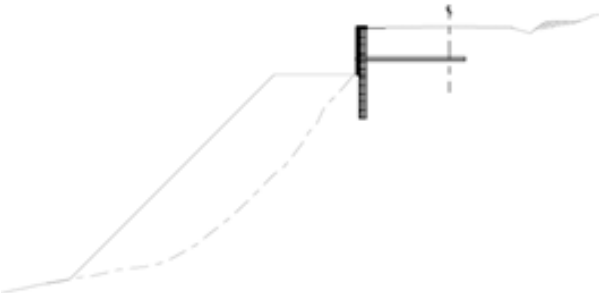


2. Excavación y vaciado de pantalla plástica

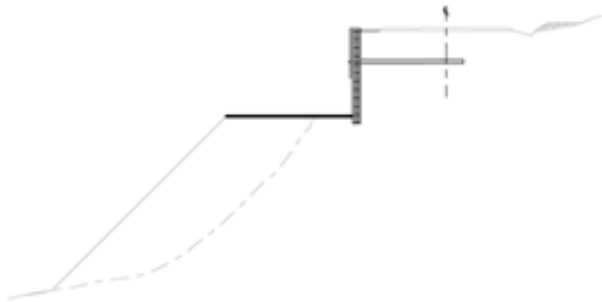


3. Conformación de plataforma

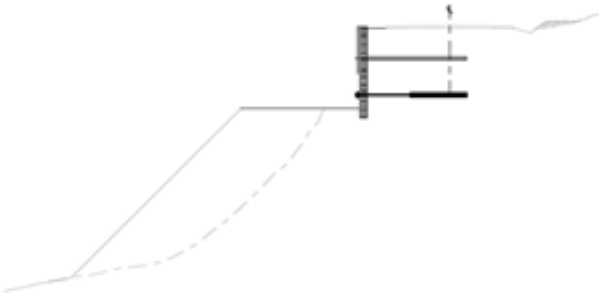
4. Perforación e Instalación de anclajes con lechada



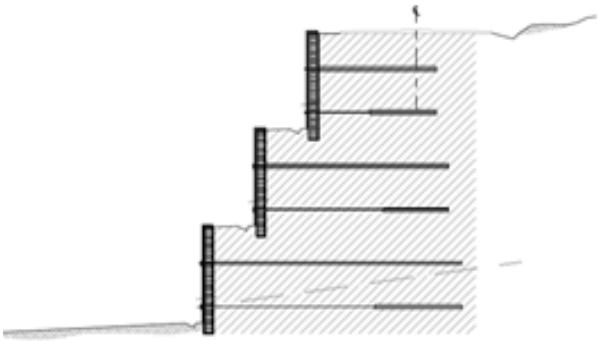
5. Instalación de malla electrosoldada y aplicación de concreto lanzado



6. Conformación plataforma de avance instalación drenaje lloraderos y/o drenes californianos lloraderos y drenes californianos



7. Avance secuencia constructiva, pasos 2 a 4



8. Vista final proyecto a 3 niveles

Figura 684-1 Secuencia constructiva sistema de contención

684.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

684.5.1 Calidad de los materiales

684.5.1.1 Calidad del agua

Siempre que tenga alguna sospecha sobre la calidad del agua empleada, se verifica su pH, contenido de sulfatos y otros parámetros que sean requeridos por el interventor y los valores tolerables establecidos en el numeral 684.2.2 Agua de mezclado.

684.5.2 Calidad de los productos de curado

Siempre que se requiera la incorporación de los productos de curado, el constructor debe presentar certificaciones periódicas de los fabricantes o de los proveedores de estos, que brinden garantía en cuanto a la calidad y a la conveniencia de su utilización, para la revisión y eventual autorización de uso por parte del interventor.

684.5.2.1 Mezclas utilizadas en el sistema

684.5.2.1.1 Lechada plástica

En la construcción del muro plástico debe utilizar un mortero (cemento-agua-bentonita-arena) que se le adiciona bentonita con la cual se crea una pantalla impermeable permanente, aumenta la plasticidad del cemento y estabiliza la resistencia mecánica.

Las condiciones de recibo de la lechada plástica deben cumplir como mínimo con lo establecido en el numeral 684.2 de la presente especificación, subnumeral 684.2.6.

684.5.2.1.2 Lechada inyección

Para la inyección de los anclajes debe utilizar una lechada de cemento (cemento-agua) mezclada homogénea; en caso de ser necesario se agrega algún aditivo químico (que por lo regular se utiliza silicato). El silicato principalmente se utiliza para acelerar el tiempo de fraguado, aunque también mejora la rigidez de la mezcla.

Las condiciones de recibo de la lechada de inyección debe cumplir como mínimo con lo establecido en el numeral 684.2 de la presente especificación, subnumeral 684.2.7

684.5.2.1.3 Concreto lanzado

La aplicación de lanzado utiliza un concreto (cemento-agua-gravilla) con un agregado que este en los límites entre fino y grueso, por tal motivo se recomienda gravilla, aunque si la

arena es muy gruesa se puede utilizar.

Las condiciones de recibo del concreto lanzado deben cumplir como mínimo con lo establecido en el numeral 684.2 de la presente especificación, subnumeral 684.2.8.

684.5.2.2 Controles

684.5.2.2.1 Fluidez

Es la capacidad que tiene una mezcla para fluir en un determinado tiempo medido en segundos, las mezclas con mayor fluidez tienen mejor adherencia que las mezclas secas. Para este ensayo se utiliza un cono de fluidez en el cual se mide el tiempo que tarda en escurrir una cantidad de mezcla por el cono. El tiempo de escurrimiento de cada mezcla se puede ajustar en obra, de acuerdo con las condiciones del sitio. (ANSI/API 13B-1, ASTM D6910, ASTM D4380).

684.5.2.2.2 Resistencia

La resistencia que alcanza una mezcla está en función de la cantidad de materiales cementantes y agua (cemento-agua), a medida que esta se reduce se incrementa la resistencia. Para determinar la resistencia a la compresión se pueden utilizar cilindros o cubos y estos deben de permanecer húmedos hasta su ruptura. La resistencia a la compresión se debe realizar a la edad de ventiocho días (28 d) y la medida está dada en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm^2). (NMX-C-160-ONNCCE-2004, NMX-C-109-ONNCCE-2004, NMX-C-083-ONNCCE-2004, ASTM C31/C31M, ASTM C109/C109M, ASTM C39/C39M).

684.5.2.2.3 Densidad

La densidad de las mezclas se determina con la balanza, cuyos resultados se expresan en gramos por centímetro cubico (gr/cm^3) ó libras por pie cubico (lb/ft^3). Esta nos sirve para conocer la presión hidrostática que genera la mezcla la cual ayuda a estabilizar la excavación y evitar derrumbes. (ANSI/API 13B-1, ASTM D6910, ASTM D4380).

684.6 Medida

El sistema de contención debe ser medido por metro cuadrado (m^2) muro terminado (incluye pantalla plástica de cinco coma cinco metros (5,5 m) de altura, anclajes, concreto lanzado, drenes y protección de platinas), no obstante para la discretización del pago de los elementos que conforman el tratamiento se propone seguir los lineamientos de cada especificación particular, con lo anterior el sistema se mide:

Lechada plástica: la unidad de medida es el metro cuadrado (m^2), aproximado al décimo de metro cuadrado, de pantalla con lechada plástica de conformidad con los planos o las instrucciones del interventor. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

El área se determina multiplicando la longitud de tratamiento medida a lo largo del eje de la vía en su proyección horizontal por la profundidad de excavación sobre el relleno, la cual debe ajustarse a lo especificado en los planos o las modificaciones proyectadas por interventoría. El espesor de la pantalla ha sido definido como una constante para el sistema como cuarenta centímetros (40 cm).

Los siguientes ítems que hacen parte del sistema de contención deben medir de conformidad con las especificaciones generales de cada uno tal como se indica a continuación:

Excavación: la unidad de medida de las excavaciones varias debe ser el metro cúbico (m^3), aproximado a la décima (0,1), de material excavado en su posición original, determinado dentro y hasta las líneas de pago indicadas en los documentos del proyecto y en la presente

especificación o autorizadas por el interventor.

No debe haber ninguna medida por los sobreanchos que se requieran para colocar encofrados, ni por el material que se haya excavado antes de haber realizado los levantamientos topográficos mencionados en el numeral 600.4.1.

El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823. Los lineamientos particulares para la medición de este ítem deberán seguir lo descrito en el artículo 600, Excavaciones en el numeral 600.6. y se asocia a trabajos clasificados como excavaciones varias sin clasificar, según el numeral 600.1.2.1

Anclajes: la unidad de medida es el metro (m), aproximado al décimo de metro de anclaje construido satisfactoriamente, con las dimensiones y alineamientos mostrados en los planos o indicados por el interventor. Los lineamientos particulares de este ítem deben seguir lo descrito en la especificación 623, Anclajes, la unidad de medida debe ser el metro (m), aproximado al décimo de metro, de anclaje construido satisfactoriamente, con las dimensiones y alineamientos mostrados en los documentos del proyecto aprobados por el interventor. de recubrimiento de talud con malla y mortero ejecutado de conformidad con los planos o las instrucciones del interventor. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

Los lineamientos particulares para la medición de este ítem deben seguir lo descrito en el articulo 623, en los numerales 623.6.1 Anclajes y 623.6.2 Pruebas de carga.

Concreto lanzado: la unidad de medida debe ser el metro cuadrado (m^2), aproximado a la décima (0,1) de acuerdo con el artículo 812, de mortero para recubrimiento de talud con malla y mortero ejecutado de conformidad con los documentos del proyecto y aceptado por el interventor. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

El área se debe determinar multiplicando la longitud de talud tratada, medida a lo largo del eje de la vía, en su proyección horizontal, por el ancho, medido sobre la superficie del talud, especificado en los documentos del proyecto y aprobado por el interventor, y el espesor determinado en el diseño y aprobado por el interventor. De los volúmenes calculados deben deducirse los correspondientes a las tuberías de drenaje.

No se debe medir, para fines de pago, ninguna obra ejecutada por fuera de las dimensiones o líneas establecidas en los documentos del proyecto aprobados por el interventor.

Los lineamientos particulares para la medición de este ítem deben seguir lo descrito en el artículo 812, enen el numeral 812.6.

Drenes: la unidad de medida es el metro (m), aproximado al décimo de metro, de dren horizontal instalado de acuerdo con los planos del proyecto, la especificación 674, Drenes horizontales en taludes y las instrucciones del interventor.

No se debe medir para fines de pago, ninguna obra ejecutada por fuera de las dimensiones o líneas establecidas en los documentos del proyecto u ordenadas por el interventor.

Los lineamientos particulares para la medición de este ítem deben seguir lo descrito en el artículo 674, en el numeral 674.6.

684.7 Forma de pago

El pago por precio unitario, se realiza de acuerdo con lo ejecutado, incluyendo la excavación

con lechada autofraguante (lechada plástica); la colocación, inyección y tensado de los anclajes; la colocación de concreto lanzado; la construcción de cabezal y de bordillos y el tensado de los anclajes. Incluye lo que corresponda por: cargas y descargas de transporte hasta el lugar de la obra, obras auxiliares; mermas y desperdicios y en general, cualquier equipo, material y mano de obra que se requieran para la correcta ejecución de estos trabajos.

Lechada plástica: el pago se debe hacer al precio unitario del contrato por toda obra ejecutado de acuerdo con esta especificación y aceptada a satisfacción por el interventor. El precio unitario debe cubrir los costos del suministro y colocación de mortero (cemento-agua-bentonita-arena) y bentonita, del diseño de la mezcla, la elaboración de la mezcla, su transporte y vaciado sobre la excavación. Debe incluir también los costos de la señalización preventiva, el control del tránsito público durante la ejecución de los trabajos y en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución de los trabajos especificados.

Los siguientes ítems que hacen parte del sistema de contención se medirán de conformidad con las especificaciones generales de cada uno tal como se indica a continuación:

Excavación para conformación de terrazas: el trabajo se paga al precio unitario del contrato por toda obra realizada de acuerdo con el proyecto o las instrucciones del interventor, para la respectiva clase de excavación ejecutada satisfactoriamente y aceptada por este. El alcance de la forma de pago se describe detalladamente en la especificación 600, Excavaciones varias, numeral 600.7, y el pago de este tipo de excavaciones esta contemplada como ítem 600.1.2.1 Excavaciones varias sin clasificar.

Anclajes: el pago se hace al precio unitario del contrato, el alcance de la forma de pago se describe detalladamente en la especificación 623, Anclajes numeral 623.7.1.

Concreto lanzado con malla electrosoldada: el pago se hace al precio unitario del contrato por toda obra ejecutada de acuerdo con lo establecido en la especificación 812, Recubrimiento de taludes con malla y mortero, numeral 812.7.

Drenes: el pago debe hacer al precio unitario del contrato, el alcance de la forma de pago se describe detalladamente en la especificación 674, Drenes horizontales en taludes, numeral 674.7.

El precio unitario de cada uno de los ítems deberá incluir, también, los costos de administración e imprevisto y la utilidad del constructor.

684.8 Ítem de pago

Los ítems de pago están conformados de acuerdo con la magnitud del proyecto, recordando que el sistema de contención de esta especificación es un método de estabilización puntual en puntos críticos.

Item	Descripción	Unidad
648.1	Lechada Plástica e: 40 cm	Metro cuadrado (m^2)

Bolsas de geotextil gigantes (BGG)

Artículo 685 - 22

685.1 Descripción

685.1.1 Generalidades

Esta especificación consiste en el suministro, transporte, manejo, almacenamiento e instalación de bolsas de geotextil gigantes (BGG), y en la excavación, cargue, transporte, suministro y colocación del material de relleno dentro de las BGG, de acuerdo con los lineamientos, formas, dimensiones y sitios establecidos en los planos del proyecto o indicados por el interventor.

Las BGG son un sistema de confinamiento de suelos para ser usado a modo de estructura hidráulica, en obras de protección o de contención para vías, zonas portuarias, costas y riberas. Las BGG trabajan por gravedad confinando diversos tipos de material térreo como arcillas, limos y arenas.

El tamaño de poro, la permeabilidad, la resistencia al rasgado trapezoidal, al punzonamiento y explosión, permiten dos tipos de instalación: uno, mediante el uso de formaletas fijas, y, dos, por lanzado desde volquetas o formaletas especiales. Las características mecánicas de las BGG deben permitir soportar caídas propias de la operación de instalación sobre agua o sobre suelo.

685.1.2 Definiciones

685.1.2.1 Bolsa gigante de geotextil (BGG)

Las BGG son poliedros de gran formato, para ser llenados con suelo, fabricadas con geosintéticos de alto módulo, elaboradas con polipropileno, poliéster o mezclas de al menos dos (2) polímeros sintéticos de alta resistencia y alta tenacidad, que deben ser resistentes a la degradación UV y a sustancias químicas y biológicas naturales agresivas.

A continuación, se establecen definiciones sobre los parámetros más relevantes del material que compone las BGG, los que se presentan como requisitos mínimos para adelantar un diseño en particular.

685.1.2.1.1 Esfuerzo de tracción (MD/CD)

El esfuerzo de tracción es el valor principal para evaluar la capacidad de un geotextil, este tiene dos (2) pruebas ASTM para ser evaluado, una da el valor absoluto en Kilonewton (kN) y otra proporciona el valor como función de la sección analizada siendo el referente. Las normas técnicas para esto son la ASTM D4632 y la ASTM D4595. Este valor permite conocer la resistencia que puede ejercer la bolsa al ser instalada y determina su capacidad de instalación. Posteriormente el esfuerzo de tracción disminuye debido a que se generan perturbaciones en la estructura del polímero y su capacidad de servicio es inferior y debe ser debidamente calculada. Sin embargo, la mayor exigencia al material se da durante el proceso de instalación. Este valor debe ser tomado en las dos (2) direcciones principales de geotextil para determinar que soporta las solicitaciones (fuerzas) en todas las direcciones requeridas.

685.1.2.1.2 Elasticidad-elongación (MD/CD)

La elasticidad o la capacidad de elongación de la bolsa es fundamental para determinar si una bolsa gigante puede soportar las deformaciones a las que está sometida.

Esto se da bajo dos normas al igual que el esfuerzo de tracción, uno es especializado y el otro es estándar. Las normas que rigen esta propiedad son ASTM D4632 y la ASTM D4595.

685.1.2.1.3 Resistencia al rasgado trapezoidal (MD/CD)

La resistencia al rasgado se determina para que el geotextil de la bolsa resista a la propagación de perforaciones, que en caso de darse, induzcan a que la falla se desarrolle. Ademas, al evaluar esta propiedad, se puede determinar si la BGG puede ser instalada por lanzado. La norma bajo la que se evalúa esta propiedad es la ASTM D4533.

685.1.2.1.4 Resistencia a la oxidación y degradación por acción de rayos UV

Los rayos UV producen oxidación sobre los polímeros haciendo que se degraden las propiedades mecánicas del geotextil con el tiempo. La aplicación de estabilizadores tales como el negro de humo, u otros antioxidantes, o el control del peso molecular y grupo carboxilo durante la formulación del polímero permiten que las bolsas gigantes de geotextil resistan las condiciones ambientales y mantengan estables sus propiedades mecánicas. La resistencia a la oxidación y degradación UV se realiza a través de la norma ASTM D4355.

685.1.2.1.5 Esfuerzo de punzonamiento estático

El esfuerzo de punzonamiento permite conocer la resistencia del geotextil a ser perforado y es una propiedad determinante para conocer el procedimiento para instalar la bolsa. La propiedad se evalúa bajo la norma ASTM D6241.

685.1.2.1.6 Permitividad

La permitividad del geotextil permite conocer la impedancia que genera este al paso del agua. Esto permite evaluar la cantidad de agua que fluye por la bolsa, así mismo determina que la misma tenga un flujo de aire al ser instalada, pero impida un flujo de agua importante durante su servicio. La propiedad se evalúa bajo la norma ASTM D4491.

685.1.2.1.7 Permeabilidad al agua

La permeabilidad al agua, determina la cantidad de agua que pasa debido a un cambio de momentum en la masa de agua y determina al igual que la propiedad anterior si la bolsa tiene flujos internos debido a cambios de momentum en la zona que se encuentre saturada. La propiedad se evalúa bajo la norma ASTM D4491.

685.1.2.1.8 Tasa de flujo de agua

Si se encuentra un flujo o un caudal constantes pasando a través del geotextil, se determina que tan factible es que este se dé, determinando el cambio de momentum generado al pasar a través del geotextil. La propiedad se evalúa bajo la norma ASTM D4491.

685.1.2.1.9 Tamaño de abertura aparente

El tamaño de poro aparente determina la partícula de mayor tamaño que puede fugarse de la bolsa gigante de geotextil, permitiendo evaluar si el material de llenado satura o no el geotextil sellándolo para que el mismo impida el flujo de agua. La propiedad se evalúa bajo la norma ASTM D4751.

685.2. Materiales

685.2.1 Bolsa gigante de geotextil (BGG)

El tipo, dimensiones y las propiedades requeridas del geotextil que componen las BGG deben ser los establecidos en los documentos del proyecto o indicados por el interventor, de tal manera que se garantice la estabilidad externa e interna del sistema y la durabilidad del material geosintético.

El geotextil con el cual se elabora las BGG, como mínimo debe tener las especificaciones

técnicas establecidas en la Tabla 685-1.

Las BGG usan dos (2) tipos de hilos para su fabricación e instalación: a) un tipo de hilo para las costuras que posibilitan construir el poliedro, lo cual les proporciona una alta tenacidad, estos son hilos de poliéster o polímeros sintéticos resistentes a la degradación UV, las características técnicas de los hilos se presentan en la Tabla 685-2; y b) el segundo tipo de hilo es para coser las tapas de la BGG in situ, cuyas características se describen en la Tabla 685-3.

Tabla 685- 1 . Características del geotextil usado en la elaboración de BGG

Propiedad	Método de prueba	Unidades	Requisito
Propiedades mecánicas			
Esfuerzo a tracción (MD/CD)	ASTM D4632	kN	Según lo establecido en los documentos del proyecto (SEDP)
Elasticidad (MD/CD)	ASTM D4632	%	SEDP
Resistencia al rasgado trapezoidal	ASTM D4533	N	SEDP
WW esfuerzo de tracción (MD/CD)	ASTM D4595	kN/m	SEDP
WW elasticidad (MD/CD)	ASTM D4595	%	SEDP
GBR esfuerzo de punzonamiento	ASTM D6241	N	SEDP
Propiedades hidráulicas			
Permitividad	ASTM D4491	sec^{-1}	SEDP
Permeabilidad del agua	ASTM D4491	$m/sec*10^{-3}$	SEDP
Tasa de flujo de agua	ASTM D4491	$Lt/(m^2*s)$	SEDP
Propiedades físicas			
Tamaño de abertura aparente	ASTM D4751	mm	SEDP
Masa por unidad de área	ASTM D5261	g/m^2	SEDP
Espesor	ASTM D5199	mm	SEDP
Durabilidad			
Resistencia UV	ASTM D4355	%retained@500	SEDP

Las características de los hilos de la BGG en planta se presentan en la Tabla 685- 2.

Tabla 685- 2. Características de los hilos de BGG en planta

Propiedad hilo	Método de prueba	Unidades	Requisito
Propiedades mecánicas			
Esfuerzo de Rotura (cN)	ASTM D2256	N	Según lo establecido en los documentos del proyecto (SEDP)
Elongación de rotura	ASTM D2256	%	SEDP
Denier	ASTM D1907	Kg/9000m	SEDP
Propiedades físicas			
Tamaño de hilo	ASTM D5446	mm	SEDP
Masa unitaria	ASTM D5446	m/p	SEDP
Dirección de torsión	-	Adimensional	SEDP
Calibre	ASTM D5199	mm	SEDP
Durabilidad			
Resistencia UV	ASTM D4355	%retained@500hr	SEDP

Las condiciones de los hilos de poliéster o polímeros sintéticos resistentes a la degradación UV, para las costuras, deben caracterizarse por una alta tenacidad, cuyas características técnicas deben cumplir con lo que se presentan en la Tabla 685-3.

Tabla 685- 3. Características de los hilos para coser BGG in situ

Propiedad hilo	Método de prueba	Unidades	Requisito
Propiedades mecánicas			
Esfuerzo de Rotura (cN)	ASTM D2256	N	Según lo establecido en los documentos del proyecto (SEDP)
Elongación de rotura	ASTM D2256	%	SEDP
Denier	ASTM D1907	Kg/9000m	SEDP
Propiedades físicas			
Tamaño de hilo	ASTM D5446	mm	SEDP
Masa unitaria	ASTM D5446	m/p	SEDP
Dirección de torsión	-	Adimensional	SEDP
Calibre	ASTM D5199	mm	SEDP
Durabilidad			
Resistencia UV	ASTM D4355	%retained@500	SEDP

No se deben aceptar costuras con cables, cordones, cintas o por medio de agujones. Costuras con menos del número mínimo pasadas por unidad de longitud, según el fabricante o lo mínimo especificado en los documentos del proyecto debe ser rechazadas. Otro factor importante es la tensión del hilo, no se deben aceptar hilos sueltos o flojos. El número de pasadas de costuras debe ser como mínimo lo especificado en los documentos del proyecto o recomendado por el fabricante.

685.2.2 Material de relleno

Contando que los factores de forma y fricción entre geotextiles definen la estabilidad de las estructuras construidas con BGG, el material de llenado puede consistir en material terreo (preferiblemente de la zona inorgánico) no susceptible a la desintegración por la exposición al agua o a la intemperie. Deben estar razonablemente libres de materia orgánica; no deben tener óxido de hierro con excesiva alcalinidad o compuestos salinos, cuya composición pueda atacar el material del geotextil.

Para determinar el material de relleno de la BGG óptimo se debe verificar que este no contenga elementos que sean cortopunzantes y puedan generar rasgado del geotextil. Es importante verificar que el material de llenado no contenga elementos superiores a dos (2) pulgadas, no presente aristas punzantes o cortantes. Se puede utilizar cualquier relleno que cumpla con esto, pero se debe tener en cuenta la cantidad de vacíos presente en el material para determinar el volumen final contenido en la BGG después del proceso de construcción.

685.3 Equipo

Se requieren, principalmente, equipos para transporte del material de relleno y para la eventual adecuación de la superficie sobre la cual se construirán las BGG, así como herramientas manuales para las operaciones de tensionamiento, amarre y cierre de las BGG.

Se debe disponer de los equipos necesarios para instalar las BGG correctamente, así como de elementos de corte y costura, además de todos aquellos que se requieran para explotar, procesar, cargar, transportar, extender y compactar el material de relleno, de conformidad con esta especificación y los planos del proyecto o las instrucciones del interventor. El equipo que se use para compactar las capas de relleno sobre el geosintético debe ser acorde con la clase de BGG, el espesor de capa y las características de los materiales de apoyo y de relleno.

685.4 Ejecución de los trabajos

685.4.1 Generalidades

El diseño de las aplicaciones con BGG se realiza evaluando estrictamente la estabilidad de estructuras de retención-contención, de taludes y estructuras de protección hidráulicas, de acuerdo con su función. Las estructuras con BGG pueden ser diseñadas con los métodos tradicionales, realizando consideraciones tales como: coeficiente de fricción entre bolsas de geotextil (norma ASTM 5321 o otra aceptada por el interventor) u otras adicionales como introducir en los cálculos de diseño el factor de forma (factor que mide la distorsión final de la geometría de la BGG instalada). La distorsión de la geometría genera planos cóncavos y convexos entre las superficies de la BGG con lo cual, los esfuerzos de trabajo a considerar son normales (esfuerzos de contacto entre las BGGs) y tangenciales (esfuerzos de fricción entre geotextiles).

Los vectores de estos esfuerzos van en todas direcciones generando que se amolden las bolsas entre ellas, y el amarre entre unas y otras. Se debe comprobar visualmente las deformaciones mínimo cinco centímetros (5 cm) sobre el plano de la BGG, esto hace que el factor de forma se incremente; entre mayor sea este tipo de deformación, o el número de deformaciones, sin sobrepasar los tolerables,

la estabilidad debe ser mayor entre las BGGs.

La ejecución de la corona debe tener un ancho que permita el tránsito de volquetas y excavadoras, por lo que en los casos de diques y muelles los anchos de las coronas deben ser mínimo de cinco metros (5 m).

Las BGG lanzadas se acoplan acunándose en los espacios que quedan entre estas, con ello se logra estructuras complejas de grandes masas, entrelazadas, con capacidad de acomodarse en caso de socavaciones o movimientos de las BGG.

Los procesos de filtraciones a través de las estructuras de BGG no deben afectar la estructura al no presentarse erosión sobres los suelos contenidos en las BGG de la obra, sin embargo, estas filtraciones deben ser controladas mediante el taponamiento, para lo cual, se usa colocando BGG sobre el sector afectado.

Durante el proceso constructivo la cota de la corona debe estar asegurada de embates de inundación o golpes de olas, junto con una adecuada nivelación a fin de garantizar la circulación del equipo y el personal en la obra. La corona debe presentar una capa de arena o suelo local, este espesor debe aumentarse según la temporada invernal e indicaciones del interventor, con el fin de permitir el tránsito de las orugas de la maquinaria; el espesor mínimo, debe garantizarse durante todo el periodo de ejecución de los trabajos.

Para confirmar la estabilidad, se define un punto en el muro o estructura, y durante su construcción se debe estudiar que el mismo sea estable en el tiempo y no tenga cambios posicionales durante el proceso constructivo.

Se deben realizar pruebas de carga similares a las realizadas en puentes que estén descritas bajo la normatividad vigente o que sean aprobadas por el interventor. El objetivo de la prueba de carga, es verificar que, al ejercer una carga, no existan desplazamientos horizontales ni verticales no permisibles. Se han realizado pruebas de carga dinámica, para determinar la estabilidad de unidades o bloques de unidades de BGG, estas se han realizado llenando el cucharon de una excavadora, y al ponerlo sobre la bolsa se empuja, buscando producir deslizamiento o volcamiento.

La construcción de elementos con BGGs se realiza transitando sobre las mismas, esto genera revisiones constantes de la estabilidad de la obra al tener topografía y batimetría constante, evaluando el desempeño de la estructura.

Los trabajos de construcción con BGG, se deben efectuar según procedimientos puestos a consideración del interventor y aprobados por éste. Su avance físico se debe ajustar al programa de trabajo.

Si los trabajos de construcción o ampliación con BGG, afectan el tránsito normal fluvial o vial, intersecciones y cruces con otras vías, el constructor es responsable de tomar las medidas para permitir una adecuada movilidad.

Cuando se haya programado la construcción de BGG, se debe revisar la capacidad portante de los suelos de fundación, resistencia al corte de los suelos, socavación, asentamientos, velocidad, caudal, batimetría, topografía de las que se deben hacer lecturas por lo menos una vez al día, las cuales deben ser revisadas y aprobadas por interventoría.

685.4.2 Preparación del terreno

Antes de iniciar la colocación de las BGG, la superficie del terreno debe prepararse según las indicaciones de los documentos del proyecto y con los niveles allí señalados, o definidos por el interventor. Así mismo, antes de iniciar las obras con BGG, se debe verificar y eliminar elementos cortantes y punzantes del área del proyecto. Es factible, ejecutar las BGG en diversas condiciones de capacidades

portantes de los suelos de fundación, las cuales van a determinar las condiciones de asentamiento total.

En casos de presentar suelos de muy baja capacidad portante es factible confinar en las BGG para ser usados en la construcción de la obra. Anclajes y/o empotramientos son de alta importancia para asegurar las obras en costas y riveras, estos anclajes son construidos con el mismo suelo cortado siempre y cuando sea aceptada por el interventor.

Estas labores de preparación de la superficie de apoyo se ejecutan y pagan según los siguientes artículos:

- Excavaciones: artículo 600, Excavaciones varias.
- Rellenos: artículo 610, Rellenos para estructuras.

La superficie de apoyo debe ser compactada a satisfacción del interventor.

685.4.3 Instalación de bolsas gigantes de geotextil BGG

685.4.3.1 Instalación BGG con formaleta

Para esta operación se requiere de un juego de formaletas. En la ejecución, se debe colocar las formaletas en línea según se haya determinado el proceso constructivo, colocar dentro de las formaletas las BGG con las tapas extendidas hacia el exterior. Se aseguran las BGG mediante cuerdas, tres (3) a cada costado aseguradas a las asas de la formaleta.

Se llenan las BGG con los equipos o procedimientos definidos aceptados por el interventor y se llenan hasta la altura de la formaleta y se densifica el suelo lo mejor posible sin que afecte la integridad de la formaleta.

Para el cerrado de la tapa y costura de la tapa de las BGG, esta costura debe ser en “J” o lo especificado por los documentos del proyecto, y se debe asegurar que los hilos usados sean los adecuados, el calibre del hilo, el número de puntadas por pulgada y el tipo de máquina de coser o equipo definido por el interventor.
Terminada la costura de la primera BGG y llena la segunda BGG, se procede a levantar la formaleta con ayuda de los procedimientos definidos y aceptados por el interventor.

Se procede de igual forma con la unidad dos (2) y con la tres (3), antes de retirar la tercera debe estar llena y cosida la BGG de la formaleta uno (1), que en este caso debe estar ocupando la posición de la cuarta BGG.

Terminado el llenado y costura de la primera línea de BGG se procede a compactar con los equipos o procedimientos definidos aceptados por el interventor, durante la construcción el procedimiento debe propiciar una cota y nivel igual para todas las BGG.

685.4.3.2 Instalación BGG por lanzado

Se debe colocar la BGG en la volqueta, al igual que en la formaleta, la BGG se instala en el balde de la volqueta y se sujeta por medio de cuerdas.

Se llena la BGG con los equipos o procedimientos definidos aceptados por el interventor, se procede a coser la tapa asegurando costura en “J”, o lo especificado por los documentos del proyecto, con máquina de coser o equipo definido por el interventor.

Para el transporte y lanzado, la volqueta se desplaza sobre las unidades instaladas hasta llegar al frente de trabajo y procede con la descarga de la BGG, en esta operación se requiere de personal especializado en el lanzado.

La volqueta debe quedar alineada de tal forma que al levantar el balde la BGG quede en el lugar apropiado para continuar con la obra.

Cuando las unidades lanzadas alcanzan la cota predeterminada se procede con la compactación y cobertura con cinco centímetros (5 cm) de arena para continuar con el transporte de las BGG.

No se deben aceptar costuras con cables, cordones, cintas o por medio de agujones. Costuras con menos del número mínimo pasadas por unidad de longitud, según el fabricante o lo mínimo especificado en los documentos del proyecto debe ser rechazadas. Otro factor importante es la tensión del hilo, no se deben aceptar hilos sueltos o flojos. El número de pasadas de costuras debe ser como mínimo lo especificado en los documentos del proyecto o recomendado por el fabricante.

685.4.4 Acabado

Terminada la colocación de las BGG, se procede a verificar las cotas finales, según sea el caso se procede con el cierre de protección de las BGG, este se puede hacer con: suelos orgánicos para propiciar coberturas bióticas, roca de escollera (sin filos o elementos punzantes) después de colocar un geotextil de protección acuerdo con los planos del proyecto o aceptado por el interventor, cortinas de concreto con geoceldas, estructuras de pavimentos o en diques y muelles, u otro aceptado por el interventor.

685.4.5 Integridad

El constructor responde, hasta la aceptación final, por la integridad estructural de la obra, sin cargo para el INVÍAS, unidades con roturas o fuera de la línea de fábrica o cualquier tramo que, a juicio del interventor, presente defectos constructivos o deterioros atribuibles al descuido o negligencia del constructor o por causas distintas a las indicadas a continuación.

Si el trabajo ha sido hecho adecuadamente conforme a las especificaciones, los planos del proyecto, las indicaciones del interventor, y resultaran daños causados exclusivamente por tránsito antes del correcto curado del concreto, fallo de base subbase o subrasante de la estructura de pavimento, lluvias copiosas que excedan cualquier máximo de lluvias de registros anteriores, derrumbes inevitables, terremotos, inundaciones que excedan la máxima cota de elevación de agua registrada o señalada en los planos, se reconocerá al constructor los costos por las medidas correctoras, las excavaciones necesarias y la reconstrucción del sistema, salvo cuando los derrumbes, hundimientos o inundaciones se deban a mala construcción de las obras, falta de retiro oportuno de formaletas u obstrucciones derivadas de operaciones deficientes de construcción, imputables al constructor.

685.4.6 Control de tránsito

El constructor debe instalar todos los elementos de señalización preventiva en la zona de los trabajos, los cuales deben garantizar la seguridad permanente, tanto del personal y equipos de construcción como de usuarios y transeúntes.

Los vehículos no deben transitar directamente en contacto sobre las BGG, para evitar cortes, desgarros o daños al elemento de confinamiento.

685.4.7 Limitaciones de ejecución

La construcción con BGG solo se lleva a cabo cuando no haya lluvia, en casos de obras costeras se hará un estricto seguimiento de las mareas a fin de operar en marea baja, también se hará seguimiento de vientos y corrientes para prevenir daños por oleaje.

En ríos siempre se deben tener monitoreo de crecidas, avenidas y avalanchas, los vigías deben ubicarse a distancia tal que permita un tiempo de reacción mínimo de una (1) hora.

Se debe hacer el control y vigilancia hacia el

vandalismo, este se debe hacer hasta terminado el cierre de protección según lo determinado por el diseño y aprobado por el interventor.

La instalación de BGG se debe realizar en condiciones de luz solar. En operación de lanzado no se debe por ningún motivo trabajar en horas nocturnas, excepto que existan adecuados equipos de iluminación a costo del constructor, que permitan de forma segura dichas operaciones y cuenten con la aprobación del interventor.

685.4.8 Manejo ambiental

Al respecto, rige en un todo lo especificado en el artículo 106, Aspectos ambientales.

Adicionalmente, se debe tener en cuenta todas las determinaciones referentes a la construcción de diques, terraplenas y muelles que deberán ser tomadas considerando la protección del medio ambiente y las disposiciones vigentes sobre el particular.

En particular, se debe prestar atención al correcto funcionamiento de los dispositivos de control de emisiones de sedimentos y a la protección vegetal de los taludes para evitar erosiones y arrastre de partículas sólidas.

685.5. Condiciones para el recibo de los trabajos

685.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y funcionamiento de todo el equipo de construcción.
- Supervisar la correcta aplicación de los métodos de trabajo aceptados.
- Verificar que cada BGG tenga en forma clara la información del fabricante, el número del lote y la referencia del producto, así como la composición química del mismo.
- Comprobar que durante el transporte y el almacenamiento, las BGG tengan los empaques que los protejan de la acción de los rayos ultravioleta, agua, barro, polvo, y otros materiales que puedan afectar sus propiedades.
- Verificar que el sistema de almacenamiento garantice la protección de las BGG contra cualquier tipo de deterioro.
- Supervisar la correcta aplicación del método aceptado en cuanto a la colocación de las BGG y la construcción de las capas de relleno.
- Verificar que los diferentes niveles de BGG se colocan en las cotas definidas en los documentos del proyecto, con los ajustes que haga el interventor.
- Efectuar ensayos de control sobre el geosintético de la BGG en un laboratorio independiente al del fabricante o del proveedor, y los ensayos pertinentes al material de costura y cobertura.
- Efectuar ensayos de control sobre el material de relleno, según las especificaciones del proyecto. Así mismo, comprobar que los materiales por emplear cumplan los requisitos de calidad exigidos en el numeral materiales de esta especificación.
- Comprobar que las costuras tengan al menos el número mínimo pasadas por unidad de longitud, según el fabricante o lo mínimo especificado en los documentos del proyecto. Así mismo, verificar que la tensión del hilo sea el especificado por el proyecto, y no se deben aceptar hilos sueltos o flojos.

- Comprobar la compactación, la topografía y batimetría de la ejecución de los trabajos.
- Realizar medidas para determinar volúmenes, levantar perfiles y comprobar la uniformidad de la obra.
- Medir, para efectos de pago, las cantidades de obra ejecutadas a satisfacción.
- Vigilar el cumplimiento de los programas de trabajo.

685.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

685.5.2.1 Calidad de materiales

Se debe verificar las propiedades de las BGG, costura y relleno, mediante certificado de calidad del producto, aportado por el fabricante o proveedor. El fabricante o proveedor de las BGG y del geosintético debe contar con un proceso de producción que incluya un sistema de gestión de la calidad certificado bajo la norma ISO 9001. El laboratorio, propio o externo, que se use para realizar los ensayos de control de calidad de la producción, debe estar acreditado bajo la norma ISO/IEC 17025 o contar con una acreditación Geosynthetic Accreditation Institute - Laboratory Accreditation Program (GAI-LAP) del Geosynthetic Institute (GSI).

El fabricante o proveedor debe suministrar el programa de control de calidad y los datos de soporte, en el que se indiquen los requisitos de ensayos, los métodos de ensayo, la frecuencia de los ensayos, los criterios de aceptación en la fabricación y el tamaño del lote para la evaluación de cada producto.

El material de relleno de las BGG, debe ser el especificado en los planos del proyecto o aceptado por el interventor, se debe verificar que este no contenga elementos que sean cortopunzantes y puedan generar rasgado del geotextil.

Es importante verificar que el material de llenado no contenga elementos superiores a dos (2) pulgadas, no presente aristas punzantes o cortantes. El material debe ser compactado según las especificaciones del proyecto a los criterios dados por el interventor.

685.5.2.2 Calidad del producto terminado

685.5.2.2.1 Acabado

La obra en cada tramo diario debe presentar orientación, niveles, pendientes, taludes y cota uniforme según lo establecido en el diseño de la obra.

El sistema terminado no debe acusar irregularidades a la vista.

La distancia entre el eje del proyecto y el borde del terraplén no debe ser menor que la distancia señalada en los planos o modificada por el interventor.

La cota de cualquier punto de la capa superior, no debe variar en más de treinta milímetros (30 mm) de la cota proyectada, medida verticalmente hacia abajo.

No se tolera en las obras concluidas, ninguna irregularidad que impida el correcto funcionamiento de la obra.

685.5.2.2.2 Irregularidades

Todas las irregularidades que excedan las tolerancias de la presente especificación deben ser corregidas por el constructor, a su costa, de acuerdo con las instrucciones del interventor y a plena satisfacción de éste.

685.6 Medida

La unidad de medida para el material de geotextil de las BGG es el metro cuadrado (m^2), aproximado al décimo del metro cuadrado, colocado, cocido y aceptado a satisfacción por el interventor, en su posición final. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E- 823.

La unidad de medida para los volúmenes de relleno del sistema BGG es por metro cúbico (m^3), aproximado al décimo de metro cúbico, colocado, cocido y aceptado a satisfacción por el interventor, en su posición final. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E- 823.

No hay medida ni pago para el sistema BGG, por fuera de las líneas del proyecto o de las establecidas por el interventor, efectuados por el constructor, ya sea por negligencia o por conveniencia para la operación de sus equipos.

685.7 Forma de pago

El precio unitario del ítem 685.1 bolsas gigantes de geotextil. (BGG) debe incluir el suministro, almacenamiento, transporte y colocación de la BGG; los traslapos, costuras y sujeciones; todo equipo y mano de obra requeridos para ejecutar esta labor y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución del trabajo especificado. Además, debe cubrir los costos por concepto de desperdicios. El precio unitario debe cubrir los costos de las BGG, nivelación, topografía, batimetría y demás trabajos preparatorios de las áreas en donde se ha de construir la obra; debe cubrir, en general, todo costo relacionado con la correcta construcción del sistema BGG, de acuerdo con esta especificación, los planos y las instrucciones del interventor. El precio unitario debe cubrir, también, los costos de administración, imprevistos y la utilidad del constructor.

El precio unitario del ítem 685.2: Material de relleno de la BGG, debe cubrir los costos de extracción, preparación y suministro de los materiales en el sitio de la obra; la obtención de los permisos y derechos de explotación, la construcción o adecuación de las vías de acceso a las zonas de préstamo; la adecuación de dichas zonas una vez extraído el material, para recuperar las características hidrológicas superficiales; Los cargues, formaletas, transportes, equipos para compactación y conformación del relleno; la señalización preventiva de la vía y el ordenamiento de todo tipo de tránsito durante la ejecución de los trabajos y el período posterior en que se deba impedir o controlar, de acuerdo con las instrucciones del interventor; todo equipo y mano de obra requeridos para ejecutar esta labor y, además de cubrir los costos por concepto de desperdicios y en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución del trabajo especificado. El precio unitario debe cubrir, también, los costos de administración, imprevistos y la utilidad del constructor.

El sistema se paga al precio unitario del contrato, por toda obra ejecutada satisfactoriamente de acuerdo con la presente especificación y aceptada por el interventor.

Salvo que el proyecto indique lo contrario, se debe aplicar el mismo precio unitario a todas las partes del proyecto.

685.8 Ítem de pago

Artículo	Ítem	Unidad de Medida
685.8.1	Bolsas gigantes de geotextil. (BGG)	Metro cuadrado (m^2)
685.8.2	Material de relleno, cargue, transporte, e instalación de BGG	Metro cúbico (m^3)

Muro en suelo claveteado con paneles de concreto

Artículo 686 - 22

686.1 Descripción

Este trabajo corresponde a la construcción de estructuras de contención y/o de refuerzo de taludes, sean estas destinadas al terreno natural o a la ejecución de rellenos, mediante la adopción combinada de anclajes pasivos o clavos y paneles de concreto prefabricado, en los sitios y con las dimensiones señaladas en los documentos del proyecto y aprobados por el interventor.

En la figura 686-1 se presenta de forma general los principales componentes descritos en el presente artículo, así como el aspecto de la estructura finalizada.

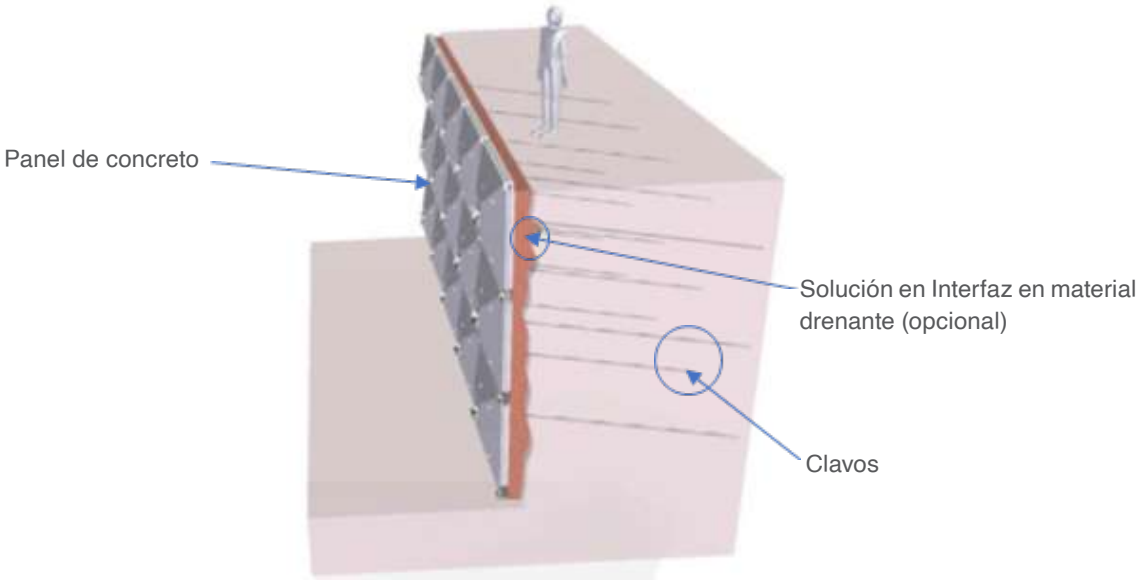


Figura 686-1. Representación esquemática de estructura terminada

686.2 Materiales

686.2.1 Paneles de concreto

El concreto para la construcción de los paneles debe ser del tipo definido en los documentos del proyecto y su elaboración se debe hacer según lo especificado en el artículo 630, Concreto estructural. Si los documentos del proyecto no indican algo diferente, el concreto debe tener una resistencia mínima a la compresión de treinta megapascales (30 MPa) a veintiocho (28) días. Adicionalmente, se debe demostrar que existe capacidad de producción

por parte del constructor de las dimensiones individuales propuestas en los planos del proyecto, sea en instalaciones propias o a través de un proveedor.

Los paneles deben ser construidos en concreto reforzado. El tipo, cantidad y disposición del acero de refuerzo utilizado para los módulos debe cumplir lo establecido en los documentos del proyecto y con el artículo 640, Acero de refuerzo, así como debe depender de la calidad del concreto utilizado.

686.2.2 Accesorios para conexión entre paneles

Los elementos de conexión deben ser resistentes a las condiciones químicas y ambientales del sitio de construcción. De cada tipología de conexión se deben presentar esquemas que permitan realizar su instalación de forma adecuada (ver figura 686-2). El proceso de tensionamiento de los elementos debe estar claramente definido tanto en magnitud como en los momentos en los cuales debe ser ejecutado.

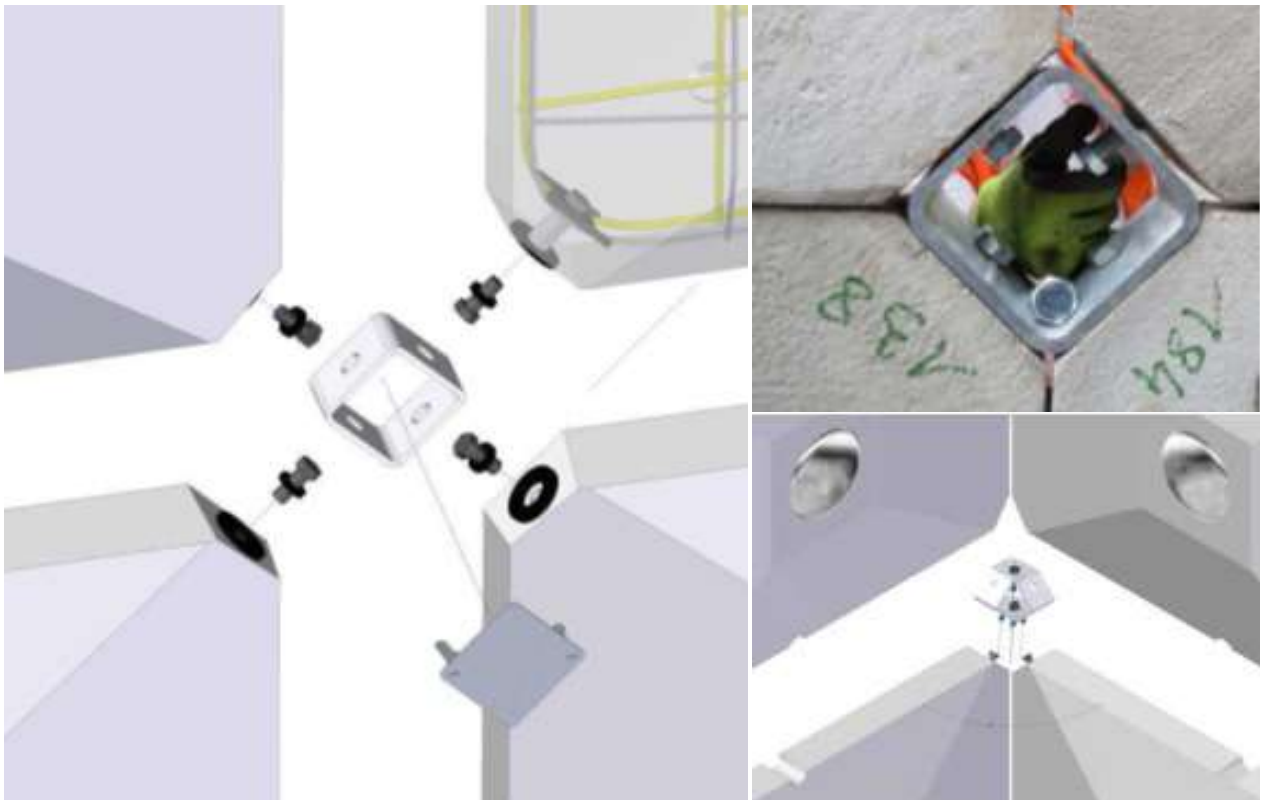


Figura 686-2. Detalle de accesorios para conexión entre paneles de concreto (ilustrativo)

686.2.3 Clavos

Los materiales, fabricación y criterios para control de calidad se deben realizar según lo establecido en los documentos del proyecto y las secciones 34.3 y 34.4 de AASHTO LFRD Bridge Construction Specifications. En caso de que no se encuentre definido en los documentos del proyecto, los clavos deben alcanzar una tensión de servicio mínima de ciento setenta kilonewtons (170 kN).

Las barras utilizadas como elemento de anclaje deben cumplir con lo establecido en los

artículos 640 y 641, Acero de refuerzo y acero de preesfuerzo respectivamente.

Las inyecciones en los ductos para instalación de clavos deben cumplir con lo establecido en los documentos del proyecto, así como en el artículo 631, Lechada para ductos de concreto preesforzado y en 34.3.2 de AASHTO LFRD Bridge Construction Specifications.

Los accesorios para establecer la conexión entre los elementos de concreto y los clavos deben permitir el adecuado ajuste entre las piezas dentro del intervalo definido en el numeral 686.5.2.5. De igual manera se deben presentar esquemas constructivos que permitan establecer la forma y orden de instalación (ver figura 686-3).

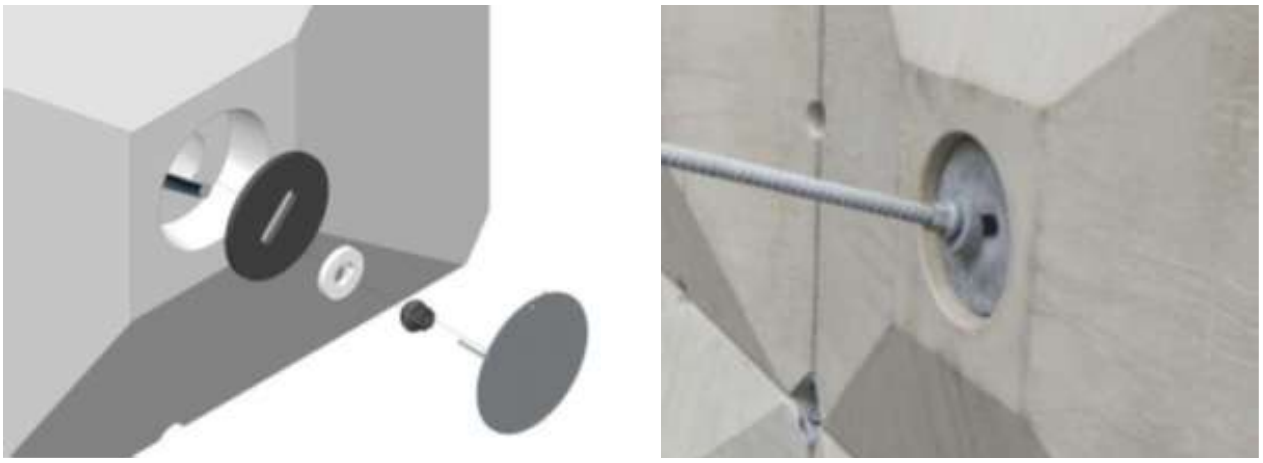


Figura 686-3. Detalle de accesorios para unión de clavo a panel de concreto (ilustrativo)

686.2.4 Drenaje

Si en los documentos del proyecto se adopta una alternativa de drenaje distinta a las consideradas en las presentes especificaciones generales, es necesario definir una especificación particular.

La propuesta de drenaje debe incluir los diseños de las estructuras y/o adecuaciones necesarias, que permitan garantizar la entrega de las aguas procedentes del muro a otro sistema de conducción de aguas de origen pluvial o a un efluente natural cercano.

En el caso en que se opte por el uso de un sistema de drenaje con material granular, su diseño y proceso constructivo deben cumplir con lo establecido en el artículo 673, Subdrenes con geotextil y material granular.

El material utilizado para la elaboración del drenaje entre los paneles y el suelo (ver Figura 686-1) debe cumplir con lo establecido en los documentos del proyecto, así como con lo establecido en el numeral 610.2.4 del artículo 610, Rellenos para estructuras. Si en los documentos de proyecto se solicita, se debe incorporar una cantidad de cemento hidráulico al material drenante. En ningún caso la cantidad puede ser inferior a setenta kilogramos por metro cúbico (70 kg/m^3) del material drenante compactado.

Para los casos en que se realice la construcción de rellenos, independientemente del sistema de drenaje adoptado, se debe instalar un geotextil de separación en la cara posterior de los paneles de concreto que evite la pérdida de la fracción fina del material de relleno. Los materiales, controles y procedimientos para

su suministro e instalación deben cumplir con lo establecido en el artículo 231, Separación de suelos de subrasante y capas granulares con geotextil, en lo que concierne a geotextiles no tejidos.

686.2.5 Relleno

En los casos en que sea necesaria la ejecución de rellenos, los documentos del proyecto deben definir los requisitos del material, el cual puede ser: material granular tipo SBG (artículo 610, numeral 610.2.3), material granular tipo BG (artículo 610, numeral 610.2.3), o un material de características diferentes que cumpla con los requisitos definidos en la Tabla 686-1.

No se permite el uso de materiales procedentes de procesos industriales o de manipulación humana como residuos de construcción y demolición (RCD), residuos de fresado de capas asfálticas, o cualquier otro material con uso previo.

Tabla 686-1. Requisitos para los materiales de relleno

Propiedad	Norma de ensayo INV	Requisito
Tamaño máximo (mm)	E-123	20
Porcentaje que pasa a través del tamiz de 0,425 mm (nro. 40), máximo (%)	E-123	60
Porcentaje que pasa a través del tamiz de 0,075 mm (nro. 200), máximo (%)	E-123	15
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-133	6
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%) (Nota 1) - Sulfato de sódio - Sulfato de magnésio	E-220	 12 18

Nota 1: Se puede validar el requisito de durabilidad, empleando cualquiera de los dos sulfatos indicados.

Los materiales de relleno deben cumplir también, las propiedades electroquímicas que se indican en la Tabla 686-2.

Tabla 686-2. Propiedades electroquímicas de los materiales de relleno

Propiedad	Norma de ensayo	Requisito
Resistividad (ohm-cm)	AASHTO T 288	> 3 000
pH	AASHTO T 289	5 a 10
Cloruros (ppm)	ASTM D4327	< 100
Sulfatos (ppm)	ASTM D4327	< 200
Contenido de material orgánica (%)	INV E-121 / UNE 103204	≤ 0,2

686.3 Equipo

Para las diferentes etapas del proceso constructivo, se debe cumplir con lo establecido en los numerales 610.3, 623.3, 630.3, 631.3, y 640.3 de los respectivos artículos.

El constructor debe suministrar el equipo necesario para izar, transportar y posicionar los paneles de concreto. En ninguna circunstancia se permite que estos procedimientos sean realizados únicamente por trabajadores, restringiendo su participación únicamente al

proceso de guiado previo al encaje en su sitio de emplazamiento final.

En los casos en que sea necesaria la ejecución de rellenos se requiere además, equipo para la explotación, procesamiento, extensión, humedecimiento, conformación y compactación de este material.

686.4 Ejecución de los trabajos

686.4.1 Paneles de concreto

686.4.1.1 Fabricación

Los materiales, procedimientos, herramientas, dimensiones, y todo lo relacionado con la producción de los paneles de concreto, se debe realizar según lo establecido en los documentos del proyecto, así como según lo establecido en las partes pertinentes de los artículos 630 y 640. Los materiales y procedimientos empleados en la fabricación deben contar con la aprobación previa del interventor y están sujetos a su inspección durante la ejecución de los trabajos; deben permitir la producción de una manera ordenada, que garantice la obtención de un producto de características uniformes, de acuerdo con los diseños y dentro de las especificaciones. La zona de trabajo se debe adecuar para el desarrollo de todas las operaciones. El interventor puede exigir todos los cambios que considere necesarios para cumplir estos preceptos.

En el caso en que los paneles sean fabricados en una instalación diferente del sitio de ejecución de las obras, será necesario que el constructor entregue oportunamente al interventor, y éste apruebe, la información necesaria para permitir el control de calidad de los materiales según lo dispuesto en los artículos 630 y 640.

686.4.1.2 Descarga y almacenamiento de los paneles

Los paneles se deben descargar y manipular de tal forma que no se vea afectada su integridad estructural y/o estética. La forma de transporte no debe generar solicitaciones mecánicas adicionales a aquellas consideradas durante su proceso de diseño. En caso de que esto último no se pueda cumplir, el constructor debe presentar al interventor la memoria técnica del procedimiento en el cual verifique que no hay afectación a la capacidad de diseño de los elementos, para su revisión y aprobación.

686.4.1.3 Montaje de los paneles

El montaje de los paneles se debe efectuar por filas horizontales sucesivas, siendo necesaria la realización de controles de posición y garantizar cumplimiento de tolerancias para cada fila antes de proceder a instalar la siguiente (ver Figura 686-4).

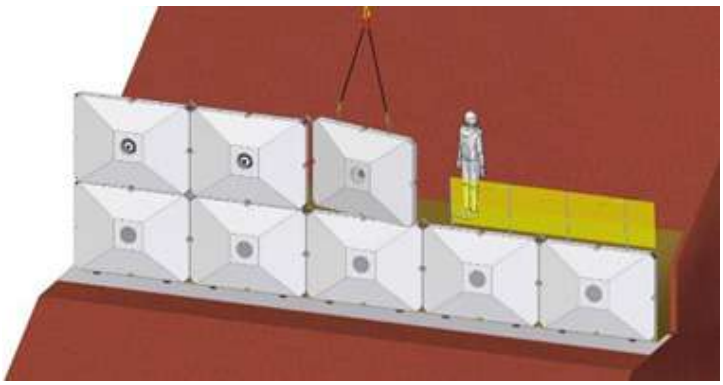


Figura 686-4. Esquema de montaje de paneles en sentido ascendente

En los casos en los cuales se proceda a construir la estructura en un corte, el constructor debe garantizar la posición y alineamiento de las filas de paneles, utilizando para ello equipos y procedimientos que sean aprobados por el interventor (ver Figura 686-5).

Figura 686-5. Esquema de montaje de paneles en sentido descendente

En los casos en que se vaya a ejecutar un relleno, los paneles correspondientes a la primera fila deben descansar sobre bloques de madera durante su instalación (ver Figura 686-6). Cada panel debe estar apoyado por lo menos sobre dos cuñas. Para conseguir usar los bloques de madera, se debe realizar una sobreexcavación entre cinco centímetros (5 cm) y diez centímetros (10 cm).

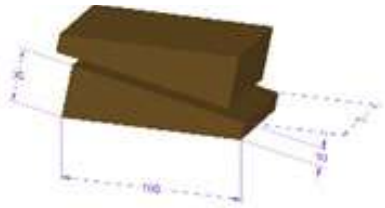


Figura 686-6. Detalle de bloques de apoyo para primera fila de paneles

Cuando sea necesario realizar correcciones a la posición de los paneles, solo se acepta el procedimiento antes del tensionamiento de los clavos.

686.4.2 Clavos

Su ejecución debe cumplir con lo establecido en la sección 34.5 de AASHTO LFRD Bridge Construction Specifications. La adopción de elementos de protección contra corrosión debe satisfacer lo contemplado en 34.3.3 del mismo documento.

686.4.3 Pruebas de carga

La localización de los clavos de prueba, las cargas máximas por aplicar, el equipo de prueba que deba suministrar el constructor y la ejecución de las pruebas de carga, deben corresponder a lo indicado en los documentos del proyecto aprobados por el interventor, así como a lo establecido en el numeral 34.5.5 AASHTO LFRD Bridge Construction Specifications.

Al respecto de la aceptación de las pruebas de carga, se debe cumplir con lo establecido en

el numeral 34.5.5.4 de AASHTO LFRD Bridge Construction Specifications.

De las aplicaciones de carga durante el tensado y las pruebas de carga, se deben llevar registros detallados sobre carga y deformación en el tiempo, según protocolo aprobado por la interventoría.

686.4.4 Obras de corte

Previo al inicio de las actividades, se debe contar con la totalidad de los clavos requeridos para la fila.

Realizar la limpieza y perfilado de un espesor mínimo de la altura del panel, incrementado por el espesor para montaje de las cuñas de ajuste. Posterior a esto, posicionar el panel y los elementos de conexión a las otras placas, sin darles el ajuste definitivo. No se deben retirar aun los elementos y equipo de izaje, ni aliviar la fuerza en el equipo.

Realizar tensionamiento de cada clavo y dar ajuste definitivo a todos los elementos de conexión.

686.4.5 Obras de terraplén

Previamente se deben haber posicionado los clavos de anclaje. Posicionar los paneles, elementos de conexión y clavos antes de depositar y compactar el material de relleno. Se deben hacer varias verificaciones de posición de los paneles durante la compactación del relleno correspondiente a una misma fila. La ocurrencia de errores de alineamiento por efecto de la compactación no se puede considerar como una causa justa para aceptación o pago de mayores cantidades.

686.4.6 Limpieza final

Al terminar la obra, y antes de la aceptación final del trabajo, el constructor debe retirar del lugar toda obra falsa, materiales no utilizados, desechos, basuras y construcciones temporales, restaurando en forma aceptable para el interventor, toda propiedad, tanto pública como privada, que pudiera haber sido afectada durante la ejecución de este trabajo y dejar el lugar de la estructura limpio y presentable.

686.4.7 Limitaciones en la ejecución

No se debe permitir adelantar los trabajos objeto del presente artículo, cuando la temperatura ambiente a la sombra y la de la superficie sean inferiores a dos grados Celsius (2 °C) o haya lluvia o fundado temor de que ella ocurra.

Los trabajos de construcción se deben realizar en condiciones de luz solar; sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que sea aprobado por este. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

686.4.8 Manejo ambiental

Adicional a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las labores requeridas para la construcción de muros en suelo claveteado con paneles de concreto, se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en los estudios y evaluaciones ambientales del proyecto, así como en las normas y disposiciones vigentes sobre conservación del ambiente, los recursos naturales y protección de la comunidad.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación acatan lo

establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades se deben incluir en los costos del proyecto; por tanto, no son objeto de reconocimiento directo en el contrato.

686.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

686.5.1 Controles

El plan de calidad y el de inspección, medición y ensayo son de obligatorio cumplimiento, tal como se encuentra expresado en el numeral 103.2 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor.

Durante la ejecución de los trabajos, se adelantan los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y funcionamiento de todo el equipo empleado.
- Constatar el cumplimiento de las disposiciones existentes en el artículo 102, Aspectos generales de seguridad y salud.
- Comprobar que los materiales por utilizar acaten los requisitos de calidad exigidos por esta especificación.
- Vigilar la regularidad en la producción de los agregados y en la elaboración de las mezclas de hormigón.
- Efectuar los ensayos necesarios para el control de las mezclas.
- Supervisar la correcta aplicación del método de trabajo aprobado.
- Corroborar que el alineamiento, pendiente, verticalidad o forma del paramento, sección y acabado de los paneles, cumplan los requerimientos de los documentos del proyecto.
- Medir las cantidades de obra ejecutadas satisfactoriamente por el constructor.

686.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

686.5.2.1 Calidad del concreto

En lo referente a la calidad de los materiales constituyentes y las mezclas de concreto producidas con estos, se aplican los criterios establecidos en el artículo 630. Los resultados de ensayos de control de calidad deben ser entregados por el constructor al interventor, los cuales deben ser ejecutados por un laboratorio distinto de aquel con que cuente el proveedor de concreto y/o los paneles terminados.

686.5.2.2 Refuerzo de los paneles

No se admite tolerancia alguna por parte del interventor en relación con la calidad establecida para el acero en el numeral 640.2 del artículo 640.

686.5.2.3 Aceptación de los paneles

Para su colocación, los paneles solamente se aceptan si cumplen con las dimensiones del diseño y demás requisitos establecidos en esta especificación y en las particulares del contrato. Sus superficies deben apegarse al tipo de textura definido en los documentos del proyecto y aprobada por el interventor. No se deben presentar imperfecciones como bordes salientes, hormigueros u otros defectos. Todos los paneles que presenten defectos en la superficie a la vista o señales de haber sido averiados durante su manejo deben ser rechazados por el interventor.

686.5.2.4 Calidad de los materiales de los clavos

En relación con la calidad de los materiales que componen el anclaje pasivo o clavo y la inyección, se debe cumplir con todas sus

características y, en especial, con lo establecido en el numeral 686.2.3.

686.5.2.5 Tolerancias de construcción de los clavos

Se deben aceptar las tolerancias descritas en 34.5 de AASHTO LFRD Bridge Construction Specifications, así como las siguientes:

- La inclinación de la perforación para instalación del clavo se debe encontrar dentro de más o menos tres grados (± 3°) del valor establecido en los documentos del proyecto.

- El desplazamiento de la cabeza del clavo no debe diferir de lo prescrito, en más de cincuenta milímetros (50 mm), medidos en cualquier dirección.

686.5.2.6 Pruebas de carga a los clavos

Los criterios de aceptación de las pruebas de carga son los establecidos en el numeral 34.5.5 de AASHTO LRFD Bridge Construction Specifications.

Todo clavo defectuoso por problemas de calidad de los materiales, por incumplimiento en las tolerancias de construcción o por comportamiento no satisfactorio en las pruebas de carga, debe ser reemplazado y ensayado por el constructor por uno o varios clavos nuevos, sin costo adicional para INVIAS, de manera que se conserven las condiciones de resistencia, seguridad y funcionalidad del diseño original. El plan de disposición de los nuevos clavos que proponga el constructor para suplir los elementos deficientes requiere la aprobación del interventor para su ejecución.

686.5.2.7 Relleno

La calidad del material de relleno se debe evaluar en función de sus características y de los requisitos aplicables de las presentes especificaciones, según sea el tipo de material por utilizar, de acuerdo con lo señalado en el numeral 686.2.5.

El valor del peso unitario seco máximo se debe obtener según la norma de ensayo INV E-142, efectuando, de ser necesaria, la corrección por la presencia de partículas gruesas de acuerdo con la norma INV-E 143. La humedad de compactación debe permanecer dentro del intervalo de más o menos dos por ciento (± 2 %) con relación al valor óptimo determinado mediante la norma INV E-142.

Excepto que los documentos del proyecto especifiquen algo diferente, la capa de relleno se acepta si el grado de compactación individual GC_i, calculado para todos los ensayos de densidad en el terreno efectuados en la capa, cumple con lo siguiente:

$$GC_i \geq 95.0\ \% \qquad [686.1]$$

686.5.2.8 Calidad del producto terminado

En caso de que la superficie a la vista del muro en suelo claveteado con paneles de concreto presente irregularidades que sean notorias, debe ser rechazada por el interventor.

En lo que respecta a las dimensiones del muro y su localización en planta, se aceptan las tolerancias que resulten pertinentes del artículo 630, numeral 630.5.3.

Toda obra ejecutada donde los defectos de calidad y terminación excedan las tolerancias de esta especificación, se debe corregir por el constructor, bajo su propia cuenta y riesgo, sin costo adicional para INVIAS, de acuerdo con los procedimientos aprobados por el interventor y hasta conseguir su aprobación.

686.6 Medida

686.6.1 Paneles en concreto

La unidad de medida de los paneles en concreto es el metro cuadrado (m^2), aproximado a la décima (0,1), de paneles realmente suministrados, colocados y terminados, debidamente aceptados por el interventor. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

El área se debe determinar multiplicando el área de un panel completo, multiplicada por el número de paneles de igual área, aceptados por el interventor. El área total debe ser la suma de los valores parciales resultantes según existan tamaños distintos.

686.6.2 Clavos

La unidad de medida para los clavos es la unidad (u), de clavos realmente suministrados, construidos, debidamente aceptados por el interventor, para cada longitud existente dentro de la obra.

El interventor solo debe contabilizar los clavos cuando el constructor los haya completado totalmente y hayan superado las pruebas de calidad establecidas en los documentos del proyecto y en el presente artículo.

686.6.3 Pruebas de carga

Las pruebas de carga se deben medir por unidad (u), computándose únicamente las establecidas en estas especificaciones, los documentos del proyecto y las ordenadas por el interventor. No deben ser contabilizadas, para pago, aquellas realizadas debido a los clavos que no superen la prueba de carga, como se indica en el numeral 686.5.2.6.

Las pruebas de carga realizadas en clavos por dudas en su calidad debido a trabajos defectuosos imputables al constructor, no se deben medir ni pagar, como tampoco las que se efectúen por solicitud de este último.

686.6.4 Geotextil de separación

En caso se apruebe su instalación, su unidad de medida es el metro cuadrado (m^2), aproximado a la décima (0,1), de geotextil realmente suministrado, colocado y terminado, debidamente aceptado por el interventor. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823. El área debe coincidir con la de los paneles de concreto colocados en sitios donde haya conformación de terraplén.

686.6.5 Relleno

La unidad de medida del relleno es el metro cúbico (m^3), aproximado al entero, de material suministrado, colocado y terminado de acuerdo con los documentos del proyecto y debidamente aceptado por el interventor. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

Los volúmenes se deben determinar con base en las áreas de las secciones transversales del proyecto localizado, verificadas por el interventor antes y después de ser ejecutados los trabajos de relleno. Dichas áreas deben estar limitadas por las líneas de pago teóricas, mostradas en los documentos del proyecto o autorizadas por el interventor. No se deben medir cantidades en exceso de las indicadas en los documentos del proyecto aprobadas por el interventor.

Si se realiza la determinación de volumen considerando como límite la parte posterior de los paneles de concreto, se debe descontar el volumen ocupado por el material filtrante.

686.6.6 Drenaje

Si el sistema adoptado corresponde al establecido en el artículo 673, se debe aplicar lo dispuesto en el numeral 673.6.

En el caso en que se defina un método distinto, se debe acudir a la especificación particular aprobada para la actividad.

686.7 Forma de pago

El pago se debe hacer al precio unitario del contrato por toda obra ejecutada de acuerdo con los documentos del proyecto, la presente especificación y según lo que sea aprobado por el interventor.

686.7.1 Paneles en concreto

El precio unitario debe cubrir los costos de todos los materiales empleados en la fabricación de los paneles con las dimensiones especificadas, incluyendo formaletas o moldes, el acero de refuerzo, bloques para corrección de posición y los materiales para las juntas y su colocación; la elaboración de la mezcla de fabricación de los paneles de acuerdo con los documentos del proyecto y lo aprobado por el interventor; los equipos, la mano de obra y los accesorios para conexión requeridos; patentes, transporte, almacenamiento, desperdicios, izaje, colocación, conjuntos de aditamentos para la interconexión de los paneles y en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución de los trabajos.

Debe comprender, así mismo, los costos relacionados con la señalización preventiva de la vía y el eventual ordenamiento del tránsito automotor durante la ejecución de los trabajos.

En los casos en que el sistema de drenaje adoptado corresponde al establecido en el artículo 673, se debe aplicar lo dispuesto en el numeral 673.6.

En el caso en que se defina un método distinto, el pago se debe establecer en una especificación particular aprobada para la actividad. Los precios unitarios deben incluir también, los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

686.7.2 Clavos

El pago se debe realizar al precio unitario del contrato, debe cubrir el suministro e instalación de las barras de anclaje, de igual forma debe incluir el suministro e instalación de todos los materiales y accesorios adicionales necesarios; la perforación de los barrenos, recubrimiento de la perforación, el suministro e instalación de los conductos de protección (si se requieren), recubrimientos, procedimientos y elementos de protección contra corrosión, el suministro e inyección de la lechada o mortero de cemento o resina sintética; el tensionamiento y en general, el suministro de todos los equipos y mano de obra necesarios para realizar correctamente los trabajos correspondientes a esta unidad de obra. No se debe pagar el retiro y el reemplazo de los clavos que no hayan cumplido con lo establecido en esta especificación.

El precio unitario debe considerar además, los costos de patentes que utiliza el constructor, la señalización preventiva de la vía y el ordenamiento del tránsito automotor durante la ejecución de los trabajos y en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución del trabajo especificado.

El precio unitario debe incluir, también, la administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

686.7.3 Pruebas de carga

Se debe pagar al precio unitario del contrato, el cual debe incluir todos los costos relacionados con su correcta ejecución. El precio

unitario comprende la administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

686.7.4 Geotextil de separación

El precio unitario y forma de pago debe cumplir con lo establecido en el numeral 231.7 del artículo 231.

686.7.5 Relleno

El precio unitario debe cubrir los costos de extracción, preparación y suministro de los materiales; la obtención de los permisos ambientales y derechos de explotación, la construcción o adecuación de las vías de acceso a las zonas de préstamo; la adecuación de dichas zonas una vez extraído el material, para recuperar las características hidrológicas superficiales; los cargues, transportes, compactación y conformación del relleno granular para muro en suelo claveteado con paneles de concreto; todo equipo y mano de obra requeridos para ejecutar esta labor y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución del trabajo especificado.

El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.
Las superficies que requieran preparación para la instalación del muro mediante excavación se deben pagar con cargo al artículo 600, Excavaciones varias.

Las superficies que requieran la ejecución de rellenos para conformación de terraplenes para la conformación del muro claveteado se deben para con cargo al artículo 610.

686.8 Ítem de pago

Artículo	Ítem	Unidad de Medida
686.1	Paneles de concreto (incluye conexiones entre paneles)	Metro cuadrado (m^2)
686.2	Clavo, longitud _____	Unidad (u)
686.3	Prueba de carga	Unidad (u)
686.4	Geotextil de separación	Metro cuadrado (m^2)
686.5	Drenaje	Se debe cobrar según las unidades definidas en la especificación utilizada

Muros en suelo reforzado

Artículo 687 - 22

687.1 Descripción

El termino de suelo reforzado se refiere a la aplicación de refuerzos resistentes a tracción con dimensiones definidas en los documentos del proyecto y aprobados por el interventor. Deben diseñarse para la estabilidad externa del sistema de muro como también para la estabilidad interna de la masa de suelo reforzado detrás de la fachada.

El sistema está formado por tres elementos principales: suelo, elementos de refuerzo (inclusiones) y elementos de fachada (paramento). Esta técnica considera la inclusión de elementos metálicos y/o geosintéticos.

La inclusión de elementos metálicos o geosintéticos en la matriz de suelo, ofrece a los muros en suelo reforzado las condiciones de resistencia interna y estabilidad general requerida.

El presente documento presenta características de sistemas constructivos generalmente usados en muros de suelo reforzado.

687.1.1 Generalidades

Los elementos de refuerzo pueden ser de tipo metálico, como mallas soldadas o tejidas y barras, o de tipo geosintético, como geotextiles y geomallas.

Se pueden utilizar otros tipos de elementos de refuerzo, siempre y cuando presenten un comportamiento homólogo en cuanto a propiedades mecánicas y de vida útil compatibles con los requisitos de diseño señalados en los documentos del proyecto y aprobados por el interventor.

El diseño debe especificar las características mínimas requeridas por el refuerzo, de acuerdo con las hipótesis de cálculo. Durante la ejecución del proyecto debe verificar el cumplimiento de estas propiedades con base en la certificación del fabricante o mediante ensayos de control de calidad de acuerdo con el tipo de material. Los ensayos de control deben ser especificados por el diseñador del proyecto.

Para los refuerzos metálicos con barras, se debe especificar en el proyecto lo siguiente:

- El tipo de refuerzo metálico;
- La sección transversal;
- El tipo de acero con el límite elástico característico;
- Tratamiento superficial contra la corrosión;
- Geometría del elemento de refuerzo;
- Otras propiedades a criterio del diseñador.

Para refuerzos metálicos en malla, se debe especificar en proyecto lo siguiente:

- El tipo de malla metálica de refuerzo;
- Resistencia máxima a la tracción;
- Resistencia diseño a la tracción;
- Medida de protección contra la corrosión;
- El(los) factor(es) de reducción considerado(s) y las condiciones de diseño para

este(os) factor(es), de acuerdo el numeral 687.3.3.

- El factor de interacción considerado entre el suelo y el refuerzo;
- Otras propiedades a criterio del diseñador.

Para los refuerzos geosintéticos, se deben especificar en los proyectos:

- El(los) tipo(s) de geosintético(s) de refuerzo;
- Resistencia máxima a la tracción;
- Resistencia diseño a la tracción;
- El(los) factor(es) de reducción considerado(s) y las condiciones de diseño para este(s) factor(es), de acuerdo con el numeral 687.3.3;
- El factor de interacción considerado entre el suelo y el refuerzo;
- Otras propiedades a criterio del diseñador.

El proyecto debe contar con planes de exploración del terreno en la zona de localización de la estructura, basados en el capítulo H.3 del reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10. Constituido por métodos de exploración directa, y que comprenda las capas de suelo y/o rocas.

La ocurrencia de suelos blandos, colapsables, expansivos, dispersivos o kársticos debe ser evaluada en la fase de diseño y confirmada en la fase de ejecución.

El diseñador debe identificar las interferencias físicas que puedan llegar a afectar la ejecución del proyecto.

El proyecto debe contener la memoria de cálculo y los respectivos planos ejecutivos, con la información técnica necesaria para la comprensión y ejecución de la obra.

687.1.2 Características de los sistemas constructivos habituales de los muros de suelo reforzado

A continuación, se presenta una descripción general de las configuraciones usualmente utilizadas en la construcción de muros de suelo reforzado.

Sistemas de muros en suelos reforzados con fachada frontal de gavión

Los sistemas de muros en suelo reforzado con fachada frontal de gavión son estructuras de suelo reforzados que utilizan mallas metálicas tejidas o mallas metálicas soldadas para la constitución del paramento frontal o cara del muro, contienen material de relleno compuesto por agregado. Este tipo de estructuras presentan inclinación del paramento entre treinta y noventa grados (30° y 90°), siendo ejecutadas a través de la compactación de capas de suelo, entre las cuales son colocados elementos de refuerzo, siendo simultáneamente conformado el paramento frontal. (ver Figura 687-1 y Figura 687-2).

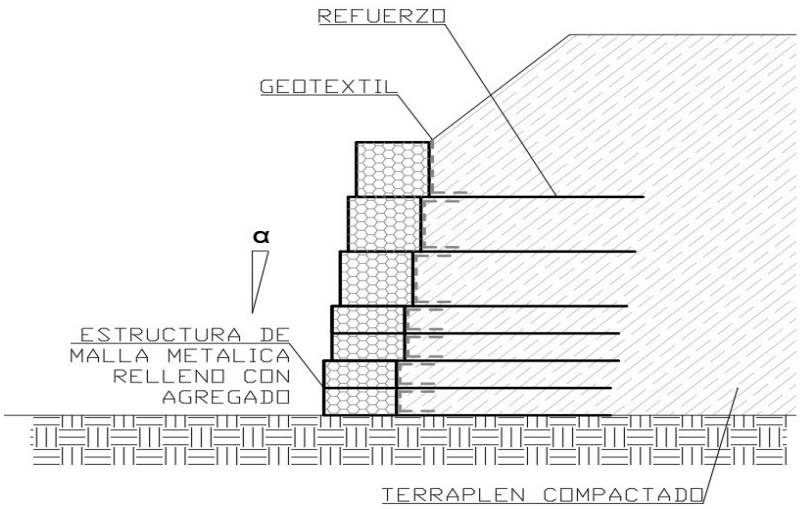


Figura 687-1 Sistema muro reforzado con paramento frontal de malla metálica tejida

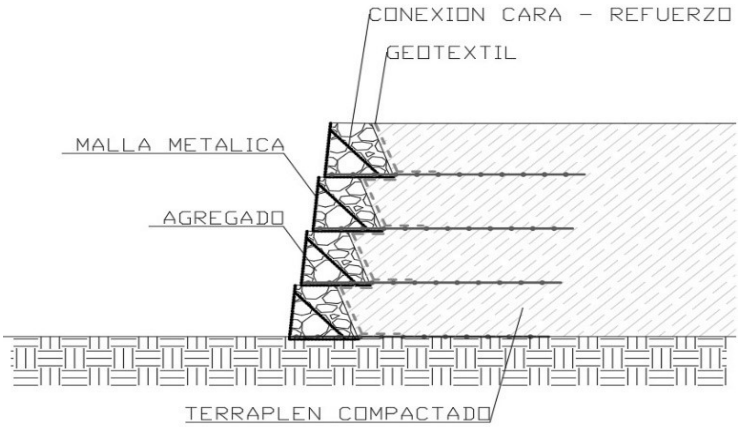


Figura 687-2 Sistema muro reforzado con paramento frontal de malla metálica soldada

En este tipo de sistema son utilizados refuerzos metálicos y geosintéticos en forma de geotextiles tejidos y/o polipropileno (PP), polietileno de alta densidad (HDPE), poliéster (PET) o alcohol polivinílico (PVA), que tengan propiedades mecánicas adecuadas para asegurar la estabilidad de la estructura del suelo reforzado, en niveles compatibles con el propósito de la estructura.

Los efectos de la corrosión sobre los elementos metálicos utilizados como refuerzo deben ser considerado en el dimensionamiento frente a la vida útil del proyecto.

La fachada está compuesta por elementos, que pueden ser rellenados de manera manual o mecánica. Estos elementos sirven de forma permanente, para permitir la colocación y compactación del material de relleno a su espalda y como anclaje para el refuerzo del paramento. Los efectos de la corrosión sobre los elementos metálicos utilizados como paramentos deben ser considerados por el diseñador en el dimensionamiento de la estructura en relación con la vida útil del proyecto.

Sistemas de muros en suelos reforzados con fachada con cobertura vegetal

Los geotextiles o geomallas se doblan alrededor de la fachada para contener el suelo. En el caso de geotextiles la misma tela de refuerzo principal se utiliza como fachada y en el caso de refuerzo principal con geomallas se coloca en la fachada un geosintético más flexible. Sobre los geosintéticos se pueden colocar mantos de control de erosión y vegetación. El sistema de la fachada puede ser configurada a partir de módulos de malla metálica.

En este tipo de sistema son utilizados refuerzos metálicos y geosintéticos en forma de geotextiles tejidos y/o polipropileno (PP), polietileno de alta densidad (HDPE), poliéster (PET) o alcohol polivinílico (PVA), que tengan propiedades mecánicas adecuadas para asegurar la estabilidad de la estructura del suelo reforzado, en niveles compatibles con el propósito de la estructura.

Los efectos de la corrosión sobre los elementos metálicos utilizados como refuerzo deben ser considerado en el dimensionamiento frente a la vida útil del proyecto.

Los muros en suelo reforzado con fachada con cobertura vegetal son estructuras con una inclinación del paramento entre treinta y noventa grados (30° y 90°). Existen dos configuraciones usualmente empleadas en la construcción de este tipo de muros, las cuales son:

- Está compuesto por elementos irrecuperables, prefabricados o ensamblados in situ (ver Figura 687-3), que sirven de encofrado para el confinamiento del suelo en la cara frontal de las estructuras, permitiendo su envolvimiento con el material de refuerzo. Estos elementos permiten el lanzado y posterior compactación del suelo en la zona del paramento de los muros. Usualmente se utilizan encofrados perdidos frontales de malla metálica, protegidas contra la corrosión, y se pueden asociar otros geosintéticos para auxiliar en el confinamiento del suelo. En este caso, las geomallas se doblan alrededor de la fachada. Adicionalmente, se coloca un manto de control de erosión. La primera capa de este tipo de estructura está constituida por material filtrante. El resto de las capas compactadas debe cumplir con los requerimientos enunciados en el numeral 687.3.4. Las geomallas empleadas como refuerzo deben ser especificadas por el diseñador conforme establecido y calculado en proyecto.

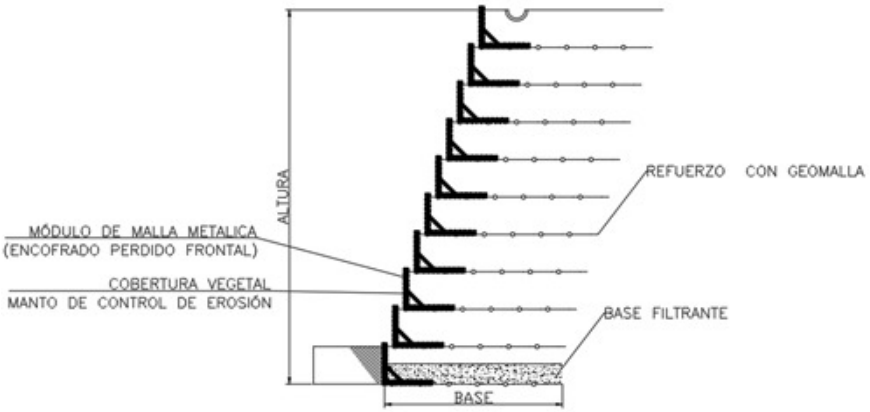


Figura 687-3 Muro reforzado con encofrado perdido frontal

- La malla metálica de refuerzo se dobla alrededor de la fachada para contener y reforzar el suelo. Adicionalmente, se instala un elemento de retención de material que puede ser un manto de control de erosión o un geotextil. El sistema de la fachada puede ser configurada a partir de módulos de triángulos de soporte, estos elementos en conjunto sirven para dar un soporte al paramento frontal, anclar la malla al suelo compactado, y también dan la potestad de proporcionar una fachada verde con vegetación. En este tipo de estructura el paramento y la armadura son continuos, constituyendo una sola pieza, como se muestra en la Figura 687-4. En estos casos se prescinde del análisis de la unión entre el paramento y la armadura.

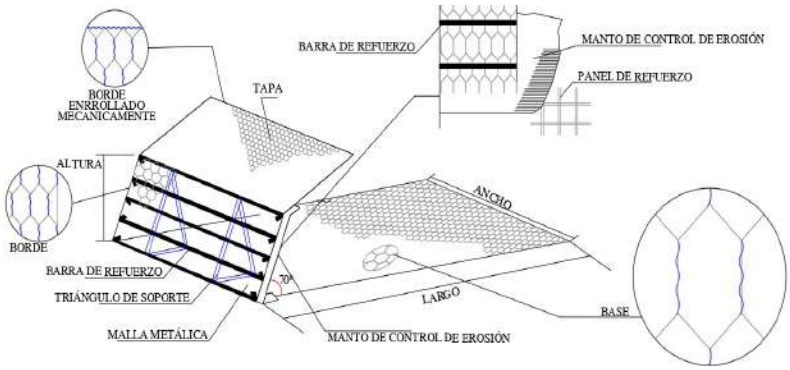


Figura 687-4 Muro reforzado con paramento inclinado y refuerzo metálico continuo.

687.2 Materiales

A continuación, son relacionados los materiales empleados en la construcción de muros de suelo reforzado. Estos pueden ser reemplazados y/o substituidos por otros tipos de elementos, siempre y cuando presenten un comportamiento homólogo en cuanto a propiedades mecánicas y de vida útil compatibles con los requisitos de diseño señalados en los documentos del proyecto y aprobados por el interventor.

687.2.1 Metálicos

Barra metálica

Elementos utilizados como refuerzo lineal, con resistencia y sección transversal definida por el diseñador. Con o sin protección galvanizada, según la vida útil esperada para el trabajo. Si se proporciona, la galvanización debe cumplir con la ASTM A123/A123M. La resistencia a la tracción indicada por el proveedor debe tener un nivel de confianza mínimo de 95%.

Malla metálica soldada

La malla metálica soldada consiste en un refuerzo lineal o plano en forma de rejilla hecho de barras de sección circular, con o sin protección galvanizada, según la vida útil esperada para el trabajo. Si se proporciona, la galvanización debe cumplir con la ASTM A123/A123M. La rejilla se forma por barras longitudinales y barras transversales soldadas. Los valores mínimos requeridos en el diseño muros reforzados debe cumplir los valores establecidos en la Tabla 687-1. La resistencia a la tracción indicada por el proveedor debe tener un nivel de confianza mínimo de 95%.

Malla metálica tejida

La malla metálica tejida consiste en un refuerzo plano, ensayado de acuerdo con la norma

tiva EN 10223-3, compuesto por alambres de acero o alambres en forma de malla hexagonal o romboidal, galvanizados, revestidos o no con material polimérico. Las mallas metálicas deben tener una resistencia y una protección contra la corrosión acordes con los requisitos de diseño y la vida útil. Deben cumplir con los requisitos de materiales y de fabricación establecidos en la NTC 5333 (ASTM A975). Las mallas son clasificadas en función de su recubrimiento conforme la Tabla 681-1 del artículo 681, Gaviones y colchogaviones de malla de alambre de acero entrelazado. Los valores mínimos requeridos en el diseño muros reforzados debe cumplir los valores establidos en la Tabla 687-1. La resistencia a la tracción indicada por el proveedor debe tener un nivel de confianza mínimo de 95%.

Tabla 687-1 Requerimientos mínimos para mallas metálicas aplicadas en muros de suelo reforzado

Propiedad	Normas de referencia	Unidad	Requisito
Resistencia a la tracción de la malla metálica	EN 10223-3	kN/m	≥50
Resistencia de conexión en el borde de la malla metálica	EN 10223-3	kN/m	≥34
Resistencia a la corrosión (exposición al dióxido de azufre SO2 0,2dm³ para 2dm³ de agua) y al envejecimiento	EN ISO 6988	Menos de 5% de la oxidación del acero después de 56 ciclos	
Resistencia del revestimiento de la malla a la niebla salina	EN ISO 9227	Menos de 5% de oxidación del acero después de 2000 horas de ensayo	

687.2.2 Geosintéticos

Geotextil

El geotextil consiste en un producto textil polimérico bidimensional permeable, compuesto por fibras cortadas, filamentos continuos, monofilamentos, laminados o alambres, que forman estructuras tejidas y no tejido, cuyas propiedades mecánicas e hidráulicas le permiten realizar diversas funciones en una obra geotécnica. El geotextil está formado por elementos resistentes a la tracción, siendo considerado unidireccional cuando presenta mayor resistencia a la tracción en un sentido y bidireccional cuando presenta igual resistencia a la tracción en las dos direcciones principales.

En general, se pueden emplear geotextiles tejidos elaborados a partir de polímeros sintéticos de cadena larga, compuestos de un porcentaje mínimo del noventa y cinco por ciento (95 %) en masa de poliolefinas o poliéster. Las fibras del geotextil deben conformar una red estable que mantenga la estabilidad dimensional entre ellas, incluyendo los bordes. El geotextil debe permitir el libre paso del agua en todo momento.

El geotextil debe ser fabricado con al menos un noventa y cinco por ciento (95%) de resina virgen, complementando con un máximo de cinco por ciento (5 %) de material remolido en planta. La resina de poliéster debe tener una masa molecular mínima de veinticinco mil gramos por mol (25 000 g/mol) (norma ASTM D4603) y un número de grupo carboxilo final máximo de treinta (30) (norma ASTM D7409); los productos de polietileno y polipropileno deben estabilizarse con antioxidantes de largo plazo.

Los tipos y las propiedades requeridas de los geotextiles deben ser establecidas en los documentos del proyecto; por ello, las propieda-

des relacionadas con los requisitos de diseño, empalmes, control de calidad de producción, suministro y manejo, deben ser, como mínimo, las indicadas en los numerales 683.2.1 del artículo 683, Muros de tierra estabilizada mecánicamente con geosintéticos.

Geomalla

La geomalla consiste en un producto polimérico con estructura reticular, con función de refuerzo, cuyas aberturas permiten la interacción del medio en el que están confinados, constituido por elementos resistentes a la tracción, considerándose unidireccional cuando presenta mayor resistencia a la tracción en una dirección y bidireccional cuando presenta igual resistencia a la tracción en las dos direcciones principales. Según el proceso de fabricación, las geomallas pueden ser extruidas, soldadas o tejidas.

La geomalla debe ser fabricada con por lo menos un noventa y cinco por ciento (95 %) en masa de resina virgen consistente en cadenas largas de polietileno, polipropileno o poliéster, complementada con un máximo de cinco por ciento (5 %) de material remolido en planta. La resina de poliéster debe tener una masa molecular mínima de veinticinco mil gramos por mol (25 000 g/mol) (norma ASTM D4603) y un número de grupo carboxilo final máximo de treinta (30) (norma ASTM D7409). Los productos de polietileno y polipropileno deben ser estabilizados con antioxidantes de largo plazo.

El fabricante debe documentar la supervivencia de las uniones a la instalación, mediante pruebas a escala real, según la NTC 5015 (ASTM D5818), que demuestren su integridad bajo las condiciones del proyecto (suelo de apoyo, espesor de capas, materiales de relleno, equipo de construcción).

La geomalla se debe cubrir con una capa de material de relleno de quince centímetros (15 cm) de espesor mínimo y se debe someter al paso repetido de una volqueta cargada hasta producir un ahuellamiento de diez centímetros (10 cm). El informe de las pruebas debe incluir un registro fotográfico de la geomalla recuperada, que muestre claramente que las uniones no se han desplazado ni sufrido deterioro alguno durante el proceso de instalación.

El diseñador debe ajustar su diseño siguiendo los requerimientos mínimos para uso de geomallas definido en el artículo 233, Estabilización de suelos de subrasante y refuerzo de capas granulares con geomallas del Instituto Nacional de Vías (INVIAS), específicamente en el numeral 233.2.1.

Los tipos y las propiedades requeridas de las geomallas deben ser establecidas en los documentos del proyecto; para ello, las propiedades relacionadas con los requisitos de diseño deben ser, como mínimo, las indicadas en el numeral 233.2.1 del artículo 233, Estabilización de suelos de subrasante y refuerzo de capas granulares con geomallas. Además de considerar los requisitos de diseño, empalmes, control de calidad de producción, suministro y manejo, deben ser, como mínimo, las indicadas en los numerales 683.2.1 del artículo 683, Muros de tierra estabilizada mecánicamente con geosintéticos.

Manto de control de erosión

Utilizados para reducir la erosión del suelo y ayudar al desarrollo de la vegetación. También cumplen función de amarre en la estructura de suelo reforzado. Este material debe ser de uso permanente y debe cumplir con las propiedades, características y requerimientos correspondientes a productos enrollados permanentes para control de erosión - Mantos para refuerzo de la vegetación (MRV), establecidos en articulo 811, Protección de taludes con productos enrollados para control de erosión.

687.2.3 Resistencia a largo plazo de mallas metálicas y geosintéticos

Los valores de resistencia a largo plazo de los elementos de refuerzo deben cumplir con las recomendaciones presentadas en el numeral 683.2.1.1 del artículo 683, Muros de tierra estabilizada mecánicamente con geosintéticos.

El diseñador puede, a su criterio (debidamente justificado), incorporar al cálculo otros factores de reducción, si se prevén situaciones específicas adicionales que puedan afectar la resistencia del refuerzo, tales como efectos de exposición a la intemperie (radiación UV), cargas cíclicas, empalmes y otros.

El diseñador puede solicitar ensayos para evaluar los factores de reducción de los elementos de refuerzo a condiciones específicas del proyecto o utilizar los resultados de ensayos realizados en laboratorios idóneos y certificados, puestos a disposición por el proveedor.

Los refuerzos de malla metálica no están sujetos al proceso de fluencia. En este caso, RFCR (factor de reducción de resistencia para prevenir la rotura del refuerzo a largo plazo por fluencia - creep) debe ser igual a uno coma cero (1,0). Sin embargo, las mallas metálicas deben estar protegidas contra la corrosión, asegurando un adecuado desempeño durante la vida útil, incluso en ambientes químicamente agresivos a los metales.

687.2.4 Material de relleno

Los muros en suelo reforzado necesitan rellenos con materiales de gran durabilidad, buen drenaje y facilidad de construcción, así como de buena interacción de resistencia con el refuerzo, la fricción del material es la característica más importante requerida.

Los documentos del proyecto deben definir los requisitos que debe cumplir el material de relleno, el cual puede ser: material granular tipo SBG (artículo 610, Relleno para estructuras, numeral 610.2.3), material granular tipo BG (artículo 610, numeral 610.2.3) o un material alternativo que cumpla con los requisitos del numeral 683.2.3 del artículo 683, Muros de tierra estabilizada mecánicamente con geosintéticos.

No se debe permitir el uso de residuos de construcción y demolición o cualquier otro material reciclado. El pH del material del relleno, determinado según la norma de ensayo AASHTO T289, debe estar entre cinco y nueve (5 y 9). El contenido de materia orgánica debe ser determinado según la norma de ensayo INV E-121 o alternativamente la norma UNE 103204 para la porción de material que pasa el tamiz de dos milímetros (2 mm) o número 10 (nro.10) y no puede ser mayor que uno por ciento (1%).

687.2.5 Material de fachada

La construcción de muros en suelo reforzado permite el uso de diferentes sistemas de fachadas. A continuación, se indican las usualmente utilizadas:

- Fachada con gaviones: las canastas de gaviones rellenas de agregado pueden utilizarse como fachadas con refuerzo principales en malla metálica o geomalla. En el caso de utilizar sistemas de protección en la fachada compuestas por estructuras de gavión, el material de relleno debe cumplir con las recomendaciones especificadas en el numeral 681.2.2 del artículo 681, Gaviones y colchogaviones de malla de alambre de acero entrelazado.

- En el caso de usar fachadas en geosintéticos con vegetación: Los geotextiles o geomallas se doblan alrededor de la fachada para contener el suelo. En el caso de geotextiles la misma tela de refuerzo principal se utiliza como fachada y en el caso de

refuerzo principal con geomallas se coloca en la fachada un geosintético más flexible. Sobre los geosintéticos se pueden colocar mantos de control de erosión y vegetación. El sistema de la fachada puede ser configurada a partir de módulos de malla metálica.

687.2.6 Material de accesorios

Los materiales accesorios, tales como grapas, arandelas, elementos de fijación y demás elementos necesarios para la instalación de estructuras y su conexión, deben cumplir con los requisitos establecidos por la ficha técnica del producto suministrada por el fabricante.

687.2.7 Amarres de los elementos

El alambre para amarre y atirantamiento se proveerá en cantidad suficiente para asegurar la correcta vinculación entre los elementos. La cantidad en relación con el peso de los elementos debe ser de dos por ciento (2%).

687.3 Equipo

Se debe disponer de los equipos necesarios para instalar los refuerzos geosintéticos y la malla metálica correctamente, así como de elementos de corte y costura, además, de todos aquellos que se requieran para explotar, procesar, cargar, transportar, extender y compactar el material de relleno, de conformidad con esta especificación y los planos del proyecto o las instrucciones del interventor. El equipo que se use para compactar las capas de relleno sobre el geosintético y/o malla metálica debe ser acorde con el tipo elemento utilizado, espesor de capa y las características de los materiales de apoyo y relleno.

Equipos y/o herramientas especiales que estén relacionadas con la construcción y/o control de calidad de los materiales y elementos utilizados en la construcción de la estructura, deben ser especificados por el diseñador y el proveedor del material.

Finalmente, el constructor debe proponer, para consideración del interventor, los equipos más adecuados para la construcción de los sistemas constructivos contemplados en esta especificación.

687.4 Ejecución de los trabajos

687.4.1 Generalidades

Durante el transporte y el almacenamiento, los elementos reforzados en malla metálica deben ir en fardos o bultos dependiendo la cantidad necesaria para el proyecto, los geosintéticos utilizados deben tener empaques que los protejan de la acción de los rayos ultravioleta, agua, barro, polvo y otros materiales que puedan afectar sus propiedades.

El constructor debe presentar al interventor para su aprobación, los planos detallados de disposición, los elementos, secuencias y procedimientos constructivos, con los detalles de los empalmes (traslapos, empalmes mecánicos, etc), con anticipación no menor a siete días (7 d) con respecto a la iniciación de los trabajos.

Los trabajos se deben efectuar con una adecuada coordinación entre las actividades de colocación del elemento reforzado, la colocación, conformación y compactación del material de relleno.

687.4.2 Preparación del terreno

Antes de iniciar la construcción de los muros en suelo reforzado, el terreno de apoyo debe ser preparado como se indica en el numeral 220.4.2 del artículo 220, Terraplenes.

La superficie debe quedar nivelada y debe ser firme. La firmeza se comprueba por medio

del paso de una volqueta completamente cargada.

Toda zona débil debe ser excavada y reemplazada con un suelo adecuado y compactado.

La superficie preparada del terreno debe ser inspeccionada y aprobada por el interventor.
La superficie del terreno de apoyo preparado debe estar libre de rocas, piedras grandes u otros elementos que puedan deteriorar los elementos de refuerzo.

Además, se deben adelantar las labores adicionales de preparación del terreno que indiquen los documentos del proyecto.

687.4.3 Preparación de la fundación

El diseño debe especificar la capacidad admisible requerida y el nivel definitivo de la fundación, basado en el capítulo H.4 del reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10. Inspección y liberación del terreno de cimentación debe ser realizado por un profesional calificado con competencia en Ingeniería Geotécnica.

La elección del sistema constructivo más adecuado debe considerar los asentamientos estimados de la cimentación, ya que cada sistema es capaz de absorber diferentes niveles de esfuerzos.

Si el suelo de cimentación no presenta las características adecuadas para el apoyo directo, debe adoptarse medidas complementarias mejorar el desempeño de la fundación tales, como reemplazo o mejoramiento de suelos, cimentaciones profundas, entre otros.

La fundación de la estructura debe tener un ancho mínimo igual a la longitud de la cola de refuerzo, más cincuenta centímetros (50 cm) o como indique el diseñador.

687.4.4 Colocación de los elementos de refuerzo

El refuerzo planar se debe instalar de acuerdo con las recomendaciones consignadas en la ficha del producto suministrada por el fabricante. Se debe colocar entre las capas de relleno compactado, según lo indicado en los documentos del proyecto, con los ajustes y modificaciones que apruebe el interventor.

Los rollos se deben extender en la dirección del refuerzo principal, perpendiculares al talud (vista en planta), sobre la superficie compactada y aceptada del terreno de apoyo o de la capa subyacente de relleno, sin arrugas o dobleces. No se deben permitir empalmes en la dirección del refuerzo, a no ser que estos se muestren en los documentos del proyecto o en las especificaciones del fabricante.

Los refuerzos se deben instalar según las cotas de los documentos del proyecto, sin que difieran de estas en más de cincuenta milímetros (50 mm) y en una longitud nunca menor que la señalada en ellos.

El refuerzo se debe templar manualmente y asegurar a la superficie para mantener la tensión y prevenir movimientos durante la colocación del relleno. La sujeción a la superficie se debe hacer según las recomendaciones consignadas en la ficha técnica del producto.

Los rollos adyacentes se deben colocar con o sin traslapos entre ellos o con conexiones mecánicas entre ellos, según lo indiquen los documentos del proyecto. En ausencia de información, se debe adoptar la recomendación del fabricante.

Las conexiones del refuerzo al paramento y traslapos deben utilizar los materiales especificados en el documento del proyecto y siguiendo las recomendaciones consignadas en la ficha técnica del producto.

No se debe permitir que los elementos utilizados como refuerzos queden expuestos, sin cubrir, por un lapso mayor a tres días (3 d).

En ninguna circunstancia se debe permitir la circulación de equipos sobre los elementos de refuerzo antes de que estos estén cubiertos con una capa de relleno de por lo menos quince centímetros (15 cm) de espesor. Se debe evitar el frenado brusco o los giros cerrados que ocasionen algún desplazamiento del material de relleno.

687.4.5 Empalmes

No se deben permitir los empalmes en la dirección principal del refuerzo, a no ser que su uso se encuentre expresamente indicado en los documentos del proyecto.

Si los documentos del proyecto contemplan la ejecución de empalmes en la dirección del refuerzo, las resistencias última y a largo plazo a la tensión, de esos empalmes, en la dirección perpendicular al empalme, deben cumplir con los valores especificados en los documentos del proyecto o la ficha técnica del fabricante. La medición de la resistencia última y el cálculo de la resistencia a largo plazo de los empalmes se deben realizar con los mismos procedimientos de ensayo y análisis que se emplean para determinar las resistencias de los refuerzos.

687.4.6 Colocación del material de relleno

El relleno se debe colocar por capas horizontales bajo control topográfico. La operación de extensión del material de relleno sobre el refuerzo se debe realizar cuidadosamente, empleando un método que no dé lugar a daños en el mismo.

No se debe permitir el tránsito de maquinaria sobre el refuerzo hasta que se conforme y se compacte adecuadamente la primera capa de relleno sobre el mismo.

El espesor de la primera capa compactada de material de cobertura sobre el refuerzo debe estar definido en los documentos del proyecto, en función de la granulometría del material, de las características del refuerzo y del equipo de compactación. En general, para materiales pétreos de tamaño máximo igual o mayor a treinta milímetros (≥ 30 mm), el espesor de la primera capa compactada de material de cobertura debe ser de veinte centímetros como mínimo (≥ 20 cm); para materiales pétreos de tamaño máximo menor de treinta milímetros (< 30 mm), el espesor de la primera capa compactada debe ser de quince centímetros como mínimo (≥ 15 cm).

El material de relleno se debe compactar con el equipo adecuado, hasta lograr el grado de compactación especificado por el diseñador, antes de comenzar las labores de colocación de la siguiente capa. El relleno se debe llevar a cabo hasta la cota indicada en los documentos del proyecto.

En la cercanía de la cara del muro a una distancia de uno o uno coma cinco metros (1 m o 1,5 m), se debe utilizar equipos manuales con el fin de no damnificar los elementos de la fachada. Para garantizar la adecuada compactación de esta zona; en este caso, se debe reducir el espesor de capas para que los equipos manuales permitan alcanzar el grado de compactación especificado.

687.4.7 Construcción de la fachada del muro

En los documentos del proyecto se debe indicar el sistema de fachada del muro en suelo reforzado.

687.4.7.1 Cobertura vegetal

Cuando el proyecto requiera que la fachada sea revegetada, debe realizarse la implementación de procedimientos adecuados como son plantación, siembra directa, hidrosiembra y otras técnicas sobre la fachada. Es importante seleccionar especies que no afecten la eficiencia e integridad de los elementos que componen el paramento frontal.

La cobertura vegetal debe cumplir los requisitos establecidos en el artículo 810, Protección vegetal de taludes, numeral 810.2.1, y se deben instalar, regar y conservar según lo indicado en el numeral 810.4 del mismo artículo.

687.4.7.2 Fachada en gaviones de malla metálica tejida

Si los documentos del proyecto especifican que la fachada se debe construir con gaviones de malla de alambre de acero entrelazado, los materiales y el trabajo correspondiente deben atender lo especificado en el artículo 681, Gaviones y colchogaviones de malla de alambre de acero entrelazado. La conexión entre los geosintéticos de refuerzo y los gaviones debe ser por la fricción que se desarrolla en la longitud de geosintético que se coloque entre gaviones verticales adyacentes, según los detalles de los documentos del proyecto.

687.4.7.3 Fachada con encofrado perdido frontal

La fachada está compuesta por elementos irrecuperables, prefabricados o ensamblados in situ, los cuales sirven de encofrado para el confinamiento del suelo en la cara frontal de las estructuras, permitiendo su envolvimiento con el material de refuerzo. El módulo de encofrado perdido frontal con malla soldada debe ser colocado directamente sobre el terreno nivelado o ultima capa inmediatamente compactada, siguiendo las especificaciones del documento del proyecto. El manto de control de erosión es ubicado directamente junto a la malla metálica.

687.4.8 Sistemas de drenaje

El drenaje es fundamental para el buen funcionamiento de una estructura de contención en suelo reforzado y se compone de dispositivos internos y externos. Se debe detallar el sistema de drenaje interno en el diseño del sistema de suelo reforzado, calculado por el diseñador. El diseño del sistema de drenaje externo también debe constar en los documentos del proyecto.

Las estructuras de contención que no contemplen drenaje interno deben ser dimensionadas considerando los esfuerzos debidos a las acciones del agua (hidrostáticos y otros). La ausencia del sistema de drenaje interno debe ser justificado por el diseñador en el proyecto.

La propuesta de drenaje debe incluir los diseños de las estructuras y/o adecuaciones necesarias, que permitan garantizar la entrega de las aguas procedentes del muro a otro sistema de conducción de aguas de origen pluvial o a un efluente natural cercano.

687.4.8.1 Sistema de drenaje interno

La función del sistema de drenaje interno prevé la captación y conducción de aguas que puedan interceptar la estructura de suelo reforzado. Este sistema de drenaje en ningún momento debe permitir la captación de aguas superficiales. El sistema de drenaje interno puede estar constituido por los siguientes elementos: colchón drenante en la base y dren sobre el trasdós del muro.

En el caso en que se opte por el uso de un sistema de drenaje con material granular, su

diseño y proceso constructivo deben cumplir con lo establecido en el artículo 673, Subdrenes con geotextil y material granular.

687.4.8.2 Sistema de drenaje externo

La función del sistema de drenaje externo es la captación y conducción de aguas superficiales, minimizando la acumulación y la infiltración de agua en el suelo.

Los muros en suelo reforzado son estructuras flexibles, por este motivo, las tuberías de drenaje usadas deben ser especificadas por el proyectista considerando sus desplazamientos y estanqueidad. La tubería de drenaje a utilizar debe cumplir las especificaciones contenidas en la normatividad capítulo 6, articulo 663, Tubería de plástico.

687.4.9 Control del tránsito

El constructor debe contar con un PMT e instalar todos los elementos de señalización preventiva en la zona de los trabajos, de acuerdo con lo establecido en el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte, los cuales deben garantizar la seguridad permanente tanto del personal y de los equipos de construcción, como de los usuarios y transeúntes, durante las veinticuatro horas (24 h) del día.

Para actividades que no impliquen el cierre total de la vía, el interventor debe dar su visto bueno previo a la presentación de un PMT. Para casos que impliquen el cerramiento total de la vía, se deben tramitar los permisos correspondientes ante la autoridad competente y se debe presentar el PMT aprobado por el interventor.

687.4.10 Limitaciones en la ejecución

No se debe permitir adelantar los trabajos objeto del presente artículo, cuando la temperatura ambiente a la sombra y la de la superficie sean inferiores a dos grados Celsius (2 °C) o haya lluvia o fundado temor de que ella ocurra.

Los trabajos de construcción se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que sea aprobado por este. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y, debe poner a disposición de la obra, el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

687.4.11 Manejo ambiental

Adicional a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, así como también todos los aspectos relativos a la construcción de estructuras de suelo reforzado, se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en los estudios y evaluaciones ambientales del proyecto, además, se deben considerar las normas y disposiciones vigentes sobre conservación del ambiente, los recursos naturales y la protección a la comunidad.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades deben incluirse en los costos del proyecto; por tanto, no son objeto de reconocimiento directo en el contrato.

687.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

687.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles:

- Constatar el cumplimiento de las disposiciones existentes en el artículo 102, Aspectos generales de seguridad y salud.
- Verificar el estado y el funcionamiento de todo el equipo de construcción.
- Confirmar que los diferentes niveles de refuerzo sean colocados con las separaciones definidas en los documentos del proyecto, de acuerdo con los procedimientos aceptados por el interventor.
- Efectuar ensayos de control sobre el material de relleno.
- Comprobar la compactación de las capas de relleno.
- El interventor debe medir, para efectos de pago, el trabajo correctamente ejecutado.
- Verificar que los materiales de refuerzo utilizados tengan en forma clara la información del fabricante, el número del lote y la referencia del producto, así como la composición química del mismo.
- Verificar que la malla metálica se encuentre bien instalada sin daños en sus elementos y conexiones.
- Verificar que todos los elementos y materiales utilizados en la construcción de la estructura de suelo reforzado corresponda a los enunciados en el documento del proyecto y de conformidad con esta especificación.
- Comprobar que, durante el transporte y el almacenamiento, todos los elementos utilizados en el proyecto tengan los empaques que los protejan de la acción de los rayos ultravioleta, agua, barro, polvo y otros materiales que puedan afectar sus propiedades.

En caso de deficiencias en los materiales o en la ejecución de la obra, el constructor debe acometer, bajo su cuenta y riesgo exclusivos, sin costo adicional alguno para INVÍAS, las correcciones necesarias hasta conseguir la aprobación por parte del interventor.

687.6 Medida

687.6.1 Material de relleno

La unidad de medida del relleno debe ser el metro cúbico (m^3), aproximado al entero, de material suministrado, colocado, compactado y terminado de acuerdo con los documentos del proyecto y debidamente aceptado por el interventor. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823. No se deben medir cantidades en exceso de las indicadas en los documentos del proyecto.

687.6.2 Material de fachada

El agregado usado como relleno de fachada debe ser cuantificado de manera separada al material de relleno de la estructura.

La unidad de medida debe ser el metro cúbico (m^3), aproximado al entero, de material suministrado, colocado, compactado y terminado de acuerdo con los documentos del proyecto y debidamente aceptado por el interventor. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823. No

se deben medir cantidades en exceso de las indicadas en los documentos del proyecto.

687.6.3 Geosintéticos de refuerzo

La unidad de medida de los geosintéticos debe ser el metro cuadrado (m^2), aproximado al entero, de geosintético colocado a satisfacción del interventor, de acuerdo con lo exigido por la presente especificación. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E- 823.

No se debe medir ningún área por fuera de tales límites, ni se consideran, para efecto del pago, los traslapos.

687.6.4 Mantos de control de erosión

La unidad de medida de los mantos de control de erosión debe ser el metro cuadrado (m^2), aproximado al entero, de manto colocado a satisfacción del interventor, de acuerdo con lo exigido por la presente especificación. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E- 823.

No se debe medir ningún área por fuera de tales límites, ni se consideran, para efecto del pago, los traslapos

687.6.5 Malla metálica para fachada

La unidad de medida de la malla metálica para fachada debe ser el metro cuadrado (m^2) aproximado al entero, de malla colocada para conformación de la cara frontal de la estructura de suelo reforzado. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E- 823.

687.6.6 Malla metálica para refuerzo

La unidad de medida de la malla metálica para refuerzo debe ser el metro cuadrado (m^2) aproximado al entero, de malla colocada para conformación de la estructura de suelo reforzado. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E- 823.

687.7 Forma de pago

687.7.1 Material de fachada

El pago del agregado usado como relleno de fachada debe hacer al respectivo precio unitario del contrato, por metro cúbico (m^3) para toda obra ejecutada de acuerdo con la presente especificación y aceptada por el interventor. El precio unitario debe cubrir los costos de extracción, preparación y suministro de los materiales en el sitio de la obra; la obtención de los permisos y derechos de explotación, la construcción o adecuación de las vías de acceso a las zonas de préstamo; la adecuación de dichas zonas una vez extraído el material, para recuperar las características hidrológicas superficiales; los cargues, transportes, compactación y conformación del relleno de fachada; los costos de los desvíos que fuese necesario construir con motivo de la ejecución de las obras; la señalización preventiva de la vía y el ordenamiento de todo tipo de tránsito durante la ejecución de los trabajos y el período posterior en que se deba impedir o controlar, de acuerdo con los documentos del proyecto y lo aprobado por el interventor; todo equipo y mano de obra requeridos para ejecutar esta labor y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución del trabajo especificado. Además, debe incluir los costos por concepto de desperdicios.

El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del

constructor.

687.7.2 Geosintéticos de refuerzo

El pago de los geosintéticos de refuerzo se debe hacer al respectivo precio unitario del contrato, por metro cuadrado (m^2), para toda obra ejecutada de acuerdo con la presente especificación y aceptada por el interventor.

El precio unitario debe incluir el suministro, almacenamiento y transporte del geosintético y los elementos accesorios. la colocación del geosintético con sus uniones y elementos de fijación entre geosintéticos y con los elementos de fachada; los traslapos y costuras; los desperdicios; la señalización preventiva de la vía y el ordenamiento de todo tipo de tránsito durante la ejecución de los trabajos y el período posterior en que se deba impedir o controlar, de acuerdo con lo aprobado por el interventor; así como toda labor, mano de obra, equipo o material necesario para la correcta ejecución de los trabajos especificados.

El precio unitario debe comprender, también, los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

687.7.3 Mantos de control de erosión

El pago de los mantos de control de erosión debe ser el metro cuadrado (m^2), para toda obra ejecutada de acuerdo con la presente especificación y aceptada por el interventor.

El precio unitario debe abarcar todos los costos de preparación de la superficie existente, salvo que dicha labor forme parte de otra partida de trabajo del mismo contrato; el suministro en el lugar y la colocación de todos los materiales requeridos para la protección, incluidos los anclajes; la compactación o escarificación de la superficie tratada, cuando corresponda; la excavación y el relleno de las zanjas requeridas para asegurar los mantos para control de erosión.

Este ítem se debe pagar de acuerdo a lo establecido en el articulo 811, Protección de taludes con productos enrollados para control de erosión.

El precio unitario debe comprender, también, los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

687.7.4 Malla metálica para fachada

El pago de la malla metálica para fachada es el metro cuadrado (m^2) de malla colocada para conformación de la cara frontal de la estructura de suelo reforzado, para toda obra ejecutada de acuerdo con la presente especificación y aceptada por el interventor.

El precio unitario debe incluir, también, los costos por concepto del suministro e instalación de elementos accesorios o cualquier otro elemento utilizado para colocación de la malla para conformación de la cara frontal de la estructura de suelo reforzado.

El precio unitario debe comprender, también, los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

687.7.5 Malla metálica para refuerzo

El pago de la malla metálica para refuerzo es el metro cuadrado (m^2) de malla metálica para refuerzo, para toda obra ejecutada de acuerdo con la presente especificación y aceptada por el interventor.

El precio unitario debe incluir, también, los costos por concepto del suministro e instalación de elementos accesorios o cualquier otro elemento utilizado para colocación de la malla para refuerzo.

El precio unitario debe incluir los triángulos de soporte y las varillas de refuerzo.

El precio unitario debe comprender, también, los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

Se deben pagar por aparte las excavaciones, rellenos requeridos para la preparación de la fundación y los elementos que hacen parte del sistema de drenaje del muro de suelo reforzado, de acuerdo con los siguientes artículos:

- Excavaciones: artículo 600, Excavaciones varias.
- Rellenos: artículo 610, Rellenos para estructuras.
- El elemento de drenaje a emplearse se debe pagar con la partida Capitulo 6: artículo 673, Subdrenes con geotextil y material granular.
- La tubería HDPE para drenaje a emplearse se debe pagar con la partida Capitulo 6: artículo 663, Tubería de plástico.

Los precios unitarios de cada una de las actividades deben comprender, también, los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

687.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
687.1	Geosintéticos de refuerzo	Metro cuadrado (m^2)
687.2	Malla metálica para fachada	Metro cuadrado (m^2)
687.3	Malla metálica para refuerzo	Metro cuadrado (m^2)
687.4	Mantos de control de erosión	Metro cuadrado (m^2)
Nota: Se debe establecer un ítem de pago para cada tipo de geosintéticos, malla metálica y para cada tipo de relleno que se especifique en el contrato.		

Impermeabilización de estructuras

Artículo 690 – 22

690.1 Descripción

Este trabajo consiste en la impermeabilización de superficies de estructuras de concreto, previa a la aplicación de pavimentos o rellenos. También, consiste en el tratamiento que se debe dar a los paramentos de estructuras en contacto con rellenos de tierra, como es el caso de muros de contención de tierras y/o estribos de puentes.

690.2 Materiales

690.2.1 Láminas impermeabilizantes para tableros

Las láminas para impermeabilización consisten en una película de asfalto modificado con polímeros reforzada con un tejido de poliéster o una malla de fibra de vidrio. Las láminas deben cumplir con los requisitos descritos en la Tabla 690 – 1.

En los documentos del proyecto se debe indicar el espesor de lámina por emplear.

690.2.2 Impermeabilizantes de paramentos de estructuras

Se deben utilizar productos impermeabilizantes según lo indiquen las especificaciones particulares del proyecto o aquellos que hayan sido autorizados por el interventor y que garantizan ser completamente estancos, resistentes al envejecimiento y de gran flexibilidad, de acuerdo con los requerimientos de la obra.

Cuando se utilice un material impermeabilizante con una base de cemento asfáltico, este debe cumplir con lo dispuesto en la NTC 3541 (ASTM D449).

Tabla 690 – 1. Requisitos para láminas impermeabilizantes para tableros

Característica	Norma de ensayo	Lugar de uso	
		Superficies de puentes	Otras superficies
Resistencia a la tracción longitudinal (kN/m/)	NTC 942 (ASTM D882)	4,52	2,26
Elongación longitudinal, mínimo (%)	NTC 942 (ASTM D882)	10	25
Espesor, mínimo (mm)		1,78	1,52
Punto de ablandamiento, mínimo (°C)	INV E-712 NTC 3785 (ASTM D3681)	99	99

690.3 Equipo

La maquinaria y los equipos utilizados en la impermeabilización de las estructuras de concreto deben ser los adecuados para que dicha operación se lleve a cabo correctamente.

690.4 Ejecución de los trabajos

690.4.1 Preparación de la superficie

La superficie de concreto debe quedar lisa y libre de protuberancias o depresiones. Se deben reparar oquedades, protuberancias, hormigueros, armaduras o alambres que puedan dar un mal acabado o dañar los elementos impermeabilizantes.

Para la colocación de láminas impermeabilizantes, pinturas o cualquier otro material impermeabilizante, se debe dejar que las superficies de concreto se sequen, después del curado, el tiempo necesario para que presenten un aspecto seco o según orientación del fabricante. La aplicación debe hacerse en clima seco, sin pronóstico de lluvia, con la superficie seca, exenta de polvo, arena, aceites, grasas o de cualquier otra suciedad que afecte la adherencia del material impermeabilizante en los sitios por impermeabilizar.

690.4.2 Impermeabilización de tableros

Se debe garantizar que todos los detalles para las obras de desagüe estén perfectamente terminados al nivel donde va la impermeabilización.

Sobre la superficie preparada, de acuerdo con el numeral 690.4.1, se debe aplicar un imprimante asfáltico de buena penetración y adherencia, a razón de trescientos gramos por metro cuadrado (300 g/m^2) o según la dosificación establecida por el fabricante.

Luego del proceso de imprimación, se debe extender la membrana de impermeabilización, adhiriéndola a la losa mediante un proceso establecido por el fabricante (termofusión o cualquier otro proceso aceptado por el interventor). La lámina se debe extender sobre la superficie considerando traslapos de, al menos, diez centímetros (10 cm) en el sentido longitudinal y quince centímetros (15 cm) en el sentido transversal, medidos estos en la línea y longitud del tablero. La lámina de impermeabilización debe continuar hasta los extremos del tablero, pasando por debajo de defensas o barreras de seguridad.

Antes de la colocación del pavimento, se debe supervisar el trabajo de impermeabilización y el estado de las superficies y juntas, efectuando pruebas para garantizar su impermeabilidad en los sitios que determine el interventor, las cuales deben correr por cuenta del constructor.

690.4.3 Impermeabilización de paramentos de estructuras

Una vez fraguado el concreto de muros o estribos y antes de la colocación del relleno, se deben pintar las paredes que están en contacto con el material de relleno, en los sitios indicados en los documentos del proyecto y con la pintura impermeabilizante especificada.

La impermeabilización de estribos y muros se debe realizar con dos (2) manos de pintura impermeabilizante, como mínimo. Manos adicionales de pintura se deben aplicar de acuerdo con lo especificado en los documentos del proyecto y de acuerdo con los procedimientos aceptados por el interventor.

690.4.4 Manejo ambiental

Adicional a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las labores requeridas para la impermeabilización de estructuras se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en los estudios y evaluaciones ambientales del proyecto, así como en las normas y disposiciones vigentes sobre conservación del ambiente, los recursos naturales y protección de la comunidad.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades se deben incluir en los costos del proyecto; por tanto, no son objeto de reconocimiento directo en el contrato.

690.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

690.5.1 Controles

El plan de calidad y el plan de inspección, medición y ensayo son de obligatorio cumplimiento tal como se encuentra expresado en el numeral 103.2 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor.

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y el funcionamiento de todo el equipo de construcción.
- Constatar el cumplimiento de las disposiciones existentes en el artículo 102, Aspectos generales de seguridad y salud.
- Comprobar que los materiales utilizados cumplan las exigencias de la presente especificación.
- Corroborar que los materiales se apliquen uniformemente y en los sitios previstos.
- Revisar que los trabajos se ejecuten de acuerdo con lo que establece la presente especificación.
- Supervisar la adhesión y el acabado del material impermeabilizante efectivamente colocado.
- Medir, para efectos de pago, las impermeabilizaciones de estructuras ejecutadas de acuerdo con esta especificación.

690.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

El interventor únicamente debe aceptar las impermeabilizaciones que se hayan elaborado con materiales adecuados y realizadas conforme lo establecen los documentos del proyecto y la presente especificación.

690.6 Medida

La unidad de medida para la impermeabilización de estructuras debe ser el metro cuadrado (m^2), aproximado a la décima (0,1), de superficie efectivamente impermeabilizada, medida en el terreno y aceptada por el inter-

ventor. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

No se debe medir ninguna impermeabilización por fuera de los límites autorizados por el interventor

690.7 Forma de pago

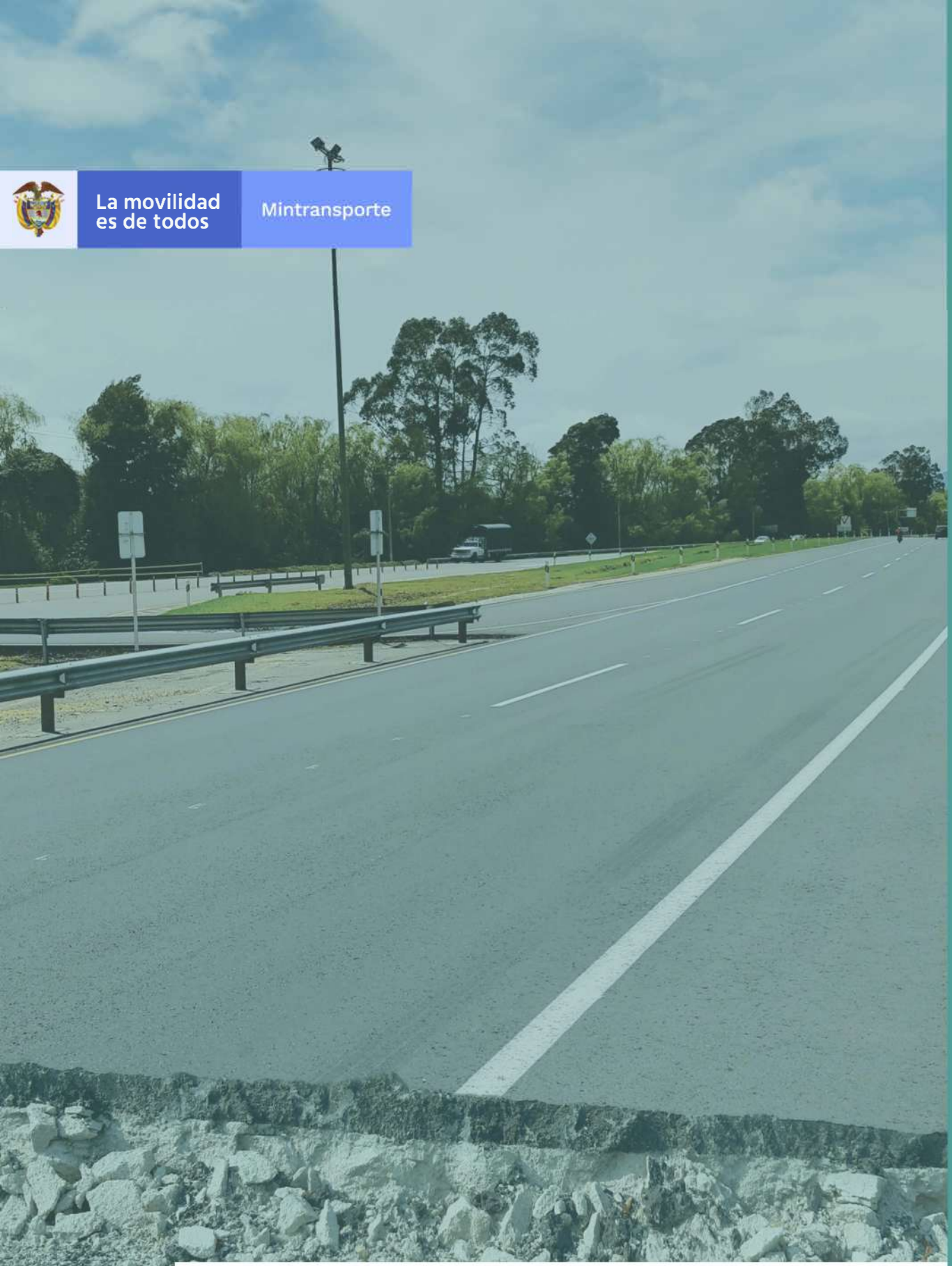
El precio unitario debe cubrir todos los costos de suministro, transporte, almacenamiento, desperdicios y aplicación del material impermeabilizante, incluyendo los refuerzos necesarios. Igualmente, se deben determinar los costos de todos los trabajos e insumos necesarios para preparar las superficies donde se debe aplicar la impermeabilización. Además, se debe considerar la señalización preventiva de la vía y el control del tránsito durante la ejecución de los trabajos, la ejecución de pruebas de estanqueidad en sitios de dudoso acabado y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución del trabajo especificado.

Además, se deben incluir los costos de la administración, los imprevistos y la utilidad del constructor.

690.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
690.1	Impermeabilización de estructuras líquido/membrana/lámina	Metro cuadrado (m^2)

Nota: debe haber un ítem de pago para cada sistema de impermeabilización que requiera el proyecto.



La movilidad es de todos

Mintransporte

UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

INVIAS
INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

La movilidad es de todos

Mintransporte

CAPÍTULO 7

Especificaciones generales de construcción de carreteras 2022

UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

INVIAS
INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

7

Señalización y seguridad

Líneas de demarcación y marcas viales

Artículo 700 – 22

700.1 Descripción

Este trabajo consiste en el suministro, almacenamiento, transporte y aplicación de pintura de tráfico o resina termoplástica de aplicación en caliente, retrorreflectiva con microesferas de vidrio y/o cerámicas para líneas y marcas viales sobre un pavimento, de acuerdo con las dimensiones y los colores que indiquen los documentos del proyecto.

700.2 Materiales

Se pueden utilizar pinturas de aplicación en frío, resinas termoplásticas, materiales prefabricados de larga duración o plásticos de dos (2) componentes de aplicación en frío que cumplan los requisitos de la NTC 1360. Si los documentos del proyecto no indican otra cosa, la selección del material por utilizar para un caso específico se debe hacer de acuerdo con el criterio descrito en el numeral 700.4.1.

700.2.1 Pintura de aplicación en frío

La pintura se clasifica en tres (3) grupos: (i) a base de agua; (ii) a base de solventes y (iii) porcentaje de sólidos del cien por ciento (100 %).

El agua utilizada para la disolución de la pintura debe poseer las condiciones mínimas especificadas por el fabricante; los solventes empleados en pinturas deben cumplir con la cantidad máxima indicada en la NTC 1102 de benceno, metanol y compuestos organoclorados; para la resina utilizada el fabricante debe presentar un espectro infrarrojo de la pintura, en los casos que se solicite, cumpliendo lo indicado en la NTC 1360.

Todo envase de pintura se debe rotular según los requerimientos mínimos de la NTC 1360.

700.2.1.1 Características de la pintura líquida

700.2.1.1.1 Color y estabilidad

Blanco o amarillo, que cumplan los requerimientos de color y patrones indicados en la NTC 1360 o en la Tabla 700 – 1.

El cambio de color ΔE debe ser, para pinturas blancas, menor o igual a seis unidades CIELAB (ΔE ≤ 6) y, para pinturas amarillas, menor o igual a diez unidades CIELAB (ΔE ≤10), cuando el tiempo de ensayo sea de

Tabla 700 – 1. Valores de color de pintura para demarcación de aplicación en frío

Característica	Color	
	Amarillo	Blanco
L	72 a 82	≥ 90
A	18 a 27	0 a -2,2
b	74 a 86	0 a 5

trescientas horas (300 h). La medición del color se debe efectuar de acuerdo con la norma ASTM D1535; la determinación de la estabilidad del color después de realizar el ensayo se debe hacer con base en la norma ASTM G154 y la diferencia de color se debe calcular con la norma ASTM D2244.

700.2.1.1.2 Composición

- Pigmento: entre cincuenta y sesenta por ciento (50 % y 60 %), en masa.
- Agentes de unión: entre cuarenta y cincuenta por ciento (40 % y 50 %), en masa.
- Ligante: copolímero acrílico de bajo peso molecular y liberación rápida de solventes.

Se pueden emplear otras composiciones, siempre y cuando las pinturas acabadas cumplan las exigencias de la presente especificación.

700.2.1.1.3 Tiempo de secado

- Al tráfico: máximo treinta minutos (30 min), sin transferencia de pintura a ninguna de las llantas de un vehículo.
- No "pick up": tiempo menor o igual a quince minutos (15 min) para una capa de quince más o menos cero coma cinco mils (15 mils ± 0,5 mils) de espesor a una temperatura de veintitrés más o menos dos grados Celsius (23 °C ± 2 °C) y una humedad relativa de cincuenta más o menos cinco por ciento (50 % ± 5 %).

Se considera tiempo de secado no "pick up" cuando una película de pintura ha llegado a una fase donde no se adhiere a la cubierta de un neumático que pase sobre ella; el ensayo se debe hacer de acuerdo con el método de la NTC 5734.

700.2.1.1.4 Viscosidad

Debe estar comprendida entre setenta y cinco y noventa y cinco unidades Krebs (75 y 95 KU), a una temperatura de veinticinco grados Celsius (25 °C). Esta determinación se hace con base en la NTC 559.

700.2.1.1.5 Contenido de agua

Para pinturas a base de solventes diferente al agua, no mayor del cero coma cinco por ciento (0,5 %), en masa, para pinturas en disolución.

700.2.1.1.6 Masa unitaria

La masa unitaria de la pintura a una temperatura de veinticinco grados Celsius (25 °C) debe corresponder a la indicada por el fabricante, y su variación debe estar sujeta a los rangos de la NTC 561.

700.2.1.1.7 Conservación en el envase.

La pintura seleccionada para homologación, al cabo de seis (6) meses de la fecha de fabricación, habiendo permanecido al interior y con temperatura entre cinco y treinta y cinco grados Celsius (5 °C y 35 °C), no debe presentar sedimentación excesiva en envase lleno y recientemente abierto. Se debe poder dispersar a un estado homogéneo por agitación con espátula, después de lo cual no debe presentar coágulos, natas, depósitos duros, ni separación de color. En todo cuñete o envase de pintura debe aparecer la marca del fabricante y la fecha de producción. No se pueden aplicar

pinturas con más de un (1) año de elaboración o sin etiqueta de fecha de producción.

700.2.1.1.8 Estabilidad en envase lleno

La pintura no debe aumentar su consistencia o viscosidad; debe estar dentro del rango de sesenta y ocho y ciento cinco unidades Krebs (68 y 105 KU) medida a la temperatura de veinticinco grados Celsius (25 °C), para pinturas a base de agua, en más de cinco unidades Krebs (5 KU), para pinturas a base de solventes y para pinturas sin solvente, plástico en frío, no se debe presentar un cambio mayor del cinco por ciento (5 %) en la viscosidad, respecto de la definida por el fabricante ni tener problemas de inestabilidad cuando se ensaye, de acuerdo con lo establecido en la NTC 1360.

El ensayo que se debe utilizar para evaluar esta variación, es el indicado en la norma ASTM D1849.

700.2.1.1.9 Estabilidad a la dilución

La pintura debe permanecer estable y homogénea, sin originar coagulaciones ni precipitados, cuando se diluya una muestra de ochenta y cinco centímetros cúbicos (85 cm^3) de la misma con quince centímetros cúbicos (15 cm^3) de toluol o del disolvente indicado por el fabricante, si explícitamente este así lo indica.

Los ensayos de estabilidad se deben realizar según la norma MELC 12.77.

700.2.1.1.10 Propiedades de aplicación

La pintura debe ser formulada y procesada específicamente para ser usada como ligante de microesferas, en tal forma que se produzca el máximo de adhesión, refracción y reflexión.

Cualquier acción capilar de la pintura, debe ser lo suficientemente pequeña para que no produzca cubrimiento total de las esferas de mayor tamaño.

Según la norma MELC 12.03, la pintura debe ser de aplicación fácil y uniforme mediante equipos mecánicos de demarcación y debe tener excelentes propiedades de cubrimiento.

700.2.1.1.11 Finura

La pintura debe ser bien mezclada durante el período de manufactura y los pigmentos que se incorporen adecuadamente pulverizados, con una finura de dispersión de tres (3) unidades Hegman, con base en la NTC 557.

700.2.1.1.12 Contenido de dióxido de titanio

La pintura de color blanco debe tener, como mínimo, un diez por ciento (10 %) de contenido en masa de pigmento de dióxido de titanio, determinado según la NTC 1323. El porcentaje en masa de dióxido de titanio no debe diferir en más de dos por ciento (± 2 %) del valor indicado por el fabricante.

700.2.1.1.13 Contenido en sólidos (materia no volátil)

El porcentaje en volumen o masa de materia no volátil, no puede ser menor de lo indicado en la Tabla 700 – 2. La determinación se debe realizar con base en las normas NTC 1786 y NTC 1227, respectivamente.

El porcentaje en masa de materia no volátil, no puede diferir en más de dos por ciento (± 2 %) del valor indicado por el fabricante.

700.2.1.1.14 Contenido en ligante

Realizado el ensayo según la norma UNE 48238, el porcentaje en masa de ligante no puede diferir en más de dos por ciento (± 2 %) del valor indicado por el fabricante.

Tabla 700 – 2. Contenido mínimo de sólidos

Pintura	Contenido de sólidos en volumen (vol/vol)	Contenido de sólidos en masa (masa/masa)
Base de agua, mínimo (%)	60	70
Base solvente, mínimo (%)	50	60
Sin solvente - Plástico en frío, mínimo (%)	98	-
Norma de ensayo	NTC 1786	NTC 1227

700.2.1.2 Características de la pintura seca

700.2.1.2.1 Aspecto

Después de aplicada la pintura en una lámina de vidrio y dejándola secar durante veinticuatro horas (24 h) a veinte más o menos dos grados Celsius (20 °C ± 2 °C) y sesenta más o menos cinco por ciento (60 % ± 5 %) de humedad relativa, debe tener aspecto uniforme, sin granos, ni desigualdades en el tono del color y con brillo satinado (cáscara de huevo).

700.2.1.2.2 Color

Al secarse sobre la superficie de un pavimento, la pintura no se debe oscurecer con la acción del sol, ni presentar decoloración apreciable con el tiempo.

Una película delgada de pintura, esparcida en una placa de vidrio y dejada secar completamente, no se debe oscurecer ni tampoco decolorar cuando se someta a la acción de los rayos ultravioleta por un período de sesenta minutos (60 min).

700.2.1.2.3 Flexibilidad

La pintura, aplicada en espesor de cero coma cero ocho milímetros (0,08 mm), no debe presentar desprendimiento ni agrietamiento al doblar la muestra sobre un eje de nueve coma cinco milímetros (9,5 mm) de diámetro, veinticuatro horas (24 h) después de aplicada y mantenida en este lapso de manera horizontal a una temperatura de veinticinco grados Celsius (25 °C) y una humedad relativa de cincuenta por ciento (50 %).

700.2.1.2.4 Adherencia

Al secarse sobre el pavimento de una vía, cuarenta y ocho horas (48 h) después de aplicada, la pintura debe constituir una capa con fuerte adherencia, sin desprenderse cuando se trate de levantar con la uña.

700.2.1.2.5 Sangrado

La relación de contraste debe ser mínimo de cero coma nueve (0,9) y el ensayo se debe hacer de acuerdo con la norma ASTM D868.

700.2.1.2.6 Resistencia a la inmersión en agua

Al preparar una muestra de pintura, con base en la norma ASTM D870 y después de veinticuatro horas (24 h) de inmersión a temperatura ambiente, esta no debe reblandecerse (NTC 5252), ampollarse (NTC 1457-3), arrugarse, perder adhesión (NTC 811), cambiar de color (ASTM D2616) o mostrar cualquier evidencia de deterioro.

700.2.1.2.7 Resistencia a los álcalis

Al aplicar la pintura con un espesor de película seca de cero coma quince milímetros (0,15 mm), sobre una placa de metacrilato preparada adecuadamente para tal efecto, se debe poner a secar a temperatura ambiente y, posteriormente, colocarla en una solución saturada de hidróxido de sodio. Después de cuarenta y ocho horas (48 h) de inmersión a una temperatura de cuarenta y cinco grados Celsius (45 °C), no puede presentar cuarteamiento, ampollamiento, perforaciones diminutas (punta de alfiler), desprendimientos, arrugas, ni decoloración, de acuerdo con lo indicado en la NTC 1360.

700.2.1.2.8 Resistencia a la abrasión

Se debe efectuar de acuerdo con lo señalado en la NTC 1360, para una capa de pintura húmeda, que debe resistir al secarse, como mínimo, la caída libre de cien decímetros cúbicos (100 dm^3) para pinturas a base de agua, ochenta decímetros cúbicos (80 dm^3) para pinturas a base solvente y doscientos decímetros cúbicos (200 dm^3) para pintura sin solvente - plástico en frío.

700.2.2 Resina termoplástica

700.2.2.1 Color

Blanco o amarillo, definidos por las coordenadas cromáticas del Sistema Colorimétrico Estándar CIE 1931, según la Tabla 700 – 3.

700.2.2.2 Composición

La composición de las resinas termoplásticas blanca y amarilla debe cumplir lo relacionado en la Tabla 700 – 4.

700.2.2.3 Masa unitaria

La masa unitaria del material, después de su fusión, debe ser de dos más o menos cero coma dos kilogramos por litro (2 kg/L ± 0,2 kg/L). La determinación se debe hacer de acuerdo con la norma ASTM D70.

Tabla 700 – 3. Coordenadas cromáticas de color para resina termoplástica

Color	Coordenadas cromáticas								Factor de luminancia	
	1		2		3		4		Demarcación	Laboratorio
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y		
Blanco	0,355	0,355	0,305	0,305	0,285	0,325	0,335	0,375	> 0,40	> 84
Amarillo	0,443	0,399	0,545	0,455	0,465	0,535	0,389	0,431	> 0,20	> 40

Tabla 700 – 4. Composición de resinas termoplásticas blanca y amarilla

Elemento	Color	
	Blanco	Amarillo
Ligante	≥ 18 %	≥ 18 %
Dióxido de titanio	≥ 10 %	-
Microesferas de vidrio	30 % a 40%	30 % a 40 %
Carbonato de calcio y rellenos inertes	≤ 42 %	(Nota)
Pigmento amarillo	0	≥ 4 %

Nota: la cantidad de pigmento amarillo, carbonato de calcio y rellenos inertes depende del fabricante, siempre que se cumplan los requisitos de la NTC 5867.

700.2.2.4 Punto de ablandamiento

El punto de ablandamiento, determinado por el método de anillo y bola según la norma INV E-712, no debe ser inferior a ciento cinco grados Celsius (105 °C).

700.2.2.5 Resistencia al flujo

La disminución en la altura del cono de material termoplástico, luego de haber sido sometido a una temperatura de sesenta más o menos dos grados Celsius (60 °C ± 2 °C) durante veinticuatro horas (24 h), no debe ser mayor del dos por ciento (2 %), según la norma UNE 135223.

700.2.2.6 Temperatura de inflamación

El material termoplástico se debe fundir en un baño de aceite a ciento ochenta grados Celsius (180 °C), homogeneizándolo mediante agitación durante al menos dos horas (2 h). Una vez lograda la perfecta homogeneidad y fluidez de la muestra, se debe verter en el vaso abierto de Cleveland de manera que la parte inferior de su menisco quede a un centímetro (1 cm) de la marca de llenado, con el fin de prevenir desbordamientos del material durante el posterior calentamiento en la realización del ensayo. Si se añade un exceso de muestra, se puede eliminar con una espátula o cucharilla en caliente.

Realizado el ensayo en el vaso abierto de Cleveland, acorde con las normas INV E-709, NTC 5009 (UNE 104281 o ASTM D92), la temperatura de inflamación no debe ser inferior a doscientos cincuenta grados Celsius (250 °C).

700.2.2.7 Factor de luminancia

Empleando un observador patrón 2°, una geometría de medida de cuarenta y cinco (45/O) y una fuente de luz de distribución espectral como la dada por el iluminante D65, el valor del factor de luminancia (B) debe ser al menos de cero coma ochenta (0,80) para el

color blanco y cero coma cuarenta (0,40) para el color amarillo (norma ASTM E1347).

700.2.2.8 Estabilidad al calor

El valor del factor de luminancia después de mantener el material a una temperatura de doscientos más o menos dos grados Celsius (200 °C ± 2 °C) durante seis horas (6 h) con agitación continua, no debe variar en más de cero coma cero tres (0,03) (norma BS EN 1871:2020).

700.2.2.9 Envejecimiento artificial acelerado

Se preparan dos (2) probetas aplicando una película de material mediante un extendedor adecuado, a un rendimiento aproximado de dos mil seiscientos gramos por metro cuadrado (2 600 g/m²), sobre un recipiente de aluminio de ciento cincuenta milímetros (150 mm) por setenta y cinco milímetros (75 mm), por seiscientos veinticinco milímetros (625 mm), previamente desengrasado con disolvente; se dejan secar durante siete días (7 d), en posición horizontal a una temperatura de veintitrés más o menos cinco grados Celsius (23 °C ± 5 °C) y cincuenta más o menos cinco por ciento (50 % ± 5 %) de humedad relativa, protegidas de la radiación solar y del polvo, midiéndose inmediatamente, antes de comenzar este ensayo, su color y factor de luminancia sobre la superficie exterior de la película (norma ASTM G154). Realizado el ensayo durante ciento sesenta y ocho horas (168 h), en ciclos de ocho horas (8 h) de radiación UV de longitud de onda comprendida entre doscientos ochenta nanómetros (280 nm) y trescientos diez y seis nanómetros (316 nm) a sesenta más o menos tres grados Celsius (60 °C ± 3 °C) y cuatro horas (4 h) de condensación a cincuenta más o menos dos grados Celsius (50 °C ± 2 °C), no se debe producir un aumento o una disminución en el factor de luminancia superior a cero coma cero cinco (0,05) respecto del valor original. Por otra parte, el material aplicado después del ensayo y observado dos horas (2 h) después de su aplicación, no debe presentar defecto superficial alguno (norma ASTM D4587).

700.2.2.10 Resistencia a la abrasión

Aplicado el material con un rendimiento tal que permita obtener un espesor de un milímetro (1 mm) y ensayada la muestra con un abrasímetro Taber con ruedas calibradas tipo H-22, con una masa de quinientos gramos (500 g) y en húmedo, no se debe producir una pérdida de masa mayor de doscientos cincuenta miligramos (250 mg) al cabo de cien (100) revoluciones.

700.2.3 Microesfera de vidrio

700.2.3.1 Características

700.2.3.1.1 Naturaleza

La microesfera de vidrio debe ser de tal naturaleza que permita su incorporación a la pintura inmediatamente después de aplicada, de modo que su superficie se pueda adherir firmemente a la película de pintura y su retrorreflexión sea satisfactoria para las líneas y demás marcas viales.

700.2.3.1.2 Microesferas defectuosas

Las microesferas deben ser transparentes, sin color apreciable, suaves, bien redondeadas,

no deben contener nubes o aspecto lechoso ni burbujas de aire que puedan afectar su funcionamiento.

El porcentaje ponderado de microesferas de vidrio defectuosa debe ser como máximo del dos por ciento (2 %) para las microesferas cuyo diámetro sea inferior a un milímetro (1 mm) y del treinta por ciento (30 %) para las microesferas cuyo diámetro sea igual o superior a un milímetro (1 mm), siempre que el porcentaje de granos y de partículas extrañas sea como máximo del tres por ciento (3 %) en ambos casos.

Después de someterse a los ensayos de la NTC 2072, las microesferas de vidrio que presenten alteraciones deben considerarse como defectuosas.

700.2.3.1.3 Clasificación

De acuerdo con su tamaño e índice de refracción, las microesferas de vidrio se clasifican en:

Tipo I: de bajo índice de refracción de vidrio reciclado.

Tipo III: de índice de refracción alto.

Tipo IV: de índice de refracción bajo, vidrio fundido directo.

700.2.3.1.4 Composición

Las microesferas de vidrio Tipo I, deben estar fabricadas completamente de fragmentos de vidrio recuperados mediante el proceso de pulido al fuego y contener máximo el sesenta por ciento (60 %) de sílice.

Las microesferas de vidrio Tipo III, deben estar fabricadas en un material tal, que cumpla con los requisitos de la NTC 2072.

Las microesferas de vidrio Tipo IV, deben estar fabricadas mediante el proceso de fundición directa del vidrio con un material tal que observe los requisitos de la NTC 2072. No deben contener residuos visibles de carbón.

700.2.3.1.5 Índice de refracción

El índice de refracción de las microesferas de vidrio se debe determinar usando el método de inmersión en líquido con una fuente de luz blanca, a una temperatura de veinticinco grados Celsius (25 °C).

Las microesferas Tipo I y Tipo IV, deben tener un índice de refracción entre uno coma cincuenta y uno coma cincuenta y cinco (1,50 y 1,55) y para microesferas Tipo III, el índice debe estar en el rango entre uno coma noventa y uno coma noventa y tres (1,90 y 1,93). La medición se debe hacer con acatamiento de la NTC 2072.

700.2.3.1.6 Densidad

La densidad de las microesferas de vidrio Tipo I y Tipo IV debe estar en el rango entre dos coma tres y dos coma seis gramos sobre centímetro cúbico (2,3 g/cm^3 y 2,6 g/cm^3), y para microesferas de vidrio Tipo III, estar en el rango entre cuatro y cuatro coma cinco gramos sobre centímetro cúbico (4 g/cm^3 y 4,5 g/cm^3), en observancia de lo especificado en la NTC 2072.

700.2.3.1.7 Granulometría

La granulometría de las microesferas de vidrio debe estar dentro de los límites dados en la Tabla 700 – 5.

Si los documentos del proyecto así lo consideran, o si el constructor propone una granulometría particular para obtener los valores de reflectividad exigidos, se puede emplear una granulometría diferente con la autorización del interventor, previa realización de los análisis de resultados de pruebas de campo y laboratorio.

700.2.3.1.8 Resistencia a la fractura

La microesfera de vidrio debe presentar una resistencia mínima a la fractura, así:

- Para las microesferas de vidrio retenidas en el tamiz de 0,600 mm (nro. 30): ciento setenta y ocho newton (178 N).
- Para las microesferas que pasen el tamiz de 0,600 mm (nro. 30) y que queden retenidas en el tamiz de 0,425 mm (nro. 40): ciento treinta y tres coma cinco newton (133,5 N).

700.2.3.1.9 Resistencia a la humedad

Las microesferas deben fluir libremente al ser ensayadas con el siguiente procedimiento: en un vaso de precipitado de quinientos centímetros cúbicos (500 cm^3) se colocan cien gramos (100 g) de microesferas de vidrio, luego se adiciona un volumen equivalente de agua

Tabla 700 – 5. Granulometría de las microesferas de vidrio retrorreflectivas, porcentaje en peso que pasan

Tamiz		Tipo I				Tipo III		Tipo IV			
Tamiz U.S. (ASTM E11-NTC 32	Tamiz ISO 565 R40/3, Micrones	A Gruesa-posmezclado		B Fina-premezclado		posmezclado		A Grande y gruesa - posmezclado		B Medio gruesa-posmezclado	
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
12	1 700	-	-	-	-	-	-	100	-	100	-
14	1 400	-	-	-	-	-	-	95	100	-	-
16	1 180	-	-	-	-	100	-	80	95	95	100
18	1 000	-	-	-	-	-	-	10	40	-	-
20	850	100	-	-	-	95	100	0	5	35	70
30	600	80	100	-	-	55	75	-	-	0	5
40	425	-	-	-	-	15	35	-	-	-	-
50	300	18	35	-	-	0	5	-	-	-	-
70	212	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-
80	180	-	-	85	100	-	-	-	-	-	-
100	150	0	10	-	-	-	-	-	-	-	-
140	106	-	-	15	55	-	-	-	-	-	-
200	75	0	2	-	-	-	-	-	-	-	-
230	63	-	-	0	10	-	-	-	-	-	-

Nota: las microesferas Tipo I, se clasifican en: Grado A (tamaño grueso para sembrado, posmezclado) y Grado B (tamaño fino premezclado) y las microesferas Tipo IV, se clasifican en: Grado A (Tamaño grueso para sembrado, posmezclado) y Grado B (tamaño fino para sembrado, posmezclado).

agregada de tal forma que la parte superior de las microesferas sea humedecida; se deja en reposo durante cinco minutos (5 min). Después de este periodo, se transfieren las microesferas de vidrio a un vaso de precipitados limpio y seco y se dejan en reposo durante cinco minutos (5 min); pasado este tiempo, se vierten las microesferas en un embudo de doce coma cinco centímetros (12,5 cm) de diámetro con un vástago de diez centímetros (10 cm) de longitud; las microesferas deben fluir a través del embudo sin interrupción (es permitida una agitación inicial suave para iniciar el flujo), todo ajustado a la NTC 2072.

700.2.3.1.10 Embalaje e identificación

Las microesferas de vidrio se deben empacar en lotes como lo haya especificado el proveedor y en recipientes impermeables de material adecuado que permitan conservar la calidad del producto. En el empaque/envase o en el rótulo adherido firmemente a este, se debe indicar:

- Tipo de microesfera de vidrio.
- Nombre y dirección del fabricante.
- Marca comercial de fábrica y su ubicación.
- Fecha de fabricación.
- Identificación de fabricación (número de lote).
- Indicación de los tratamientos químicos especiales, en caso de tenerlos.
- Cantidad contenida en el saco, en kilogramos.
- Recomendaciones sobre bodegaje y arrume máximo.
- Sugerencias de aplicación.
- Abertura de los tamices superior e inferior nominales de su granulometría.
- Información y advertencias que se requieran por la legislación nacional vigente.
- Marcado adicional según se especifique en el contrato o en la orden de pedido.

700.2.3.1.11 Propiedades de aplicación

En caso de aplicación de la microesfera de vidrio sembrada, la pintura de demarcación de pavimentos se debe aplicar sobre la superficie del pavimento, empleando como mínimo cuatrocientos gramos sobre metro cuadrado (400 g/m^2) de microesfera; si la aplicación de las microesferas es premezclada, la proporción de microesfera de vidrio en la pintura para demarcación de pavimentos debe ser de doscientos a doscientos cincuenta gramos sobre litro (200 g/L a 250 g/L) y se debe incorporar antes de la aplicación; las microesferas de vidrio deben fluir libremente de la máquina dosificadora y la retrorreflexión debe ser satisfactoria para la señalización, de acuerdo con el numeral 700.5.2.3.

700.2.4 Óptica compuesta

700.2.4.1 Características

700.2.4.1.1 Naturaleza

La óptica compuesta debe ser de tal naturaleza que permita su incorporación a la pintura inmediatamente después de aplicada, de modo que su superficie se pueda adherir firmemente a la película de pintura y su retrorreflexión sea satisfactoria para las líneas y demás marcas viales.

700.2.4.1.2 Composición

La óptica compuesta es una partícula retrorreflectante multicomponente conformada por un

núcleo pigmentado (típicamente blanco o amarillo), combinado con microesferas de vidrio o microesferas cerámicas muy pequeñas. Los elementos compuestos no deben fabricarse con materiales que se sepa contienen trazas de plomo, cromo o arsénico.

700.2.4.1.3 Índice de refracción

Los elementos compuestos deben tener un índice de refracción entre uno coma nueve y dos coma cuatro (1,9 y 2,4) cuando se prueben utilizando el método de inmersión en aceite líquido, con base en lo establecido en la norma ASTM D7942.

700.2.4.1.4 Granulometría

La granulometría debe estar dada por el fabricante de la óptica compuesta.

700.2.4.1.5 Embalaje e identificación

El material de óptica compuesta se debe empacar en lotes como lo haya especificado el proveedor y en recipientes impermeables de material adecuado que permitan conservar la calidad del producto. En el empaque/envase o en el rótulo adherido firmemente a este, se debe indicar:

- Tipo de elemento.
- Nombre y dirección del fabricante.
- Marca comercial de fábrica y su ubicación.
- Fecha de fabricación.
- Identificación de fabricación (número de lote).
- Indicación de los tratamientos químicos especiales, en caso de tenerlos.
- Cantidad contenida en el saco, en kilogramos.
- Recomendaciones sobre bodegaje y arrume máximo.
- Sugerencias de aplicación.
- Información y advertencias que se requieran por la legislación nacional vigente.
- Marcado adicional según se especifique en el contrato o en la orden de pedido.

700.2.4.1.6 Propiedades de aplicación

La dosificación mínima de la óptica compuesta debe estar en observancia de las especificaciones del fabricante y en concordancia con la norma ASTM D7942; la óptica compuesta debe fluir libremente de la máquina dosificadora y la retrorreflexión debe ser satisfactoria para la señalización, según el numeral 700.5.2.3.

700.2.5 Otros tipos de materiales

Los requisitos sobre características, dosificación, instalación o ejecución de los trabajos, control y recibo de otros tipos de materiales como plásticos en frío y cintas preformadas empleados en la demarcación de calles y carreteras, son los establecidos en las normas NTC 4744-1, NTC 4744-2, NTC 4744-3, NTC 4744-4 o normas que apliquen en cada caso específico y deben ser objeto de una especificación particular.

700.3 Equipo

La pintura de líneas y la elaboración de marcas viales, se deben realizar con un equipo que cumpla lo especificado en la NTC 4744-2 en lo referente a este particular y en cada uno de sus puntos.

Se debe disponer, además, de un camión con capacidad igual o superior a cinco toneladas (5 t), adecuado para el transporte de los materiales hasta los frentes de trabajo, lo mismo que las señales verticales de tránsito, conos y barricadas necesarias para informar a los usuarios sobre el cierre de la vía o para restringir la velocidad de circulación cuando se pinta con vía abierta.

700.4 Ejecución de los trabajos

700.4.1 Selección del material de demarcación por utilizar

Para seleccionar la clase de material de demarcación vial por aplicar, se debe llevar a cabo el procedimiento establecido en la NTC 4744-1, a partir de las características específicas del proyecto (situación de la demarcación vial, textura superficial del pavimento, tipo de vía, ancho de carril y tránsito promedio diario (TPD)).

700.4.2 Preparación de la superficie

Antes de aplicar la demarcación, debe inspeccionarse el pavimento, con el fin de comprobar su estado superficial y posibles defectos existentes, para así determinar el sistema de demarcación por realizar.

La superficie que va a recibir el material de demarcación debe estar seca y libre de polvo, grasa, aceite y otras sustancias extrañas que afecten la adherencia del recubrimiento. La limpieza se debe efectuar por cualquier procedimiento que resulte aceptable para el interventor.

Cabe anotar que los materiales cementantes que impidan la adherencia, deben ser retirados mediante el lavado de la superficie.

Las superficies de hormigón nuevas y los agregados expuestos se deben someter a un tratamiento con materiales compatibles con el producto que se va a aplicar, según las recomendaciones del fabricante, con el fin de garantizar la adherencia, previa eliminación de todos los materiales empleados en el proceso de curado del hormigón.

Para garantizar contraste entre la superficie del hormigón y la demarcación vial, debe emplearse una línea negra adyacente a la de demarcación, de ancho igual a un cuarto (1/4) del ancho de la línea, excepto para marcas viales donde se implementan líneas negras de ancho igual a cincuenta milímetros (50 mm). Esto es válido tanto para aplicaciones por primera vez, como para aplicaciones de repintado.

La demarcación que se aplique debe ser compatible con la superficie de rodadura y debe presentar buena adherencia; en caso contrario, se debe efectuar el tratamiento superficial. Se deben tener en cuenta los criterios de compatibilidad entre los componentes del material de demarcación y la superficie de rodadura, definidos por su fabricante.

Si la superficie presenta defectos o huecos notables, se deben corregir los primeros y rellenar los segundos con materiales de la misma naturaleza que los de la superficie, antes de proceder a la aplicación de la pintura.

Previo al inicio de las operaciones de demarcación, el constructor debe efectuar un cuidado-

so replanteo que garantice con los medios de demarcación que disponga, una perfecta terminación. En caso de no tener un mejor sistema de referencia, se debe crear una guía de referencia con puntos de treinta milímetros (30 mm) de diámetro espaciados preferiblemente cada cero coma cincuenta metros (0,50 m) y máximo entre cinco y diez metros (5 m y 10 m), en curva y recta respectivamente, los cuales se realizan con la misma pintura con la que se ejecuta el trabajo.

Cuando la demarcación vaya a ser aplicada sobre superficies previamente pintadas o demarcadas, el constructor debe establecer el tipo de tratamiento a ejecutar sobre ellas para garantizar la adherencia con el material nuevo, según lo determinado en la NTC 4744-4, el cual se debe someter a estudio y aceptación por parte del interventor. Si es necesario retirar la pintura o cualquier otro material antiguo, estos deben ser raspados o fresados por un medio aprobado por el interventor, barriéndose a continuación el material desprendido.

En el caso de los pavimentos de concreto, si el factor de luminancia del pavimento fuese superior a cero coma quince (0,15), evaluado de acuerdo con la norma UNE-EN 1436, se debe rebordear la línea por aplicar con un material apropiado de color negro, a ambos lados y con un ancho aproximadamente igual a la mitad (1/2) del correspondiente a la línea de demarcación.

700.4.3 Dosificación

700.4.3.1 Pintura de aplicación en frío

La pintura se debe aplicar longitudinalmente a lo largo de la vía, en un ancho de doce centímetros (12 cm), con un espesor húmedo entre veinte y treinta mils (20 mils – 30 mils), de acuerdo con la clasificación de pinturas establecida en la NTC 1360; en caso de aplicación de la microesfera de vidrio sembrada, la pintura de demarcación de pavimentos se debe aplicar sobre la superficie del pavimento, empleando como mínimo cuatrocientos gramos sobre metro cuadrado (400 g/m^2) de microesfera; si la aplicación de las microesferas es premezclada, la proporción de microesfera de vidrio en la pintura para demarcación de pavimentos debe ser de doscientos a doscientos cincuenta gramos sobre litro (200 g/L a 250 g/L) y se debe incorporar antes de la aplicación.

El constructor debe someter a estudio y aprobación del interventor el sistema de aplicación de las microesferas de vidrio; estas pueden aplicarse a presión o por gravedad, teniendo en cuenta que la contracción que se presenta en el ancho de la lámina de la microesfera, cuando se aplica de la segunda forma, no sea menor que el ancho de la línea a demarcar, que la cantidad de microesfera sea homogénea en todo el ancho de la línea, que en ningún momento haya deficiencia en los extremos ni exceso en la parte central de la línea y que, cuando se aplica línea intermitente, caigan microesferas en toda la longitud de ella.

Cuando las microesferas se aplican a presión, se debe regular la fuerza del compresor de manera tal que quede la mayor cantidad de este producto atrapada sobre la pintura húmeda.

700.4.3.2 Resina termoplástica

La resina termoplástica se debe aplicar longitudinalmente a lo largo de la vía por extrusión o pulverización, con un espesor seco de dos

coma tres milímetros o noventa mils (2,3 mm o 90 mils), para extrusión y de uno coma cinco milímetros o sesenta mils (1,5 mm o 60 mils) por pulverización, en relación con lo establecido en la NTC 4744-4; las microesferas se deben aplicar a razón de cuatrocientos gramos por metro cuadrado (400 g/m^2) de resina termoplástica aplicada. Esta dosificación varía proporcionalmente de acuerdo con el ancho de la línea y el espesor de la película.

700.4.4 Plan de Manejo de Tránsito (PMT)

El constructor debe contar con un PMT e instalar todos los elementos de señalización preventiva en la zona de los trabajos, de acuerdo con lo establecido en el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte, los cuales deben garantizar la seguridad permanente tanto del personal y de los equipos de construcción, como de los usuarios y transeúntes, durante las veinticuatro horas (24 h) del día.

Para actividades que no impliquen el cierre total de la vía, el interventor debe dar su visto bueno previo a la presentación de un PMT. Para casos que impliquen el cerramiento total de la vía, se deben tramitar los permisos correspondientes ante la autoridad competente y se debe presentar el PMT aprobado por el interventor.

Cuando se aplique la demarcación de pintura blanca en líneas de borde de calzada puede requerirse el cierre parcial de la vía, según las condiciones de la aplicación. El vehículo debe ir en el mismo sentido de circulación del tráfico. Una vez aplicada la línea, se debe proteger con conos u otros dispositivos de señalización durante el tiempo de secado, antes de dar al servicio la vía. Para la aplicación de líneas amarillas, se debe cerrar totalmente la vía en calzadas únicas bi-direccionales. No se debe efectuar la demarcación en contravía bajo estas condiciones de circulación.

Cuando el volumen de tránsito es superior a mil (> 1 000) vehículos por día y se va a restringir la circulación, se deben programar, en coordinación con la Oficina de Comunicaciones del Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), cierres máximos de dos horas (2 h) con intermedios de una hora (1 h) de circulación normal e informar por medios de comunicación hablados y escritos sobre esta situación, tres días (3 d) hábiles antes de iniciar las labores.

700.4.5 Aplicación de los materiales

700.4.5.1 Pintura de aplicación en frío

La pintura y las microesferas de vidrio se deben suministrar ya preparadas y listas para su empleo y no se les debe agregar ni quitar ningún componente en el sitio de los trabajos.

Únicamente pueden ser usados los tipos de disolventes especificados por el fabricante de la pintura de tráfico. Es admisible un máximo de tres por ciento (3 %) en volumen, para facilitar el flujo de la pintura por las pistolas; los disolventes, nunca se deben aplicar con el fin de rendir la pintura.

La pintura se debe aplicar de manera homogénea, de tal forma que no haya excesos ni deficiencias en ningún punto; debe formar una película uniforme, sin arrugas, ampollas o bolsas de aire.

Las microesferas deben dispersarse uniformemente en la película de pintura fresca, la cual

debe ligarlas para lograr la máxima adhesión y agarre de ellas, pero sin afectar sus grados de refracción y reflexión.

700.4.5.2 Resina termoplástica

La resina termoplástica y las microesferas de vidrio, se deben suministrar ya preparadas y listas para su empleo y no se les debe agregar ni quitar ningún componente en el sitio de los trabajos.

La resina termoplástica se debe aplicar de manera homogénea, de forma que no haya excesos ni deficiencias en ningún punto, formando una película uniforme sin arrugas, ampollas o bolsas de aire.

Las microesferas de vidrio se deben dispersar uniformemente sobre la película de resina en estado líquido, la cual debe ligarlas para lograr la máxima adhesión y agarre de ellas, pero sin afectar sus grados de refracción y reflexión.

700.4.5.3 Consideraciones adicionales

Toda demarcación no aceptada por el interventor en cuanto a acabado, alineamiento longitudinal y reflectividad, debe ser corregida o removida por el constructor bajo su propia cuenta y riesgo, mediante fresado u otro procedimiento apropiado que no afecte la estructura del pavimento.

En ningún evento se debe utilizar pintura negra de tráfico para tapar la demarcación defectuosa.

Igual tratamiento se debe dar a toda la demarcación colocada en forma diferente a los planos o las instrucciones del interventor y que, a criterio de este, pueda generar confusión o inseguridad a los usuarios de la vía.

El constructor debe remover bajo su propia cuenta y riesgo toda pintura, resina termoplástica o cualquier material utilizado que presente problemas de adherencia con la superficie.

700.4.6 Limitaciones en la ejecución

Bajo condiciones de lluvia no se debe aplicar la pintura para demarcación de pavimentos, ni cuando la temperatura ambiente a la sombra sea inferior a cinco grados Celsius (5 °C) o superior a cuarenta grados Celsius (40 °C) y según lo especifique el fabricante del producto. Tampoco se debe aplicar el material cuando el viento sea mayor a veinte kilómetros por hora (20 km/h) o la temperatura de la superficie por demarcar sea superior a cuarenta y ocho grados Celsius (48 °C), a no ser que el fabricante de la pintura recomiende su aplicación a esta temperatura en la ficha técnica del producto.

En el momento de la aplicación de la pintura para demarcación, la humedad relativa no puede ser mayor al ochenta por ciento (80 %) y la temperatura de la superficie debe ser mínimo diez grados Celsius (10 °C) por encima del punto de rocío, con el fin de que el vapor de agua del aire no afecte la calidad de la pintura. En todo caso, se debe seguir las recomendaciones de temperaturas definidas por el fabricante del producto.

Se debe verificar la humedad del pavimento con ayuda de equipos de control (menor del cinco por ciento (5 %) de la humedad) o métodos manuales; por ejemplo, para determinar la presencia de agua, se pega sobre la superficie

del pavimento una película de cuatrocientos centímetros cuadrados (400 cm^2) de plástico, empleando cinta de enmascarar, sellando todos los bordes. Luego de treinta minutos (30 min), se examina la presencia de agua condensada sobre el material o la superficie del pavimento. Si se detecta la presencia de agua condensada no se debe aplicar la pintura para demarcación.

No se debe aplicar termoplástico bajo condiciones de lluvia ni cuando la temperatura ambiente sea inferior a doce grados Celsius (12 °C) o la temperatura del pavimento sea inferior a nueve grados Celsius (9 °C).

La temperatura de calentamiento del termoplástico y el número de recalentamientos tienen topes máximos, los cuales deben estar de acuerdo con las especificaciones definidas por el fabricante.

Cuando el termoplástico se aplique sobre concreto hidráulico o pavimento asfáltico, con agregados expuestos, se recomienda aplicar un adhesivo (cuando se requiera esta aplicación, el fabricante debe definir su uso) para mejorar el enlace de unión entre el pavimento y el termoplástico.

No debe aplicarse termoplástico cuando exista humedad en el pavimento. Para determinar la presencia de humedad, se coloca sobre la superficie del pavimento una película de cuatrocientos centímetros cuadrados (400 cm^2) de plástico resistente a temperatura; posteriormente, se debe fundir el termoplástico sobre esta y luego examinar la presencia de agua condensada sobre el material o la superficie del pavimento. De detectarse la presencia de agua condensada, no se debe aplicar el material.

700.4.7 Apertura al tránsito

Las superficies demarcadas deben ser protegidas de la acción de cualquier tipo de tránsito hasta el instante en que el recubrimiento se encuentre perfectamente seco. Dicho instante debe ser definido por el interventor.

700.4.8 Manejo ambiental

Adicional a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las labores requeridas para la aplicación de pintura en líneas de demarcación y marcas viales, se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en las normas y disposiciones vigentes sobre la conservación del ambiente y los recursos naturales.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación, deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades se deben incluir en los costos del proyecto; por tanto, no son objeto de reconocimiento directo en el contrato.

700.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

700.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y funcionamiento de todo el equipo utilizado por el constructor.
- Revisar la instalación de la señalización temporal para informar del cierre parcial de la vía o de la restricción de la velocidad de

circulación, cuando la demarcación se hace con vía abierta.

- Comprobar que los materiales cumplan los requisitos de calidad exigidos en el numeral 700.2.
- Corroborar que los materiales se apliquen uniformemente y en los sitios previstos.
- Supervisar la adhesión, el acabado y la reflectividad de la pintura colocada.
- Examinar como mínimo: (i) el alineamiento de las marcas viales cada dos kilómetros (2 km); (ii) el ancho de la línea cada quinientos metros (500 m), (iii) la separación entre líneas cada cinco kilómetros (5 km) (iv) la variación del espaciamiento de las líneas con o sin demarcación cada cinco kilómetros (5 km), (v) el inicio y la finalización de zonas con o sin distancia de visibilidad para realizar la maniobra de adelantamiento y (vi) el ancho de carriles cada cinco kilómetros (5 km); o en los sitios que lo considere pertinente el interventor.
- Inspeccionar el cumplimiento sobre las distancias de prohibido adelantamiento, en curvas verticales y horizontales y en zonas con esta restricción en tramo recto, donde la distancia de visibilidad de adelantamiento sea mayor que la distancia de visibilidad del sector. Para ello, se debe indicar claramente al constructor las velocidades de operación en cada uno de los sectores, para poder hacer estas mediciones de acuerdo con lo expresado en el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte.
- Realizar la medición del espesor de película húmeda real, sin microesfera y el espesor de película seca y verificar su cumplimiento respecto de lo establecido en la NTC 4744-4.
- Verificar la homogeneidad y retrorreflectividad según lo definido en la NTC 4744-4.

El interventor debe exigir al constructor, el certificado de conformidad expedido por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC), o por un organismo de certificación de productos del país de origen, debidamente acreditado para certificar dichos materiales, aportado por las compañías fabricantes o lo que establezca la Superintendencia de Industria y Comercio en materia de evaluación de la conformidad.

El interventor debe medir para efectos de pago, el trabajo correctamente ejecutado de acuerdo con los planos, esta especificación y las instrucciones de interventor.

700.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

700.5.2.1 Acabado

700.5.2.1.1 Pintura de aplicación en frío

Las líneas deben ser razonablemente uniformes y libres de irregularidades. La uniformidad se debe determinar tomando muestras sobre láminas galvanizadas rectangulares de calibre nro. 16 de diez centímetros (10 cm) por quince centímetros (15 cm), las cuales se colocan cada quinientos metros (500 m). Cuando se hace la toma de la muestra, se debe interrumpir la pistola de aplicación de microesfera. Inmediatamente, estando húmeda la pintura, con una galga (micrómetro para medir espesores húmedos de pintura) se debe medir el espesor aplicado.

Las cantidades de pintura y de microesferas aplicadas deben determinarse tomando muestras sobre láminas galvanizadas rectan-

gulares de calibre nro. 16 de quince centímetros (15 cm) por veinticinco centímetros (25 cm), las cuales se deben colocar cada cinco mil metros (5 000 m).

La muestra de pintura con microesferas, seca, se debe colocar dentro de un disolvente que deshaga la pintura. Al tamizar el material disuelto en el tamiz de 0,075 mm (nro. 200), deben quedar atrapadas las microesferas aplicadas. Conociendo la masa de la lámina galvanizada, la masa total de esta con pintura y microesferas, la densidad, el contenido de sólidos y el área de pintura en la lámina, se debe determinar la cantidad real de pintura y de microesferas aplicadas en las líneas o marcas viales.

La toma de la muestra se debe realizar cuando el vehículo esté aplicando pintura y microesferas de vidrio a la vez. En seguida, se debe tomar una muestra de cero coma cinco litros (0,5 L) de la pintura que está saliendo por la pistola. De la muestra de pintura líquida se debe determinar en el laboratorio, la densidad y el contenido de sólidos.

700.5.2.1.2 Resinas termoplásticas

Las cantidades y uniformidad de termoplástico y microesferas aplicados se deben determinar tomando muestras sobre láminas galvanizadas rectangulares de calibre nro. 16 de quince centímetros (15 cm) por veinticinco centímetros (25 cm), las cuales se deben colocar cada cinco mil metros (5 000 m).

También, se deben atender los demás requisitos establecidos en este artículo y los especificados en la NTC 4744-4.

700.5.2.2 Dimensiones y tolerancias

- Las franjas que correspondan a las denominadas marcas longitudinales en el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte, deben tener un ancho mínimo de doce centímetros (12 cm).
- Las demás marcas deben tener las dimensiones y separaciones que se indiquen en los planos del proyecto, las cuales deben estar de acuerdo con lo que indique el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte.
- El espesor mínimo de película seca de pintura debe ser de: nueve mils (9 mils) para pintura líquida alquídica y pintura líquida acrílica base solvente o base agua, doce mils (12 mils) para pintura líquida acrílica base agua alto espesor, noventa mils (90 mils) para termoplástico por extrusión con superficie plana, sesenta mils (60 mils) para termoplástico por pulverización, veintidós mils (22 mils) para plástico en frio por pulverización y cuarenta mils (40 mils) para plástico de aplicación en frío (extruible) con superficie plana.
- Las longitudes de segmentos y espacios tienen una relación de longitudes de tres a cinco (3 a 5). Son de cuatro coma cinco metros (4,5 m) y siete coma cinco metros (7,5 m), respectivamente, para velocidades mayores a sesenta kilómetros por hora (60 km/h) y de tres metros (3 m) y cinco metros (5 m), respectivamente, para velocidades menores o iguales a sesenta kilómetros por hora (60 km/h); para ciclovías la relación entre las longitudes de segmentos y espacios debe ser de uno a dos (1 a 2), el largo del segmento será de un metro (1 m) y el largo de la brecha o espacio de dos metros (2 m).

- La desviación máxima permitida (flecha), en cualquier tramo en línea recta, debe ser de cinco centímetros (5 cm) en una distancia de cincuenta metros (50 m).
- Se deben atender las demás disposiciones del Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte y las de la NTC 4744-4.
- El plan de calidad y el plan de inspección, medición y ensayo son de obligatorio cumplimiento tal como se encuentra expresado en el numeral 103.2 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor.

700.5.2.3 Retrorreflectividad

A las líneas y marcas con pintura o termoplástico, una vez aplicadas, se les debe medir la retrorreflectividad y se deben obtener valores mayores o iguales a doscientos (200) milicandelas/m2/lux para pintura amarilla y doscientos cincuenta (250) milicandelas/m2/lux para pintura blanca en cualquier sitio de la vía demarcada, en relación directa con lo establecido en la NTC 4744-3.

Nota: Los valores de retrorreflexión en seco, húmedo y lluvia, al igual que los métodos de ensayo, deben cumplir con los requisitos mínimos establecidos en la norma UNE-EN 1436.

Estos valores son aplicables para vías con tránsito promedio diario menor o igual a tres mil (TPD ≤ 3 000) vehículos, siempre y cuando se cuente con un sistema de limpieza y mantenimiento adecuado que no deteriore la demarcación. Para volúmenes de tránsito mayores, los valores de reflectancia deben ser los indicados en los documentos del proyecto.

Se debe garantizar la retrorreflectividad a largo plazo o luego de seis (6) meses para la pintura o termoplástico. Al efecto, se deben obtener valores precisados en la NTC 4744-3.

La toma de datos se debe realizar por cada kilómetro de obra ejecutada en tres (3) sitios y por cada línea. Un dato obtenido debe ser el promedio de tres (3) medidas realizadas en la misma línea dentro de una distancia de tres metros (3 m); las medidas individuales deben estar dentro del diez por ciento (10 %) del promedio de las mismas o, de lo contrario, se deben tomar dos (2) o más lecturas adicionales para promediarlas y verificar si el promedio está o no dentro de los rangos especificados.

Debe tener en cuenta que todas las medidas se deben tomar sobre superficies limpias y secas y de acuerdo con las recomendaciones del fabricante del equipo con que se realizan las mediciones, el cual debe suministrar los datos directamente en las unidades anotadas anteriormente.

En caso de que se obtengan valores por debajo del mínimo especificado, se deben hacer mediciones cada doscientos metros (200 m) para identificar la zona no conforme, y así el constructor asuma las acciones correctivas que corren a sus expensas.

En las normas NTC 5867, Materiales para demarcación de pavimentos termoplástico retrorreflectiva blanco y amarillo (forma solida) y la NTC 5868, Materiales para demarcación de pavimentos, laminado elastoplástico (cintas preformadas) para señalización. Requisitos y Métodos de Ensayo, se especifican las características y requisitos de estos materiales para la demarcación de pavimentos.

Todas las deficiencias que excedan las tolerancias mencionadas deben ser corregidas por el constructor bajo su propia cuenta y riesgo, previa aprobación del interventor.

700.5.2.4 Resistencia al deslizamiento

Para marcas viales, el valor de resistencia al deslizamiento, expresado en unidades SRT, debe ser mayor o igual a cuarenta y cinco (≥ 45), conforme al método de ensayo especificado en las normas INV E-792 y NTC 5129.

700.6 Medida

700.6.1 Líneas de demarcación

La unidad de medida de las líneas de demarcación debe ser el metro (m) aproximado al decímetro (dm), de línea de demarcación continua o discontinua efectivamente aplicada sobre la superficie, de acuerdo con los planos del proyecto y esta especificación, aprobadas por el interventor. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

700.6.2 Marcas viales

La unidad de medida para las demás marcas viales debe ser el metro cuadrado (m^2), aproximado a la centésima de metro cuadrado, de superficie realmente pintada, medida en el sitio o terreno y aceptada por el interventor. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

No se debe medir ninguna línea de demarcación o marca vial colocada por fuera de los límites autorizados por el interventor.

700.7 Forma de pago

El pago de las líneas de demarcación y demás marcas viales se debe hacer al respectivo precio unitario del contrato, por todo trabajo ejecutado de acuerdo con esta especificación y aprobada por el interventor.

El precio unitario debe cubrir todos los costos de suministro, transporte, almacenamiento, desperdicios y aplicación de la pintura en frío o resina termoplástica y las microesferas reflectivas u otros materiales a que haya lugar; todos los trabajos e insumos necesarios para preparar las superficies donde se aplica el material de demarcación utilizado, incluyendo el imprimante si fuera necesario; la señalización preventiva de la vía y el control del tránsito durante la ejecución de los trabajos y el lapso posterior que fijen el interventor para la apertura al tránsito y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución del trabajo especificado.

El precio unitario debe cubrir, también, los costos de administración, imprevistos y la utilidad del constructor.

700.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
700.1	Línea de demarcación con pintura en frío	Metro (m)
700.2	Línea de demarcación con resina termoplástica	Metro (m)
700.3	Marca vial con pintura en frío	Metro cuadrado (m^2)
700.4	Marca vial con resina termoplástica	Metro cuadrado (m^2)

Tachas reflectivas

Artículo 701 – 22

701.1 Descripción

Este trabajo consiste en el suministro, almacenamiento, transporte y colocación de tachas reflectivas en la superficie del pavimento, utilizando adhesivos adecuados para que resistan el tránsito automotor sin desprenderse, de acuerdo con esta especificación, los planos del proyecto y las instrucciones del interventor.

701.2 Materiales

701.2.1 Tachas

Las tachas reflejantes instaladas sobre el pavimento deben estar elaboradas con materiales metálicos, plásticos o similares de alta resistencia y el material reflectivo debe ser vidrio o acrílico, de forma prismática, o esférica. Pueden ser retrorreflectivas en uno (1) o dos (2) sentidos y ser iluminadas internamente con luz continua, nunca destellante. Algunas tachas pueden ser retrorreflectivas desde cualquier dirección. En casos de poca iluminación o en lugares con presencia de niebla, se pueden colocar tachas solares si los documentos del proyecto así lo indican.

Cuando se usen en vías unidireccionales pueden ser retrorreflectivas o iluminadas solo en el sentido del tránsito y en vías bidireccionales deben ser retrorreflectivas o iluminadas en ambos sentidos.

No se debe permitir el suministro e instalación de tachas cuyo periodo de tiempo, comprendido entre su fabricación y su instalación exceda de doce (12) meses, independientemente de sus condiciones de almacenamiento.

Las tachas deben cumplir, además, los siguientes requisitos generales:

701.2.1.1 Clasificación

Las tachas retrorreflectivas se deben clasificar por el tipo, color y características de sus superficies de acuerdo con las siguientes clasificaciones (no se deben aceptar otras diferentes a las indicadas aquí). Esta clasificación va de acuerdo con el Manual de Señalización Vial del Ministerio de Transporte y la NTC 4745, vigentes.

701.2.1.1.1 Tipos de tachas retrorreflectivas

Tipo A: tacha retrorreflectiva bidireccional de un (1) solo color.

Tipo B: tacha retrorreflectiva unidireccional de un (1) solo color.

Tipo E: tacha retrorreflectiva bidireccional, de dos (2) colores.

701.2.1.1.2 Color de las tachas retrorreflectivas

Los elementos retrorreflectivos de las tachas deben ser blancos para complementar una demarcación plana blanca, amarillos para complementar una demarcación amarilla, azules para aproximaciones a hospitales, clínicas y centros de atención médica, rojos, para indicar al conductor que va en contra del sentido del tránsito o el acceso a una rampa de emergencia y verdes, utilizadas de forma temporal para obra, queda a criterio del diseñador la utilización de estas.

La clasificación de colores es la siguiente:

B: blanco.

A: amarillo.

R: rojo.

AZ: azul.

V: verde.

La Tabla 701 – 1 establece el tipo y color de la tacha a utilizar en función de la línea de demarcación que complementan.

Tabla 701 – 1. Clasificación de las tachas reflectivas en función del tipo de línea de demarcación vial.

Tipo de línea	Patrón de línea	Tipo de Tacha reflectiva	Color tacha
Líneas "centrales" que separan flujos opuestos (Nota 1)	Segmentadas continuas dobles	A A A	Amarillo Amarillo Amarillo
Líneas que separan carriles (Nota 2)	Segmentadas continuas	B o E B o E	Blanco o Blanco/Rojo Blanco o Blanco/Rojo (Nota 4)
Líneas de borde de pavimento. (Nota 3)	Segmentadas continuas	N/A A o B	 Blanco o Amarillo
Líneas canalizadoras Achurado	Continuas -	B A	Blanca Blanco o Amarillo
Demarcación divergente y convergente	-	E	Blanco/Rojo

Nota 1: este tipo de línea corresponde a vías de una calzada con doble sentido de circulación y/o a vías de dos (2) calzadas sin separador central.

Nota 2: este tipo de línea se utiliza para delimitar los carriles que conducen el tránsito en una misma dirección.

Nota 3: se considera línea de borde de pavimento a la línea adyacente a un separador central y/o a las líneas de borde de calzada.

Nota 4: la justificación del uso de tachas reflectivas de color blanco/rojo y/o verde, debe ser soportado por un estudio realizado por un especialista en vías y/o tránsito y aprobado por la interventoría.

701.2.1.1.3 Características de superficie

Designación H: tacha con superficie de lente dura, resistente a la abrasión.

Designación F: tacha con resistencia longitudinal suficiente para la aplicación en pavimentos de concreto asfaltico flexible.

La clasificación debe incluir: tipo, color y condición de superficie (este último solo para el caso de tachas designadas como H), en el orden presentado en los numerales anteriores.

Por ejemplo, ERBH, es una tacha bidireccional, roja y blanca, con superficie resistente a la abrasión.

Los documentos del proyecto deben indicar el tipo de tachas por utilizar.

701.2.1.2 Materiales y dimensiones

Debe estar constituido por materiales con resistencia adecuada al agua, las sustancias químicas y los rayos ultravioleta indicados para el uso previsto.

- La altura de la tacha no debe ser superior a veinte coma tres milímetros (20,3 mm).
- El ancho de la tacha no debe ser superior a ciento treinta milímetros (130,0 mm).
- El ángulo entre la superficie de la tacha y la base no debe ser superior a cuarenta y cinco grados (45°); si el ángulo entre la superficie de la tacha y la base es superior a cuarenta y cinco grados (45°), o si el frente de la tacha tiene protuberancias superiores a un milímetro (1 mm) entonces, como parte de la aceptación de tipo, la tacha se debe someter a un ensayo de seis (6) meses en la vía durante la época del año en que las condiciones climáticas y del tráfico son más críticas para la facilidad de limpieza. Esta característica se debe determinar midiendo al coeficiente de intensidad luminosa antes y después de lavar el lente de la tacha.
- La base de la tacha debe estar significativamente libre de grasa, esmaltes y sustancias que puedan reducir su capacidad adhesiva.
- La base de la tacha debe ser plana en un espacio de uno coma tres milímetros (1,3 mm). Si la base de la tacha está configurada, las superficies sobresalientes de las configuraciones no se deben desviar más de uno coma tres milímetros (1,3 mm) respecto de un plano.

Se puede aceptar otro tipo de construcción, siempre y cuando llene los requisitos de desempeño de esta especificación.

701.2.1.3 Retrorreflectividad

El coeficiente de intensidad luminosa, medido de conformidad con el numeral 6.2.1 de la NTC 4745, no debe ser menor a los valores establecidos en la Tabla 701 – 2.

Tabla 701 – 2. Coeficiente de intensidad luminosa (R_I)

Entrada ángulo (β_2)	Ángulo observación (α)	Valor mínimo R_1 milicandela por lux (mcd/lx)				
		Blanco	Amarillo	Rojo	Verde	Azul
0°	0,2°	279	167	70	93	26
+20° / -20°	0,2°	112	67	28	37	10
Entrada ángulo (β_2)	**Ángulo observación (α)**	**Valor mínimo R_1 candelas por pie candela (cd/pie cd)**				
		Blanco	Amarillo	Rojo	Verde	Azul
0°	0,2°	3,0	1,8	0,75	1,0	0,28
+20° / -20°	0,2°	1,2	0,72	0,30	0,4	0,11

Nota: el ángulo de componente de entrada (β_1) y el ángulo de rotación (ε) son cero grados (0°).

701.2.1.4 Resistencia a la flexión

Cuando se ensayen de acuerdo con el numeral 9.2.1 de la NTC 4745, las tachas deben soportar una carga de novecientos nueve kilogramos (909 kg) sin romperse y sin sufrir deformación mayor a tres coma tres milímetros (3,3 mm).

701.2.1.5 Resistencia a la compresión

Cuando se ensayen de acuerdo con el numeral 9.2.2, de la NTC 4745, las tachas deben soportar una carga de dos mil setecientos veintisiete kilogramos (2 727 kg) sin romperse y sin sufrir deformación mayor a tres coma tres milímetros (3,3 mm).

701.2.1.6 Color

Cuando el retrorreflector es iluminado por una fuente estándar CIE y cuando se mide según se indica en el numeral 9.3 de la NTC 4745, el color de la luz retrorreflejada debe estar dentro de las gamas de color limitadas por las siguientes coordenadas de la Tabla 701 – 3 y son mostrados en la figura 1 de la NTC 4745, correspondiente a la gama de colores.

Tabla 701 – 3. Coordenadas de los puntos de esquinas

Color		Puntos					
		1	2	3	4	5	6
Blanco	X	0,310	0,453	0,500	0,500	0,440	0,310
	Y	0,348	0,440	0,440	0,380	0,380	0,283
Amarillo	X	0,545	0,559	0,609	0,597	-	-
	Y	0,424	0,439	0,390	0,390	-	-
Rojo	X	0,650	0,668	0,734	0,721	-	-
	Y	0 330	0 330	0 265	0 259	-	-
Azul	X	0,039	0,160	0,160	0,188	0,088	-
	Y	0,320	0,320	0,240	0,218	0,142	-
Verde	X	0,009	0,288	0,209	0,012	-	-
	Y	0,733	0,520	0,395	0,494	-	-

701.2.1.7 Resistencia del lente al agrietamiento

701.2.1.7.1 Resistencia del lente al impacto

Cuando se impacta según se indica el numeral 9.4.1 de la NTC 4745, la cara del lente no debe mostrar más de dos (2) grietas radiales con una longitud máxima de seis coma cuatro milímetros (6,4 mm). No debe haber grietas radiales que lleguen al borde de la superficie de resistencia a la abrasión. Adicionalmente, no se debe presentar ninguna separación de los componentes internos de la tacha.

701.2.1.7.2 Cambios cíclicos de temperatura

Cuando las tachas se sometan a cambios cíclicos de temperatura, de acuerdo con el numeral 9.4.2 de la NTC 4745, no se debe producir ninguna grieta ni separación de los componentes internos de la tacha.

701.2.1.7.3 Abrasión

Se debe realizar, adicionalmente, el ensayo de resistencia a la abrasión, de acuerdo con el numeral 9.5 de la NTC 4745; después de este ensayo, se debe medir nuevamente el coeficiente de intensidad luminosa, el cual debe mantenerse dentro de los valores establecidos en la Tabla 701 – 2. La falla de más de un elemento debe ser causa para rechazar el lote completo.

701.2.1.8 Muestreo

Para tachas que no son resistentes a la abrasión, el tamaño de muestra debe ser de veinte (20) tachas por cada lote de diez mil unidades (10 000 u) o menos, y cuarenta (40) tachas para lotes mayores de diez mil unidades (10 000 u). Para tachas con una superficie resistente a la abrasión, son necesarias diez unidades (10 u) adicionales. El tamaño del lote no debe exceder de veinticinco mil unidades (25 000 u).

701.2.1.9 Empaque

Las tachas se deben distribuir en empaques adecuados para garantizar su protección y asegurar una entrega en perfectas condiciones.

Los empaques para despacho, deben marcarse con el nombre y la dirección del fabricante, el tipo, el color, la cantidad contenida y el número de identificación del lote.

701.2.2 Adhesivo

El material destinado a adherir la tacha con el pavimento debe presentar unas características generales garantizadas por el fabricante, teniendo en cuenta el tipo y el estado del pavimento; además, el fabricante debe indicar la dosificación con la cual ha de aplicarse el producto. Se puede emplear material bituminoso y termoplástico o pegante epóxico de dos (2) o más componentes.

El adhesivo debe asegurar un tiempo de secado que no sobrepase veinticinco minutos (25 min) y que las tachas no sufran desplazamientos o movimientos al ser golpeadas por los vehículos después de transcurridas doce horas (12 h) desde su colocación.

El adhesivo no se puede emplear sin el visto bueno del interventor.

Para la instalación de las tachas sobre el pavimento, el adhesivo a aplicar debe cumplir con lo definido en la NTC 4745.

701.3 Equipo

Se debe disponer del equipo necesario para preparar la superficie del pavimento, para el transporte y colocación de las tachas, así como para la limpieza de la superficie luego de terminados los trabajos y para la recolección y retiro de los desperdicios.

701.4 Ejecución de los trabajos

701.4.1 Localización

El constructor debe localizar las marcas sobre el pavimento de acuerdo con los planos de señalización, el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte y las instrucciones del interventor.

La distancia de colocación de las tachas debe determinarse en función de la velocidad de operación del tramo de la vía; no debe generar

contaminación visual o incomodidad al usuario que observa una o más tachas por cada segundo de recorrido.

El espaciamiento entre las tachas de cualquier vía es función del patrón utilizado para la línea central segmentada en la vía y, según la vía, este patrón puede variar entre doce, ocho y tres metros (12 m, 8 m y 3 m), dependiendo de la velocidad, en observancia del Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte.

En tramos con velocidad superior a sesenta kilómetros por hora (60 km/h), las tachas se deben instalar máximo cada veinticuatro metros (24 m) y, en tramos con velocidad menor o igual a sesenta kilómetros por hora (60 km/h), las tachas se deben instalar máximo cada dieciséis metros (16 m).

En ciclovías, las tachas se deben instalar máximo cada seis metros (6 m).

En curvas, dependiendo del radio de ellas, tanto en el eje como lateralmente, las tachas se deben ubicar como se indica en la Tabla 701 – 4.

En vías bidireccionales y una sola calzada de circulación, deben emplearse tachas con doble cara retrorreflectiva, de color amarillo y blanco, tanto en líneas centrales como laterales.

Tabla 701 – 4. Distancia máxima entre tachas ubicadas en curvas

Radio de la curva (m)	Distancia máxima entre tachas (m)
Menos de 20	6
Entre 20 y 49	8
Entre 50 y 99	12
Entre 100 y 199	18
Mayor a 200	24

Sobre “permitidos” o “prohibidos de adelantamiento”, la instalación de las tachas en el eje debe localizarse en el centro del espacio sin pintura. En tramos con líneas de demarcación intermitentes, no se deben instalar tachas al inicio o al final de cada segmento sino en el tramo del centro sin pintar. Al repintar, se debe tener cuidado de no pintar las mismas.

En vías multicarriles, o calzadas con una sola dirección, se deben emplear tachas unidireccionales blancas o bidireccionales blanca-roja; en el último caso, el color blanco guía a los conductores que circulan correctamente. Nunca se debe emplear un conjunto de tachas como reductores de velocidad; en agujas (obstáculos), la distancia máxima entre tachas debe ser de dos metros (2 m) o la que se indique en los documentos del proyecto.

Si durante el planeamiento previo a la instalación se determina que, como resultado del espaciamiento típico de tachas, una tacha debe ser puesta en un sitio con defectos de superficie de pavimento, en una junta de construcción del pavimento o dentro de la intersección con una entrada domiciliaria o calle pública, el sitio propuesto se debe relocalizar longitudinalmente a suficiente distancia, en un punto aprobado por el interventor.

La distancia de relocalización de la tacha afectada no puede exceder el diez por ciento (10 %) del espaciamiento típico.

Donde fuere necesario relocalizar la tacha a una distancia mayor del diez por ciento (10 %) de espaciamiento típico, la tacha afectada se debe suprimir. La cara reflectora de la tacha debe estar perpendicular a una línea paralela a la línea central de la vía.

701.4.2 Preparación de la superficie

Antes de proceder a la aplicación de las tachas, si la superficie presenta defectos o huecos notables, se deben corregir los primeros y rellenar los segundos con materiales de la misma naturaleza de la superficie.

Los sitios elegidos para la colocación de las tachas se deben limpiar de polvo, barro, grasa, suciedad y cualquier otro elemento extraño, cuya presencia atente contra la correcta adhesión de la tacha al pavimento. Para ello, se puede emplear cualquier procedimiento aprobado por el interventor y que sea ambientalmente permitido.

Cuando las tachas se instalen sobre un pavimento de concreto hidráulico, se deben eliminar de la zona de fijación todos aquellos materiales utilizados en el proceso de curado del concreto que aún se encuentran sobre la superficie.

701.4.3 Colocación de las tachas

Las tachas se deben colocar en los sitios previamente localizados, fijándolas con el adhesivo indicado en el numeral 701.2.2. Este se debe preparar de acuerdo con las instrucciones del fabricante y su cantidad a utilizar depende del estado de la superficie del pavimento.

Si se emplea un adhesivo epóxico, se recomienda no preparar más cantidad de adhesivo de la que se pueda utilizar en diez minutos (10 min).

El adhesivo se debe aplicar con una espátula a la base de la tacha o a la superficie del pavimento, en una cantidad tal que cubra toda la superficie de contacto sin presentar vacíos, más un leve exceso.

Las tachas se deben colocar tan pronto como sea posible, con un procedimiento que asegure que, respecto del eje de la vía, no sufra desviaciones mayores a dos milímetros (2 mm), medidos en los extremos. Una vez instalada la tacha, se debe presionar hasta que el pegamento salga por los bordes. Todo exceso de adhesivo se debe limpiar y retirar inmediatamente. No se debe aceptar, por ningún motivo, que alguna traza de pegamento quede sobre la cara reflectante de la tacha.

701.4.4 Plan de Manejo de Tránsito (PMT)

El constructor debe contar con un PMT e instalar todos los elementos de señalización preventiva en la zona de los trabajos, de acuerdo con lo establecido en el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte, los cuales deben garantizar la seguridad permanente tanto del personal y de los equipos de construcción, como de los usuarios y transeúntes, durante las veinticuatro horas (24 h) del día.

Para actividades que no impliquen el cierre total de la vía, el interventor debe dar su visto bueno previo a la presentación de un PMT. Para casos que impliquen el cerramiento total de la vía, se deben tramitar los permisos correspondientes ante la autoridad competente y se debe presentar el PMT aprobado por el interventor.

Las tachas deben ser protegidas del tránsito o de cualquier golpe por el tiempo mínimo indicado por el fabricante de acuerdo con el tipo de material utilizado como adhesivo. Además, durante el período que dure el proceso de endurecimiento del pegamento, se deben tomar todas las precauciones necesarias para evitar que el tránsito pase sobre las tachas. Para esto, el constructor debe colocar elementos de señalización como conos o barreras para asegurar el procedimiento.

701.4.5 Limpieza final

Una vez colocadas las tachas, el constructor debe retirar del sitio de los trabajos todos los equipos, señales y materiales sobrantes, disponiéndolos en lugares aprobados por el interventor.

701.4.6 Limitaciones en la instalación

No se debe permitir la colocación de tachas en las siguientes condiciones:

- Si existe lluvia o humedad sobre el pavimento.
- Cuando la temperatura del pavimento o la del aire esté a:
  - Cero grados Celsius (0 °C) o menos, en caso de utilizar adhesivo epóxico de fijación rápida.
  - Diez grados Celsius (10 °C) o menos, cuando se utilice epóxico de fijación normal.
  - Cuatro coma cuatro grados Celsius (4,4 °C) o menos y máximo doce grados Celsius (12 °C), cuando se utilice ligante - asfáltico.
  - O menos de nueve grados Celsius (9 °C), cuando se utilice termoplástico alquídico.
- Si la humedad relativa del aire es mayor del ochenta por ciento (80 %).
- Cuando la superficie del pavimento no esté suficientemente seca.

En pavimentos nuevos con carpeta de concreto asfáltico, las tachas se pueden colocar después de que la superficie se haya abierto al tránsito por un periodo no menor de catorce días (14 d) continuos.

Tampoco se debe permitir la colocación de tachas sobre áreas de pavimento agrietadas, juntas longitudinales, transversales, fisuras, con desplazamientos o donde existan fallas del material de la base subyacente o sobre marcas viales existentes.

Además, se deben atender todas las limitaciones adicionales que establezcan los fabricantes del adhesivo y de las tachas.

701.4.7 Manejo ambiental

En adición a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las labores requeridas para la instalación de tachas reflectivas, se deben realizar teniendo en cuenta lo definido en las normas y disposiciones vigentes sobre la conservación del ambiente y los recursos naturales.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación, deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades deben incluirse en los costos del proyecto; por tanto, no son objeto de reconocimiento directo en el contrato.

701.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

701.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y funcionamiento del equipo utilizado por el constructor.
- Comprobar que todos los materiales cumplan los requisitos indicados en el numeral 701.2.
- Vigilar que las tachas no se coloquen con anterioridad a la aplicación de las líneas de demarcación.
- Revisar que las tachas queden correctamente colocadas y contarlas para efectos de pago.

El interventor debe medir, para efectos de pago, el trabajo correctamente ejecutado de acuerdo con los planos, esta especificación y las instrucciones del interventor.

La interventoría debe exigir al constructor, el certificado de conformidad expedido por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC), o por un organismo de certificación de productos del país de origen, debidamente acreditado para certificar dichos materiales, aportado por las compañías fabricantes o lo que establezca la Superintendencia de Industria y Comercio en materia de evaluación de la conformidad. El certificado debe indicar que el producto se ha ensayado según los métodos de prueba definidos en la NTC 4745 vigente.

Las tachas seleccionadas para muestreo deben evaluarse bajo los ensayos determinados en la NTC 4745. Para la recepción, se debe implementar el ensayo ASTM E1696 para la medición del coeficiente de intensidad luminosa antes de la exposición a abrasión o instalación. Los equipos retrorreflectómetros, deben tener placa calibradora vigente y debe ser generada por un laboratorio acreditado o avalado independiente.

El plan de calidad y el plan de inspección, medición y ensayo, son de obligatorio cumplimiento tal como se encuentra expresado en el numeral 103.2 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor.

701.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

701.5.2.1 Calidad de los materiales

No se deben admitir materiales que incumplan las exigencias del numeral 701.2.

701.5.2.2 Instalación de las tachas

El interventor únicamente debe aceptar el trabajo si las tachas han sido colocadas de acuerdo con los planos, la presente especificación, sus instrucciones y si se encuentran totalmente adheridas a la superficie del pavimento a los treinta días (30 d) de su colocación.

Todas las deficiencias que presenten los trabajos deben corregirse por el constructor bajo su propia cuenta y riesgo, y aprobadas por el interventor.

701.6 Medida

Las tachas reflectivas se deben medir por unidad (u) instalada de acuerdo con los documentos del proyecto y la presente especificación, debidamente aceptadas por el interventor.

701.7 Forma de pago

El pago se debe hacer al respectivo precio unitario del contrato por toda tacha reflectiva colocada, con base en esta especificación y aprobado por el interventor. El precio unitario debe comprender todos los costos inherentes al suministro de materiales y equipos; localización y preparación de los sitios de colocación de las tachas; transportes, almacenamiento y colocación del adhesivo y las tachas; señalización temporal y ordenamiento del tránsito; limpieza, remoción, transporte y disposición de desperdicios y, en general, todo costo adicional requerido para la correcta ejecución del trabajo especificado.

El precio unitario debe incluir, igualmente, los costos de administración, imprevistos y la utilidad del constructor.

701.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
701.1	Tacha reflectiva (A, B o E)	Unidad (u)

Nota: se debe elaborar un ítem para cada tipo de tacha reflectiva incluido en el contrato.

Tachas reflectivas con espigo

Artículo 702 - 22

702.1 Descripción

Este trabajo consiste en el suministro, almacenamiento, transporte y colocación de tachas reflectivas con espigo en la superficie del pavimento, utilizando adhesivos adecuados para que resistan el tránsito automotor sin desprenderse, de acuerdo con esta especificación, el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte, los planos del proyecto y las instrucciones del interventor.

702.2 Materiales

702.2.1 Tachas

Las tachas reflejantes instaladas sobre el pavimento deben estar elaboradas con materiales metálicos, plásticos o similares de alta resistencia, el material reflectivo debe ser vidrio o acrílico de forma prismática o esférica. El espigo mejora la adherencia a la superficie de pavimento y puede ser metálico o plástico, en todo caso, debe garantizar una unión integral al cuerpo de la tacha reflectiva, es importante resaltar que no se permiten ensamblajes en obra.

Las tachas pueden ser retrorreflectivas en uno (1) o dos (2) sentidos y puede ser adicionalmente iluminadas internamente con luz continua, nunca destellante. Algunas tachas pueden ser retrorreflectivas desde cualquier dirección. En casos de poca iluminación o en lugares de presencia de niebla, se pueden colocar tachas solares si los documentos del proyecto así lo indican.

Cuando se usen en vías unidireccionales pueden ser retrorreflectivas o iluminadas solo en el sentido del tránsito y en vías bidireccionales deben ser retrorreflectivas o iluminadas en ambos sentidos.

No se permite el suministro e instalación de tachas que tengan adhesivo previamente instalado en su respaldo, cuyo período de tiempo comprendido entre su fabricación y su instalación exceda de doce (12) meses, independientemente de sus condiciones de almacenamiento.

Las tachas deben cumplir, además, los siguientes requisitos generales:

702.2.1.1 Clasificación

Las tachas retrorreflectivas se deben clasificar por el tipo, color y características de sus superficies de acuerdo con las siguientes clasificaciones (no se deben aceptar otras diferentes a las indicadas aquí), esta clasificación va de acuerdo con el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte y la NTC 4745 (ASTM D4280), vigentes.

702.2.1.1.1 Tipos de tachas retrorreflectivas

Tipo A: Tacha retrorreflectiva bidireccional de un (1) solo color.

Tipo B: Tacha retrorreflectiva unidireccional de un (1) solo color.

Tipo E: Tacha retrorreflectiva bidireccional, de dos (2) colores.

702.2.1.1.2 Color de las tachas retrorreflectivas

Los elementos retrorreflectivos de las tachas

deben ser blancos para complementar una demarcación plana blanca, amarillos para complementar una demarcación amarilla, azules para aproximaciones a hospitales, clínicas y centros de atención médica, rojos para indicar al conductor que va en contra del sentido del tránsito o el ascenso a una rampa de emergencia y verdes utilizadas de forma temporal para obra. Queda a criterio del diseñador la utilización de estas.

La clasificación de colores es la siguiente:

B : Blanco.
A : Amarillo.
R : Rojo.
AZ: Azul.
V : Verde.

La Tabla 701 – 1 del artículo 701, Tachas reflectivas, establece el tipo y color de la tacha a utilizar en función de la línea de demarcación que complementan.

702.2.1.1.3 Características de superficie

Designación H: Tacha con superficie de lente dura, resistente a la abrasión.

Designación F: Tacha con resistencia longitudinal suficiente para la aplicación en pavimentos de concreto asfáltico flexible.

La clasificación debe incluir: tipo, color y condición de superficie (este último solo para el caso de tachas designadas como H), en el orden presentado en los numerales anteriores. Por ejemplo, ERBH, es una tacha bidireccional, roja y blanca, con superficie resistente a la abrasión.

Los documentos del proyecto deben indicar el tipo de tachas por utilizar.

702.2.1.2 Materiales y dimensiones

Debe estar constituido por materiales con resistencia adecuada al agua, las sustancias químicas y los rayos ultravioleta indicados para el uso previsto.

- La altura de la tacha no debe ser superior a veinte coma tres milímetros (20,3 mm) y el ancho de la tacha no debe ser superior a ciento treinta milímetros (130,0 mm).

- El ángulo entre la superficie de la tacha y la base no debe ser superior a cuarenta y cinco grados (45°); si el ángulo entre la superficie de la tacha y la base es superior a cuarenta y cinco grados (45°), o si el frente de la tacha tiene protuberancias superiores a un milímetro (1 mm) entonces, como parte de la aceptación de tipo, la tacha se debe someter a un ensayo de seis (6) meses en la vía durante la época del año en que las condiciones climáticas y del tráfico son más críticas para la facilidad de limpieza. Esta característica se debe determinar midiendo al coeficiente de intensidad luminosa antes y después de lavar el lente de la tacha.

- La base de la tacha debe estar significativamente libre de grasa, esmaltes y sustancias que puedan reducir su capacidad adhesiva.

- La base de la tacha debe ser plana en un espacio de uno coma tres milímetros (1,3 mm). Si la base de la tacha está configurada, las superficies sobresalientes de las configuraciones no se deben desviar más de uno coma tres milímetros (1,3 mm) respecto de un plano.

- El espigo puede ser metálico o plástico, pero debe hacer parte integral de la tacha, no se deben permitir ensamblajes que no garanticen esa integralidad.

Nota: Se puede aceptar otro tipo de construcción equivalente, siempre y cuando cumpla con los requisitos de desempeño de esta especificación.

702.2.1.3 Resistencia a la adhesión

Para tachas de fondo plano, la resistencia a la adhesión, medida de acuerdo con el numeral

9.1 de la norma NTC 4745 (ASTM D4280), debe ser mínimo tres coma cuatro megapascales (3,4 MPa).

Las tachas de fondo plano que pasen este ensayo con adhesivo epóxico se consideran también aceptables para uso con adhesivo bituminoso y termoplástico alquídico.

702.2.1.4 Resistencia a la abrasión

Se debe medir el coeficiente de intensidad luminosa (R1) en las tachas después de someter toda la superficie del lente a la prueba descrita en la sección 9.5 de la NTC 4745 (ASTM D4280) usando un equipo de caída de arena.

Para las tachas designadas como H, se debe realizar, adicionalmente, el ensayo de resistencia a la abrasión, de acuerdo con el numeral 9.2.2 de la norma NTC 4745 (ASTM D4280), en cuatro (4) caras reflectivas que hayan pasado el ensayo establecido en el numeral 9.2.1 de dicha norma.

Después de esta prueba los valores de reflejancia de la tacha no deben ser menores a cero coma cinco (0,5) veces los valores de la Tabla 702-1 coeficiente de intensidad luminosa R1 del numeral 702.2.1.5.

Después de este ensayo, se debe medir nuevamente el coeficiente de intensidad luminosa, el cual se debe mantener dentro de los valores establecidos en la Tabla 702-1. La falla de más de un elemento debe ser causa para rechazar el lote completo.

702.2.1.5 Coeficiente de intensidad luminosa

El coeficiente de intensidad luminosa, medido de conformidad con el numeral 6.2.1 de la norma NTC 4745 (ASTM D4280), no debe ser menor a los valores establecidos en la Tabla 702-1.

Tabla 702-1 Coeficiente de intensidad luminosa R1

Entrada ángulo β_2	Ángulo observación °	Valor Mínimo R1 Milicandela por LUX, (mcd/lx)				
		Blanco	Amarillo	Rojo	Verde	Azul
0°	0,2°	279	167	70	93	26
+20° /- 20°	0,2°	112	67	28	37	10
Entrada ángulo β_2	**Ángulo observación °**	**Valor Mínimo R1 Candelas por pie candela, (cd/pie^2)**				
		Blanco	**Amarillo**	**Rojo**	**Verde**	**Azul**
0°	0,2°	3,0	1,8	0,75	1,0	0,28
+20° /- 20°	0,2°	1,2	0,72	0,30	0,4	0,11

Nota: El ángulo de componente de entrada (β1) y el ángulo de rotación (ε) son cero grados (0°).

702.2.1.6 Resistencia a la flexión

Cuando se ensayen de acuerdo al numeral 9.2.1 de la NTC 4745 (ASTM D4280), las tachas deben soportar una carga de novecientos nueve kilogramos (909 kg) sin romperse y sin sufrir deformación mayor a tres coma tres milímetros (3,3 mm).

702.2.1.7 Resistencia a la compresión

Cuando se ensayen de acuerdo al numeral 9.2.2, de la NTC 4745 (ASTM D4280), las tachas deben soportar una carga de dos mil setecientos veintisiete kilogramos (2 727 kg) sin romperse y sin sufrir deformación mayor a tres coma tres milímetros (3,3 mm).

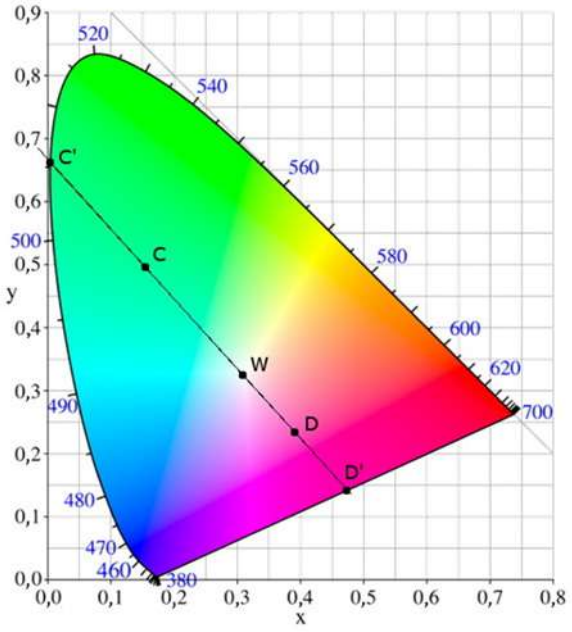
702.2.1.8 Color

Cuando el retrorreflector es iluminado por una fuente estándar CIE y cuando se mide según se indica en el numeral 9.3 de la NTC 4745 (ASTM D4280), el color de la luz retrorreflejada debe estar dentro de las gamas de color limitadas por las siguientes coordenadas de la Tabla 702-2 y son mostrados en la Figura 702-1 equivalente a la Figura 1 de la NTC 4745 (ASTM D4280), correspondiente a la gama de colores.

Tabla 702-2 Coordenadas de los puntos de esquinas

Color	Coordenada correspondiente a la X o Y	Puntos					
		1	2	3	4	5	6
BLANCO	X	0,310	0,453	0,500	0,500	0,440	0,310
	Y	0,348	0,440	0,440	0,380	0,380	0,283
AMARILLO	X	0,545	0,559	0,609	0,597	-	-
	Y	0,424	0,439	0,390	0,390	-	-
ROJO	X	0,650	0,668	0,734	0,721	-	-
	Y	0,330	0,330	0,265	0,259	-	-
AZUL	X	0,039	0,160	0,160	0,188	0,088	-
	Y	0,320	0,320	0,240	0,218	0,142	-
VERDE	X	0,009	0,288	0,209	0,012	-	-
	Y	0,733	0,520	0,395	0,494	-	-

Figura 702-1 Diagrama Cromático



ESPECIFICACIONES INVÍAS - 2022

702.2.1.9 Resistencia del lente al agrietamiento (requisito aplicable solo a tachas designadas como H)

702.2.1.9.1 Resistencia del lente al impacto

Cuando se impacta según se indica en el numeral 9.4.1 de la NTC 4745 (ASTM D4280), la cara del lente no debe mostrar más de dos (2) grietas radiales con una longitud máxima de seis coma cuatro milímetros (6,4 mm). No debe haber grietas radiales que lleguen al borde de la superficie de resistencia a la abrasión, adicionalmente, no se debe presentar ninguna separación de los componentes internos de la tacha.

702.2.1.9.2 Cambios cíclicos de temperatura

Cuando las tachas se sometan a cambios cíclicos de temperatura, de acuerdo con el numeral 9.4.2 de la NTC 4745 (ASTM D4280), no se debe producir ninguna grieta ni separación de los componentes internos de la tacha.

702.2.1.9.3 Abrasión

Se requiere realizar el ensayo de resistencia a la abrasión, de acuerdo con el numeral 9.5 de la NTC 4745 (ASTM D4280); posteriormente se debe medir nuevamente el coeficiente de intensidad luminosa, el cual debe mantenerse dentro de los valores establecidos en la Tabla 702-1. La falla de más de un elemento es causa para rechazar el lote completo.

702.2.1.10 Muestreo

Para tachas que no son resistentes a la abrasión, el tamaño de muestra debe ser de veinte (20) tachas por cada lote de diez mil unidades (10 000 u) o menos, y cuarenta (40) tachas para lotes mayores de diez mil unidades (> 10 000 u).

Para tachas con una superficie resistente a la abrasión, son necesarias diez unidades (10 u) adicionales. El tamaño del lote no debe exceder de veinticinco mil unidades (25 000 u).

702.2.1.11 Empaque

Las tachas se deben distribuir en empaques adecuados para garantizar su protección y asegurar una entrega en perfectas condiciones.

Los empaques para despacho deben marcarse con el nombre y la dirección del fabricante, el tipo, el color, la cantidad contenida y el número de identificación del lote.

702.2.1.12 Adhesivo

El material destinado a adherir la tacha con el pavimento debe presentar unas características generales garantizadas por el fabricante, teniendo en cuenta el tipo y el estado del pavimento; además, el fabricante debe indicar la dosificación con la cual ha de aplicarse el producto. Se puede emplear material bituminoso y termoplástico o pegante epóxico de dos (2) o más componentes.

El adhesivo debe asegurar un tiempo de secado que no sobrepase veinticinco minutos (25 min) y que las tachas no sufran desplazamientos o movimientos al ser golpeadas por los vehículos después de transcurridas doce horas (12 h) desde su colocación.

El adhesivo no se puede emplear sin el visto bueno del interventor.

Para la instalación de las tachas sobre el pavimento, el adhesivo a aplicar debe cumplir con lo definido en la NTC 4745 (ASTM D4280).

702.2.1.12.1 Requerimientos mínimos para el pegante:

- Dilución: No se recomienda ningún tipo de dilución.
- Viscosidad: 110 – 120 KU.
- Humedad relativa máxima de aplicación:

Ochenta y cinco por ciento (85%).

- Temperatura mínima de aplicación: 5°C, el sustrato debe estar 3°C por encima del punto de rocío.
- Temperatura máxima de aplicación: 45°C del sustrato.
- Temperatura de almacenamiento: Entre 4°C y 32°C bajo techo.

Se debe utilizar pegamento bituminoso para pegar tachas reflectivas cuando el substrato es asfalto y epóxico cuando el substrato es concreto hidráulico.

702.3 Equipo

Se debe disponer del equipo necesario para preparar la superficie del pavimento, el transporte y colocación de las tachas, así como para la limpieza de la superficie luego de terminados los trabajos y la recolección y retiro de los desperdicios.

- Taladro percutor con fuente de energía.
- Broca nro. 11 o nro. 12 con punta de diamante.
- Soplador para limpieza de la superficie y el orificio.
- Espátula para aplicación del epóxico.
- Equipo de mezcla automática para adhesivo acelerado.
- Aplicador de fusión para el adhesivo de asfalto.
- Herramienta menor.

702.4 Ejecución de los trabajos

702.4.1 Localización

El constructor debe localizar las marcas sobre el pavimento de acuerdo con los planos de señalización, el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio del Transporte y las instrucciones del interventor.

Las tachas se deben instalar al lado derecho a cero coma cero cinco metros (0,05 m) de las demarcaciones planas de borde que complementan y en línea a mitad de brecha en el caso de demarcaciones planas segmentadas que complementan. En situaciones urbanas que no tengan berma pavimentada, se pueden instalar al lado izquierdo de la línea de borde.

La distancia de colocación de las tachas debe determinarse en función de la velocidad de operación del tramo de la vía y no debe generar contaminación visual o incomodidad al usuario que observa una o más tachas por cada segundo de recorrido.

El espaciamiento entre las tachas de cualquier vía, es función del patrón utilizado para la línea central segmentada de la vía y según la vía este patrón puede variar entre doce, ocho y tres metros (12 m, 8 m y 3 m), dependiendo de la velocidad, en observancia del Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte. Estas relaciones se indican en la Tabla 702-3.

Tabla 702-3 Relación entre tramos demarcados y brechas según la velocidad máxima permitida en vía

Velocidad máxima de la vía (km/h)	Patrón ρ(m)	Relación demarcación brecha	Largo demarcación (m)	Largo brecha (m)
Mayor a 60	12	3 a 5	4,5	7,5
Menor o Igual a 60	8	3 a 5	3	5
Ciclovía	3	1 a 2	1	2

En tramos con velocidad superior a sesenta kilómetros por hora (> 60 km/h), las tachas se deben instalar máximo cada doce metros (12 m) y en tramos con velocidad menor o igual a sesenta kilómetros por hora (≤ 60 km/h), las tachas se deben instalar máximo cada ocho metros (8 m).

En ciclovías, las tachas se deben instalar máximo cada tres metros (3 m).

En los lugares donde existan dos demarcaciones planas continuas de adelantamiento prohibido se deben ubicar en dos (2) líneas, adentro de las líneas planas o sobre estas.

En curvas dependiendo del radio de ellas, tanto en el eje como lateralmente, las tachas se deben ubicar como se indica en la Tabla 702-4.

En vías bidireccionales y una sola calzada de circulación, deben emplearse tachas con doble cara retrorreflectiva, de color amarillo y blanco, tanto en líneas centrales como laterales.

Tabla 702-4 Distancia máxima entre tachas ubicadas en curvas

Radio de la curva (m)	Distancia máxima entre tachas (m)
Menos de 20	6
Entre 20 y 49	8
Entre 50 y 99	12
Entre 100 y 199	18
Mayor a 200	24

Sobre “permitidos” o “prohibidos de adelantamiento”, la instalación de las tachas en el eje debe localizarse en el centro del espacio sin pintura. En tramos con líneas de demarcación intermitentes, no se deben instalar tachas al inicio o al final de cada segmento sino en el tramo del centro sin pintar. Al repintar, se debe tener cuidado de no pintar las mismas.

En vías multicarriles o calzadas con una sola dirección, se deben emplear tachas unidireccionales blancas o bidireccionales blanca-roja; en el último caso, el color blanco guía a los conductores que circulan correctamente.

Nunca se debe emplear un conjunto de tachas como reductores de velocidad; en agujas (obstáculos), la distancia máxima entre tachas debe ser de dos metros (2 m) o la que se indique en los documentos del proyecto.

Las figuras 702- 2 a la 702-19, presentan las distintas configuraciones de separación de las tachas conforme a lo establecido en el Manual de Señalización Vial, dispositivos uniformes para la regulación del tránsito en calles, carreteras y ciclorrutas de Colombia, 2015. Figuras 3-5 a 3-16 y Figuras 3-20 a 3-25.

Figura 702-2 Separación vía doble sentido y 2 carriles sin restricción de adelantamiento con un patrón de demarcaciones segmentadas en la vía=ρ y una separación normal entre tachas=ρ

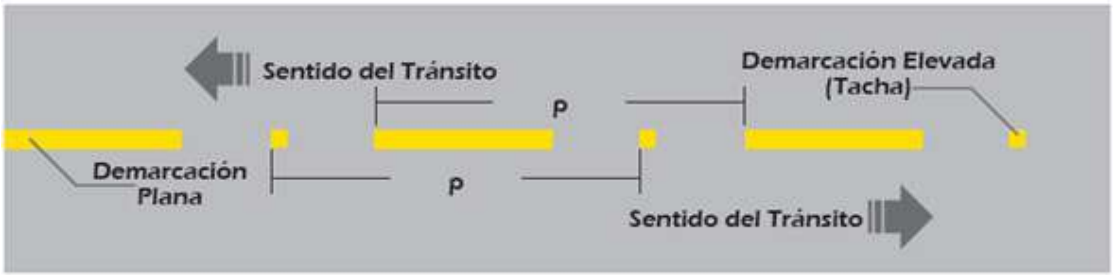


Figura 702-3 Separación vía doble sentido y 2 carriles sin restricción de adelantamiento con un patrón de demarcaciones segmentadas en la vía=ρ y una separación normal entre tachas=2ρ

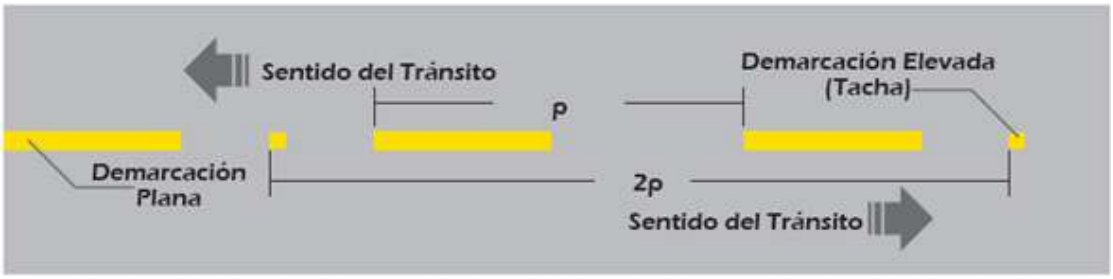


Figura 702-4 Separación vía doble sentido con restricción de adelantamiento en un sentido con un patrón de demarcaciones segmentadas en la vía= ρ y una separación normal entre tachas=ρ en línea segmentada y una separación entre tachas=1/2 ρ en línea continua

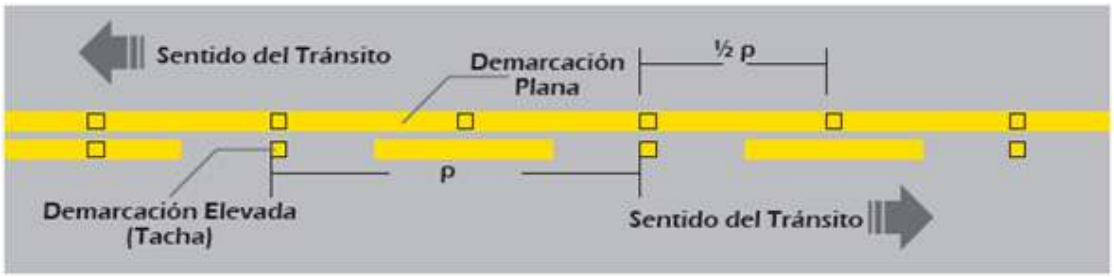


Figura 702-5 Separación vía doble sentido con restricción de adelantamiento en un sentido con un patrón de demarcaciones segmentadas en la vía= ρ y una separación entre tachas=2ρ en línea segmentada y una separación de tachas=ρ en línea continua

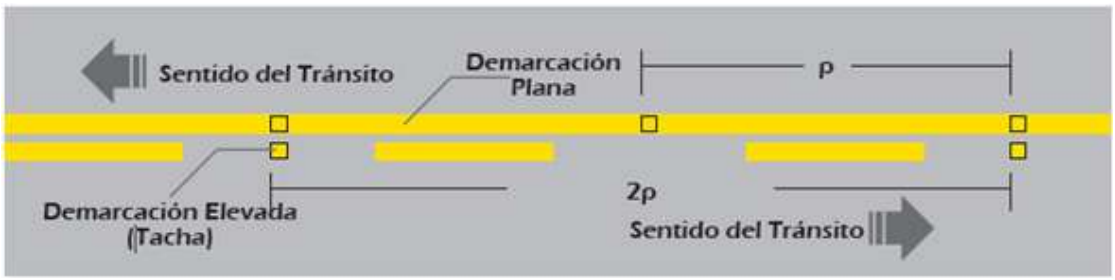


Figura 702-6 Separación vía doble sentido con restricción de adelantamiento en ambos sentidos y una separación entre tachas=1/2ρ según patrón de la Tabla 702-3

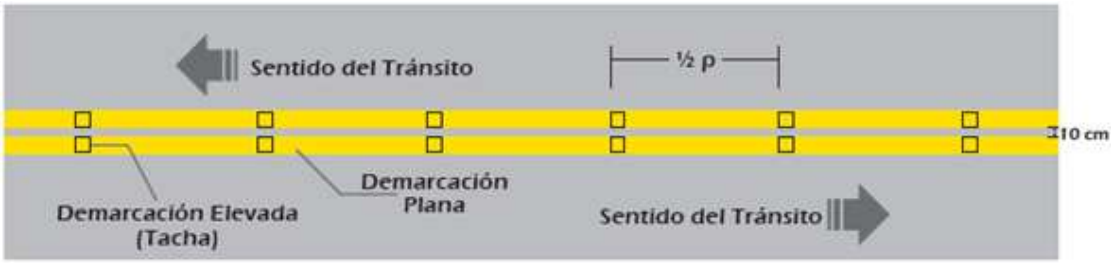


Figura 702-7 Separación vía doble sentido con restricción de adelantamiento en ambos sentidos y una separación entre tachas=ρ según patrón de la Tabla 702-3

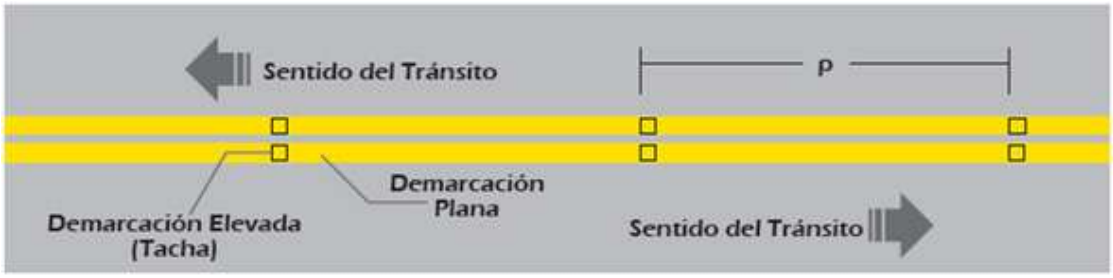


Figura 702-8 Separación vía doble sentido con restricción de adelantamiento en ambos sentidos con una separación entre tachas=1/2ρ según patrón de la Tabla 702-3

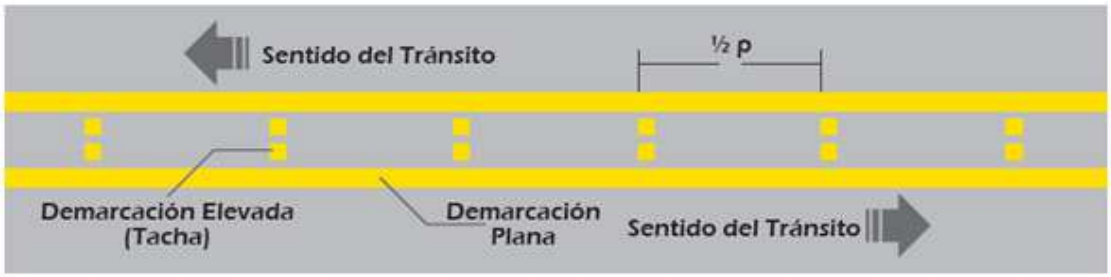


Figura 702-9 Separación vía doble sentido con restricción de adelantamiento en ambos sentidos con una separación entre tachas=ρ según patrón de la Tabla 702-3

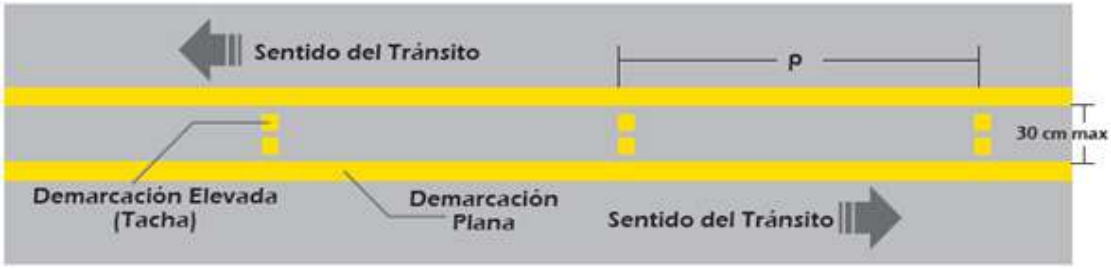


Figura 702-10 Separación entre carriles del mismo sentido con un patrón de demarcaciones segmentadas en la vía=ρ, una separación normal entre tachas=ρ

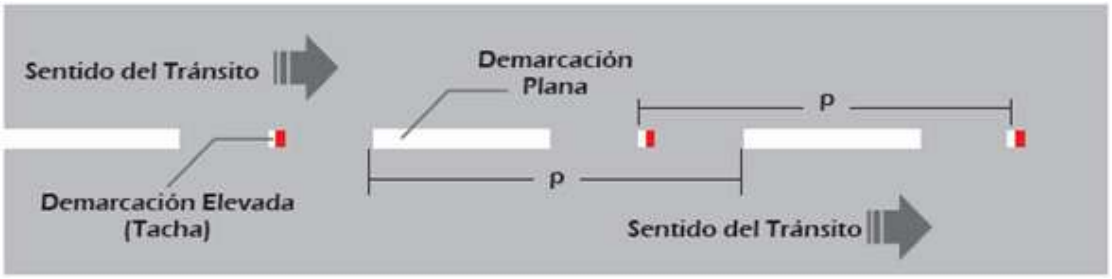


Figura 702-11 Separación entre carriles del mismo sentido con un patrón de demarcaciones segmentadas en la vía=ρ, una separación normal entre tachas=2ρ

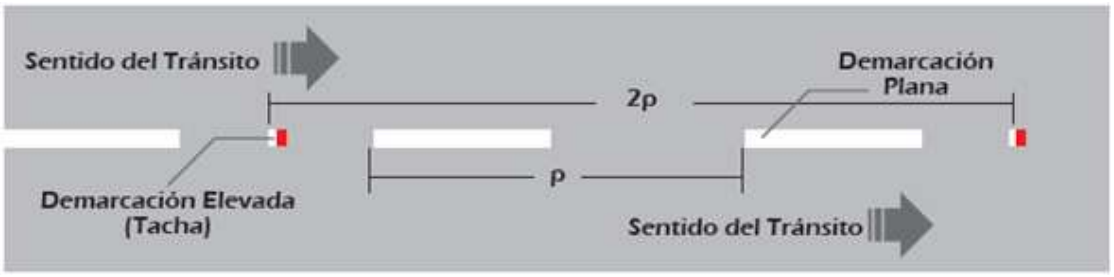


Figura 702-12 Separación entre carriles del mismo sentido con restricción de cruzar con una separación normal entre tachas =ρ

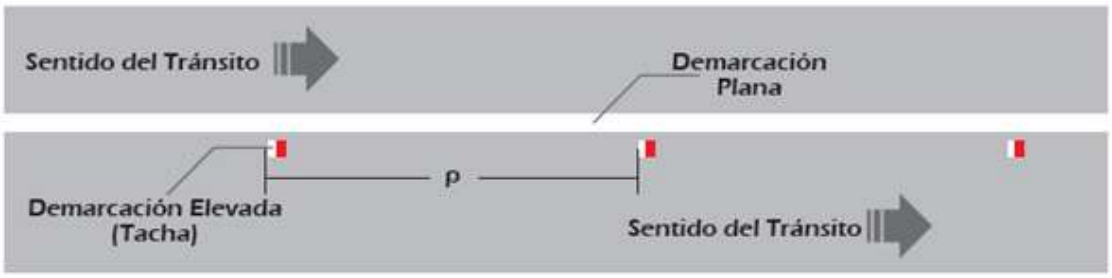
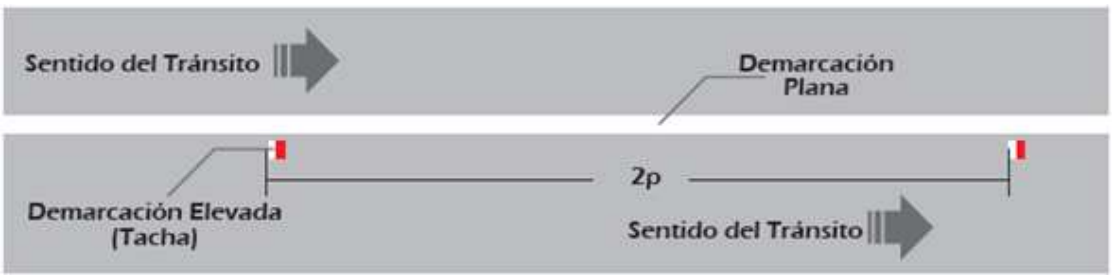


Figura 702-13 Separación entre carriles del mismo sentido con restricción de cruzar con una separación normal entre tachas =2ρ



Cuando las líneas continuas de borde de pavimento se refuerzan con demarcaciones elevadas, estas deben colocarse al exterior de la línea de demarcación plana. El espacio entre las demarcaciones elevadas debe ser la mitad del largo del patrón de la demarcación segmentada y así no confundir estas con una línea segmentada. Ver Figura 702-14 a Figura 702-19.

Figura 702-14 Separación con línea blanca entre carril y berma derecha con un patrón de demarcaciones segmentadas en la vía = ρ, una separación normal entre tachas = ρ.

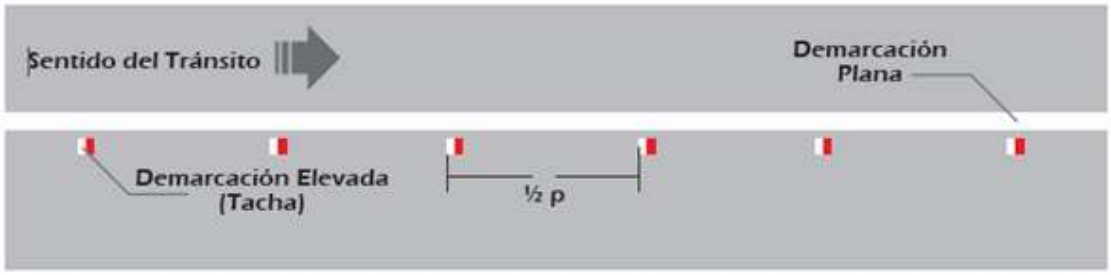


Figura 702-15 Separación con línea blanca entre carril y berma derecha con una separación entre tachas = p, según patrón de la Tabla 702-3.

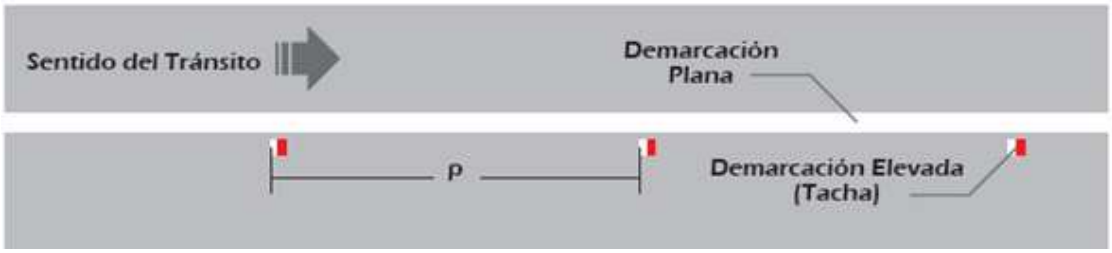


Figura 702-16 Separación con línea blanca entre carril y berma izquierda con una separación entre tachas = 2p, según patrón de la Tabla 702-3.

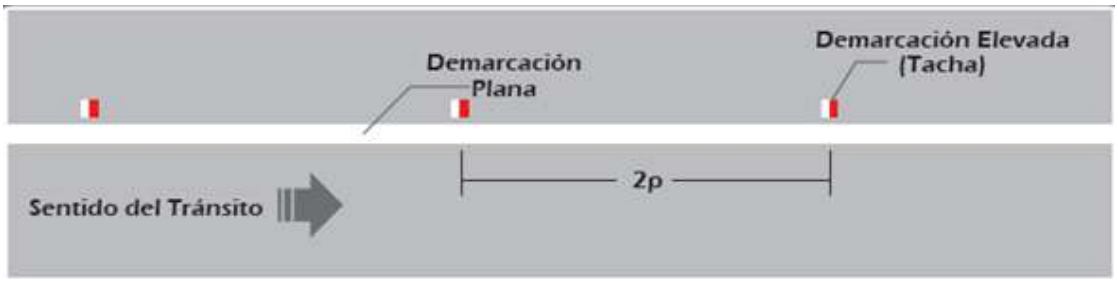


Figura 702-17 Separación con línea amarilla entre carril y berma izquierda con una separación entre tachas = 1/2p, según patrón de la Tabla 702-3

Figura 702-18 Separación con línea amarilla entre carril y berma izquierda con una separación entre tachas = p, según patrón de la Tabla 702-3

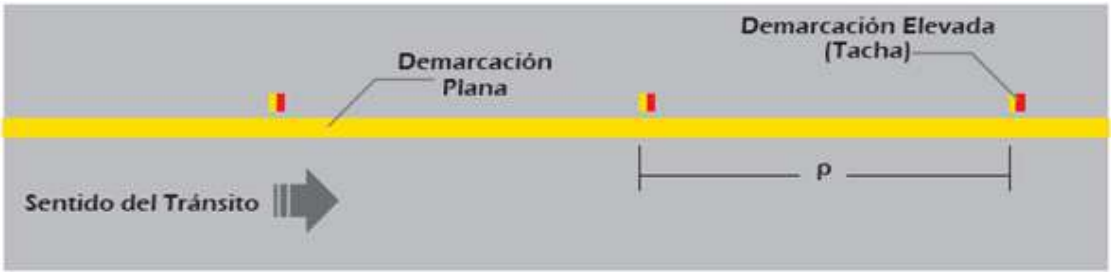
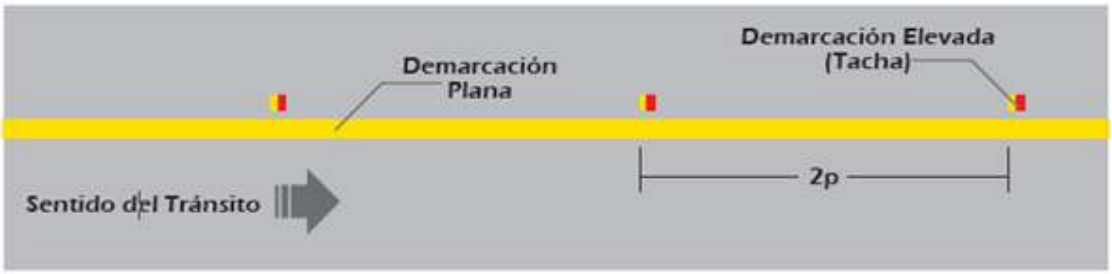


Figura 702-19 Separación con línea amarilla entre carril y berma izquierda con una separación entre tachas = 2p, según patrón de la Tabla 702-3



Si durante el planeamiento previo a la instalación se determina que como resultado del espaciamiento típico de tachas, una de ellas debe ser puesta en un sitio con defectos de superficie de pavimento, en una junta de construcción del pavimento o dentro de la intersección con una entrada domiciliaria o calle pública, el sitio propuesto se debe relocalizar longitudinalmente a suficiente distancia en un punto aprobado por el interventor.

La distancia de relocalización de la tacha afectada no puede exceder el diez por ciento (10 %) del espaciamiento típico. Donde sea necesario relocalizarla a una distancia mayor del diez por ciento (10 %) de espaciamiento típico, la tacha afectada se debe suprimir. La cara reflectora de la tacha debe estar perpendicular a una línea paralela a la línea central de la vía.

702.4.2 Preparación de la superficie

Antes de proceder a la aplicación de las tachas, si la superficie presenta defectos o huecos notables, se deben corregir los primeros y rellenar los segundos con materiales de la misma naturaleza de la superficie.

Se requiere cepillar el sustrato en el área que va a ser colocada la tacha reflectiva. Los sitios elegidos para la colocación de las tachas se deben limpiar de polvo, barro, grasa, suciedad y cualquier otro elemento extraño, cuya presencia atente contra la correcta adhesión de la tacha al pavimento, para ello, se puede emplear cualquier procedimiento aprobado por el interventor y que sea ambientalmente permitido.

Cuando las tachas se instalen sobre un pavimento de concreto hidráulico, se deben eliminar de la zona de fijación todos aquellos materiales utilizados en el proceso de curado del concreto que aún se encuentran sobre la superficie.

Posterior al cepillado es obligatorio implementar el lavado de la superficie de rodadura con una solución por volumen de una (1) parte de ácido muriático en nueve (9) de agua, dejándola actuar por quince minutos (15 min) y luego enjuagando y secando.

Cuando la superficie de fijación de la tacha no está curada afecta gravemente la adherencia del pegamento, sea bituminoso o epóxico. Es necesario aguardar a que se desprendan todos los elementos volátiles, además, se debe esperar entre veinte y treinta días (20 d y 30 d) para que selle totalmente el asfalto o el concreto adquiera su resistencia final.

Para las instalaciones de epóxico, la tacha debe estar protegida contra el impacto hasta que el adhesivo se endurezca y sea verificado por el interventor.

702.4.3 Colocación de las tachas

702.4.3.1 Perforación

Para la perforación del pavimento se debe utilizar taladro o taladro percutor con fuente de alimentación o de batería. El equipo debe tener el torque adecuado para perforar en mampostería.

Se debe utilizar broca número once (nro. 11) o número doce (nro. 12), o del diámetro recomendado por el fabricante, con punta de diamante o de tungsteno, el rendimiento depende del tipo de superficie.

Se debe utilizar soplador de aire con velocidad de soplado de aproximadamente setenta y seis metros por segundo (76 m/s) o superior.

El agujero debe ser aproximadamente de seis centímetros (6 cm) de profundidad, con un diámetro de once o doce milímetros (11 mm o 12 mm). Es importante asegurar la orientación perpendicular a la superficie para garantizar el alojamiento adecuado del espigo en el suelo. El estado del elemento perforador debe ser óptimo para no generar una abertura excesiva en la superficie de rodadura, este orificio no debe exceder en más de cero coma cero cinco milímetros (0,05 mm) el diámetro del espigo para garantizar su adecuado ingreso y una fijación adecuada del elemento adherente.

Debe vigilarse el estado de la broca de perforación para garantizar que el diámetro cumpla lo indicado en el presente numeral y la perforación sea uniforme. Es importante utilizar soplador para limpiar el agujero y el lugar donde se aplica el adhesivo, puesto que se requiere garantizar que no haya arena, contaminantes o suciedad de la perforación, lo cual permite que se obtenga un anclaje eficiente en el pavimento.

702.4.3.2 Instalación

Las tachas se deben colocar en los sitios

previamente localizados, fijándolas con el adhesivo indicado en el numeral 702.2.1.12, este se debe preparar de acuerdo con las instrucciones del fabricante y su cantidad a utilizar va a depender del estado de la superficie del pavimento.

Si se emplea un adhesivo epóxico, se recomienda no preparar más cantidad de adhesivo de la que se pueda utilizar en diez minutos (10 min).

El adhesivo se debe aplicar con una espátula a la base de la tacha o a la superficie del pavimento. La cantidad de pegante (bituminoso o epóxico) debe cubrir toda la superficie de contacto sin presentar vacíos, más un leve exceso, con un borde alrededor de la tacha de aproximadamente un centímetro (1 cm).

Atendiendo a las indicaciones sobre las calidades del pegante, la humedad del ambiente no puede ser excesiva, así como tampoco pueden instalarse tachas cuando la vía esté húmeda o mojada.

Las tachas se deben colocar tan pronto como sea posible, con un procedimiento que asegure que, respecto del eje de la vía, no sufra desviaciones mayores a dos milímetros (2 mm), medidos en los extremos. Una vez instalada la tacha, se debe presionar hasta que el pegamento salga por los bordes. Todo exceso de adhesivo se debe limpiar y retirar inmediatamente. No se debe aceptar, por ningún motivo, que alguna traza de pegamento quede sobre la cara reflectante de la tacha.

El adhesivo epóxico requiere que la operación de mezcla y la colocación de las tachas se hagan rápidamente. Cuando se mezcle manualmente, el adhesivo escogido, debe mezclarse a la vez, y las tachas deben ser alineadas y presionadas en su lugar dentro de los cinco minutos (5 min) después de que se inicien las operaciones de mezcla. No debe utilizarse adhesivo que se vuelva tan viscoso que no se pueda extruir fácilmente de debajo de la tacha en la aplicación de leve presión. El adhesivo con condiciones acelerantes no debe mezclarse a mano.

Si se utiliza un adhesivo acelerado este se debe mezclar con un aparato automático de mezcla e inyección de dos (2) componentes. Cuando la máquina mezcla el adhesivo estándar o el adhesivo acelerado, las tachas deben colocarse dentro de los sesenta segundos (60 s) después de que el adhesivo se haya mezclado e inyectado y no se debe permitir un mayor movimiento de la tacha.

Además, no se debe permitir más de noventa segundos (90 s) entre el tiempo que el adhesivo está en su lugar en la carretera y no está sujeto a un mayor movimiento. El adhesivo no debe permanecer en la cabeza del aparato de inyección durante más de cuarenta y cinco segundos (45 s). El sobrante que haya quedado en la cabeza del aparato de inyección por más de este período, debe desperdiciarse antes de reanudar la operación. Los equipos de mezcla automática para el adhesivo epóxico deben usar bombas de desplazamiento positivo y medir adecuadamente los dos (2) componentes en la relación especificada por el fabricante. Al comienzo de cada día y en cualquier otro momento ordenado por el interventor, la relación debe ser revisada por el constructor en presencia del interventor. Esta comprobación debe realizarse desconectando las cabezas de mezcla, o utilizando válvulas de derivación adecuadas, y llenando dos recipientes adecuados con los componentes no mezclados. La cabeza de mezcla debe mezclar correctamente los dos (2) componentes, de modo que no haya rastro de rayas negras o blancas en el material mixto.

Los vacíos en una muestra curada y no perturbada del adhesivo mixto obtenido de la boquilla de extrusión no deben exceder el cuatro por ciento (4 %).

El adhesivo de asfalto debe dispensarse de un aplicador de fusión controlado

termostáticamente a una temperatura de ciento noventa y un a doscientos dieciocho grados Celsius (191 °C - 218 °C). El material debe agitarse con frecuencia para asegurar un calentamiento uniforme. El adhesivo debe dispensarse en un charco mayor que la parte inferior de la tacha, y la tacha debe dejarse caer en el charco lo más rápido posible, preferiblemente dentro de los cinco segundos (5 s) de la colocación del adhesivo. La tacha debe presionarse ligeramente sobre el adhesivo, el cual se debe fijar en aproximadamente dos minutos (2 min) y, por lo general, no requiere protección contra el tráfico, en todo caso siguiendo las recomendaciones del fabricante.

Para los dos (2) tipos de adhesivo debe garantizarse el llenado del orificio hecho con taladro para la instalación del espigo.

702.4.4 Plan de Manejo de Tránsito (PMT)

El constructor debe contar con un PMT e instalar todos los elementos de señalización preventiva en la zona de los trabajos, de acuerdo con lo establecido en el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte, los cuales deben garantizar la seguridad permanente tanto del personal y de los equipos de construcción, así como de los usuarios y transeúntes durante las veinticuatro horas (24 h) del día.

Para actividades que no impliquen el cierre total de la vía, el interventor debe dar su visto bueno previo a la presentación de un PMT; en los casos que impliquen el cerramiento total de la vía, se deben tramitar los permisos correspondientes ante la autoridad competente y se debe presentar el PMT aprobado por el interventor.

Las tachas deben ser protegidas del tránsito o de cualquier golpe por el tiempo mínimo indicado por el fabricante de acuerdo con el tipo de material utilizado como adhesivo, además durante el período que dure el proceso de endurecimiento del pegamento, se deben tomar todas las precauciones necesarias para evitar que el tránsito pase sobre las tachas, para lo cual el constructor debe colocar elementos de señalización como conos o barreras y así asegurar el procedimiento.

702.4.5 Limpieza final

Una vez colocadas las tachas, el constructor debe retirar del sitio de los trabajos todos los equipos, señales y materiales sobrantes, disponiéndolos en lugares aprobados por el interventor.

702.4.6 Limitaciones en la instalación

No se debe permitir la colocación de tachas en las siguientes condiciones:

- Si existe lluvia o humedad sobre el pavimento.
- Cuando la temperatura del pavimento o la del aire esté a:
  - Cero grados Celsius (0 °C) o menos, en caso de utilizar adhesivo epóxico de fijación rápida.
  - Diez grados Celsius (10 °C) o menos, cuando se utilice epóxico de fijación normal.
  - Cuatro coma cuatro grados Celsius (4,4 °C) o menos y máximo doce grados Celsius (12 °C), cuando se utilice ligante asfáltico.
  - Menos de nueve grados Celsius (9 °C), cuando se utilice termoplástico alquídico.
- Cuando la humedad relativa del aire es mayor del ochenta por ciento (80 %).

- Cuando la superficie del pavimento no esté suficientemente seca.

En pavimentos nuevos con carpeta de concreto asfáltico, las tachas se pueden colocar después de que la superficie se haya abierto al tránsito público por un período no menor de catorce días (14 d) continuos.

Tampoco se debe permitir la colocación de tachas sobre áreas de pavimento agrietadas, juntas longitudinales, transversales, fisuras con desplazamientos o donde existan fallas del material de la base subyacente o sobre marcas viales existentes. Además, se deben atender todas las limitaciones adicionales que establezcan los fabricantes del adhesivo y de las tachas.

702.4.7 Manejo ambiental

En adición a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las labores requeridas para la instalación de tachas reflectivas, se deben realizar teniendo en cuenta lo definido en las normas y disposiciones vigentes sobre la conservación del ambiente y los recursos naturales.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación, deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales, de esta manera, dichas actividades deben incluirse en los costos del proyecto; por tanto, no son objeto de reconocimiento directo en el contrato.

702.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

702.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y funcionamiento del equipo utilizado por el constructor.

- Comprobar que todos los materiales cumplan los requisitos indicados en el numeral 702.2.

- Vigilar que las tachas no se coloquen con anterioridad a la aplicación de las líneas de demarcación.

- Revisar que las tachas queden correctamente colocadas y contarlas para efectos de pago.

El interventor debe medir para efectos de pago, el trabajo correctamente ejecutado de acuerdo con los planos, esta especificación y las instrucciones que este haya realizado.

La interventoría debe exigir al constructor, el certificado de conformidad expedido por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC), o por un organismo de certificación de productos del país de origen, debidamente acreditado para certificar dichos materiales, aportado por las compañías fabricantes o lo que establezca la Superintendencia de Industria y Comercio en materia de evaluación de la conformidad. El certificado debe indicar que el producto se ha ensayado según los métodos de prueba definidos en la NTC 4745 (ASTM D4280) vigente.

Las tachas seleccionadas para muestreo deben evaluarse bajo los ensayos determinados en la NTC 4745 (ASTM D4280), para la recepción, se debe implementar el ensayo ASTM E1696 para la medición del coeficiente de intensidad luminosa antes de la exposición a abrasión o instalación. Los equipos retrorreflectómetros deben tener placa calibradora vigente y debe ser generada por un laboratorio acreditado o avalado independiente.

El plan de calidad y el plan de inspección, medición y ensayo, son de obligatorio cumplimiento tal como se encuentra expresado en el numeral

103.2 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor.

702.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

702.5.2.1 Calidad de los materiales

No se deben admitir materiales que incumplan las exigencias del numeral 702.2

Para el coeficiente de intensidad luminosa del numeral 702.2.1.5, se debe evaluar toda la muestra de tachas reflectivas. La falla de más del diez por ciento (10 %) de las caras reflexivas debe ser motivo de rechazo de todo el lote presentado para la muestra.

Además de la prueba anterior, para cuatro (4) caras reflectantes que pasen los requisitos fotométricos de retrorreflectividad, se deben someter a la prueba de resistencia a la abrasión del numeral 702.2.1.4 y se mide nuevamente el coeficiente de intensidad luminosa. La falla de más de una (1) muestra debe ser motivo de rechazo de todo el lote.

Para la resistencia a la flexión, la resistencia a la compresión y el color se deben probar tres (3) tachas. Las tachas previamente sometidas a la medición del coeficiente de intensidad luminosa, del color y de la resistencia a la abrasión son aceptables para las pruebas de la resistencia a la flexión y resistencia a la compresión. La falla de más de una (1) especificación será motivo de rechazo de todo el lote.

Para la resistencia del lente al impacto, la cara del lente no debe mostrar más de dos (2) grietas radiales con una longitud máxima de seis coma cuatro milímetros (6,4 mm). No debe haber grietas radiales que lleguen al borde de la superficie de resistencia a la abrasión. Adicionalmente, no se debe presentar ninguna separación de los componentes internos de la tacha.

En los cambios cíclicos de temperatura se deben probar diez (10) tachas para cada requisito. La falla de más de una (1) de las tachas en cualquiera de las pruebas es causa de rechazo de todo el lote.

En caso de falla que resulte en el rechazo del lote y a discreción del interventor, se puede tomar una (1) muestra que consiste en el doble de muestras originalmente probadas. Las tolerancias para el remuestreo deben estar en la misma proporción que se especifica anteriormente.

702.5.2.2 Instalación de las tachas

El interventor únicamente debe aceptar el trabajo si las tachas han sido colocadas de acuerdo con los planos, la presente especificación, sus instrucciones y si se encuentran totalmente adheridas a la superficie del pavimento a los treinta días (30 d) de su colocación.

Todas las deficiencias que presenten los trabajos deben corregirse por el constructor bajo su propia cuenta y riesgo, y aprobadas por el interventor.

702.6 Medida

Las tachas reflectivas se deben medir por unidad (u) instalada de acuerdo con los documentos del proyecto y la presente especificación, debidamente aceptadas por el interventor.

702.7 Forma de pago

El pago se debe hacer al respectivo precio unitario del contrato por toda tacha reflectiva colocada con base en esta especificación y aprobado por el interventor. El precio unitario debe comprender todos los costos inherentes al suministro de materiales y equipos; localización y preparación de los sitios de colocación

de las tachas; transportes, almacenamiento y colocación del adhesivo y las tachas; señalización temporal y ordenamiento del tránsito; limpieza, remoción, transporte y disposición de desperdicios y en general, todo costo adicional requerido para la correcta ejecución del trabajo especificado.

El precio unitario debe incluir, igualmente, los costos de administración, imprevistos y la utilidad del constructor.

702.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
702.1	Tacha reflectiva con espigo	Unidad (u)

Nota: se debe elaborar un ítem para cada tipo de tacha reflectiva incluido en el contrato.

702.9 Glosario

702.9.1 Pegamento bituminoso

El bitumen es una sustancia a base de petróleo, es un producto de hidrocarburo semisólido producido al eliminar las fracciones más ligeras (como el gas licuado de petróleo, el petróleo y el diesel) del petróleo crudo pesado durante el proceso de refinamiento, es conocido de manera correcta como bitumen refinado. Uno de los productos a base de bitumen es el pegamento bituminoso.

Una de las propiedades del pegamento bituminoso es que puede servir como un adhesivo fuerte y duradero que une una amplia variedad de otros materiales sin afectar sus propiedades. El pegamento bituminoso tiene la habilidad de adherirse a una superficie sólida, dependiendo de la naturaleza de la superficie, cuando se encuentra en estado semilíquido; sin embargo, la presencia de agua en la superficie inhibe esta propiedad. Es de resaltar que su alta durabilidad es esencial en los mayores proyectos de ingeniería como en la construcción de carreteras y en la aplicación de tachas reflectivas.

702.9.2 Pegante epóxico

El epóxico es conocido como un tipo de pegamento duradero que proporciona un alto nivel de propiedades adhesivas que son muy superiores a la mayoría de pegamentos en pasta ordinarios, normalmente se vende en un paquete de dos componentes que necesitan mezclarse antes de ser usados. El epóxico se utiliza para unir de forma segura un diverso número de tipos de metales plásticos, maderas, entre otros materiales.

Este producto ha sido creado para proporcionar un poder adhesivo y una dura capa de protección, los elementos básicos del epóxico se derivan de productos del petróleo, usualmente uno de los elementos básicos del epóxico es el poliepóxido, un bisfenol A que ayuda a proporcionar una parte de la eficiencia adherente del pegamento.

El epiclorohidrin es otro elemento clave que proporciona a la sustancia una capa dura resistente a la humedad y al calor y al frío extremo. La combinación del revestimiento duro y de los fuertes agentes adhesivos hace que este pegamento sea la opción ideal en materiales que soportan mucho estrés, como las tachas reflectivas en las rutas o carreteras fabricadas de concreto.

703 Tachas electrónicas solares led

Artículo 703 - 22

703.1 Descripción

Este trabajo consiste en el suministro, almacenamiento, transporte y colocación de tachas electrónicas solares LED en la superficie del pavimento, utilizando adhesivos adecuados para que resistan el tránsito automotor sin desprenderse, de acuerdo con esta especificación, el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte, los planos del proyecto y las instrucciones del interventor.

703.2 Materiales

703.2.1 Tachas

Las tachas reflejantes instaladas sobre el pavimento deben estar elaboradas con materiales metálicos, plásticos o similares de alta resistencia y el material reflectivo debe ser vidrio o acrílico de forma prismática o esférica. El espigo mejora la adherencia a la superficie de pavimento y puede ser metálico o plástico; en todo caso, debe garantizar una unión integral al cuerpo de la tacha reflectiva, no se permiten ensamblajes en obra.

Las tachas pueden ser retrorreflectivas en uno (1) o dos (2) sentidos y puede ser adicionalmente iluminadas internamente con luz continua, nunca destellante, algunas tachas pueden ser retrorreflectivas desde cualquier dirección. En casos de poca iluminación o en lugares de presencia de niebla, se pueden colocar tachas solares si los documentos del proyecto así lo indican.

Cuando se usen en vías unidireccionales pueden ser retrorreflectivas o iluminadas solo en el sentido del tránsito y en vías bidireccionales deben ser retrorreflectivas o iluminadas en ambos sentidos.

No se permite el suministro e instalación de tachas que tengan adhesivo previamente instalado en su respaldo, cuyo período de tiempo comprendido entre su fabricación y su instalación exceda de doce (12) meses, independientemente de sus condiciones de almacenamiento.

Las tachas deben cumplir, además, los siguientes requisitos generales:

703.2.1.1 Clasificación

Las tachas electrónicas solares LED se deben clasificar por el tipo, color y características de sus superficies de acuerdo con las siguientes clasificaciones (no se deben aceptar otras diferentes a las indicadas aquí). Esta clasificación va de acuerdo con el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte y la NTC 4745 (ASTM D4280), vigentes.

703.2.1.1.1 Tipos de tachas electrónicas solares LED

Tacha solar LED electrónica bidireccional con LED de un solo color, por cara.

Tacha solar LED electrónica bidireccional con LED de dos colores, uno color por cada cara.

Tacha solar LED electrónica unidireccional con LED de un solo color.

703.2.1.1.2 Color de los LED de las tachas electrónicas solares LED

Los elementos retrorreflectivos de las tachas deben ser blancos para complementar una demarcación plana blanca, amarillos para complementar una demarcación amarilla, azules para aproximaciones a hospitales, clínicas y centros de atención médica, rojos para indicar al conductor que va en contra del sentido del tránsito o el ascenso a una rampa de emergencia y verdes utilizadas de forma temporal para obra. Queda a criterio del diseñador la utilización de estas.

La clasificación de colores es la siguiente:

B : Blanco.
A : Amarillo.
R : Rojo.
AZ: Azul.
V : Verde.

703.2.1.1.3 Características de superficie

Designación H: Tacha con superficie de lente dura, resistente a la abrasión.

Designación F: Tacha con resistencia longitudinal suficiente para la aplicación en pavimentos de concreto asfáltico flexible.

Designación L: Tacha con elemento retrorreflectivo tipo LED o iluminado.

La clasificación debe incluir: tipo, color y condición de superficie (este último solo para el caso de tachas designadas como H), en el orden presentado en los numerales anteriores. Por ejemplo, ERBH, es una tacha bidireccional, roja y blanca, con superficie resistente a la abrasión.

Los documentos del proyecto deben indicar el tipo de tachas por utilizar.

703.2.1.2 Materiales y dimensiones

Debe estar constituido por materiales con resistencia adecuada al agua, las sustancias químicas y los rayos ultravioleta indicados para el uso previsto.

- La altura de la tacha no debe ser superior a veinte coma tres milímetros (20,3 mm).

- El ancho de la tacha no debe ser superior a ciento treinta milímetros (130 mm).

- El ángulo entre la superficie de la tacha y la base no debe ser superior a cuarenta y cinco grados (45°); si el ángulo entre la superficie de la tacha y la base es superior a cuarenta y cinco grados (45°), o si el frente de la tacha tiene protuberancias superiores a un milímetro (1 mm) entonces, como parte de la aceptación de tipo, la tacha se debe someter a un ensayo de seis (6) meses en la vía durante la época del año en que las condiciones climáticas y del tráfico son más críticas para la facilidad de limpieza. Esta característica se debe determinar midiendo al coeficiente de intensidad luminosa antes y después de lavar el lente de la tacha.

- La base de la tacha debe estar significativamente libre de grasa, esmaltes y sustancias que puedan reducir su capacidad adhesiva.

- La base de la tacha debe ser plana en un espacio de uno coma tres milímetros (1,3 mm). Si la base de la tacha está configurada, las superficies sobresalientes de las configuraciones no se deben desviar más de uno coma tres milímetros (1,3 mm) respecto de un plano.

- En caso de utilizarse tachas con espigo, este puede ser metálico o plástico, pero debe hacer parte integral de la tacha, no se deben permitir ensamblajes que no garanticen esa integralidad.

- Tachas electrónicas solares LED monocromáticas autónomas: son las tachas más sencillas y de mayor penetración del mercado, sus LED son de un solo color por cara y su intermitencia no tiene sincronismo con las demás tachas aledañas.

- Tachas electrónicas solares LED monocromáticas sincronizables: varían de las anteriores en el hecho de que mediante la incorporación de un chip de radiofrecuencia, estas tachas se puedan comunicar entre ellas y así sincronizar sus intermitencias, acelerarlas, dar efecto “ola”, etc., todo controlado desde un dispositivo cercano o desde un centro de control remoto.

- Tachas electrónicas solares LED RGB Full color sincronizables con semáforo: los elementos que proporcionan la iluminación deben contar con una capacidad tal que puedan emitir luz en los niveles y colores equivalentes a las luces de semáforo, programables desde la misma caja de control semafórico o bien desde la central de control para manejo del tráfico.

- Tachas electrónicas solares LED RGB full color sincronizables con radar de velocidad para intersecciones con alto riesgo de accidente: deben contar con elemento electrónico que mediante su funcionamiento y la excitación producida por el desplazamiento de los vehículos, pueda conmutar la velocidad (v=e/t) de desplazamiento de los vehículos en diferentes sectores viales, y especialmente para control de zonas con riesgo de alta accidentalidad. Deben permitir el almacenamiento de información para controles estadísticos y de la misma manera, deben incrementar su ritmo de intermitencia y cambio de color para dar aviso a los conductores logrando una disminución del potencial de riesgo de accidente.

- Tachas electrónicas solares LED RGB full color sincronizables con radar de velocidad y contador y clasificador vehicular: afinando el diagrama resultante del paso de cada vehículo por el sensor magneto-resistivo según el tamaño y la ubicación de sus masas férreas, se puede claramente diferenciar todas y cada una de las categorías de vehículos que pasen por los sensores teniendo adicionalmente la función de seguridad vial, un elemento que permite cuantificar el tráfico con aplicación para diferentes modelos técnicos y económicos relacionados con la infraestructura vial en tiempo real.

Nota: Se puede aceptar otro tipo de construcción, siempre y cuando llene los requisitos de desempeño de esta especificación.

703.2.1.3 Resistencia a la adhesión

Se debe medir el coeficiente de intensidad luminosa (R1) en las tachas después de someter toda la superficie del lente a la prueba descrita en la sección 9.5 de la NTC 4745 (ATM D4280) usando un equipo de caída de arena.

Las tachas de fondo plano que pasen este ensayo con adhesivo epóxico se consideran también aceptables para uso con adhesivo bituminoso y termoplástico alquídico.

703.2.1.4 Resistencia a la abrasión

Se debe medir el coeficiente de intensidad luminosa (R1) en las tachas después de someter toda la superficie del lente a la prueba descrita en la sección 9.5 de la NTC 4745 (ATM D4280) usando un equipo de caída de arena.

Para las tachas designadas como H, se debe realizar, adicionalmente, el ensayo de resistencia a la abrasión, de acuerdo con el

numeral 9.2.2 de la norma NTC 4745 (ASTM D4280), en cuatro (4) caras reflectivas que hayan pasado el ensayo establecido en el numeral 9.2.1 de dicha norma.

El coeficiente de resistencia a la abrasión debe aplicarse igualmente a la superficie captora de la energía solar, garantizando que cumpla con los mismos requisitos.

Después de este ensayo, se debe medir nuevamente el coeficiente de intensidad luminosa, el cual se debe mantener dentro de los valores establecidos en la Tabla 703-1. Aplica igualmente para el elemento captor de la energía solar. La falla de más de un elemento debe ser causa para rechazar el lote completo. Después de esta prueba los valores de reflejancia de la tacha no deben ser menores a cero coma cinco (0,5) veces los valores de la Tabla 703-1 coeficiente de intensidad luminosa R1 del numeral 703.2.1.5.

703.2.1.5 Coeficiente de intensidad luminosa

El coeficiente de intensidad luminosa, medido de conformidad con el numeral 6.2.1 de la norma NTC 4745 (ASTM D4280), no debe ser menor a los valores establecidos en la Tabla 703-1.

Tabla 703-1 Coeficiente de intensidad luminosa R1

Entrada ángulo β_2	Ángulo observación °	Valor mínimo R1 milicandela por LUX, (mcd/lx)				
		Blanco	Amarillo	Rojo	Verde	Azul
0° +20° /- 20°	0,2° 0,2°	279 112	167 67	70 28	93 37	26 10
Entrada ángulo β_2	**Ángulo observación °**	**Valor mínimo R1 candelas por pie candela, (cd/pie^2)**				
		Blanco	**Amarillo**	**Rojo**	**Verde**	**Azul**
0° +20° /- 20°	0,2° 0,2°	3,0 1,2	1,8 0,72	0,75 0,30	1,0 0,4	0,28 0,11

Nota. El ángulo de componente de entrada (β1) y el ángulo de rotación (ε) son cero grados (0°).

703.2.1.6 Resistencia a la flexión

Cuando se ensayen de acuerdo al numeral 9.2.1 de la norma NTC 4745 (ASTM D4280), las tachas deben soportar una carga de novecientos nueve kilogramos (909 kg) sin romperse y sin sufrir deformación mayor a tres coma tres milímetros (3,3 mm).

703.2.1.7 Resistencia a la compresión

Cuando se ensayen de acuerdo al numeral 9.2.2, de la norma NTC 4745 (ASTM D4280), las tachas deben soportar una carga de dos mil setecientos veintisiete kilogramos (2 727 kg) sin romperse y sin sufrir deformación mayor a tres coma tres milímetros (3,3 mm).

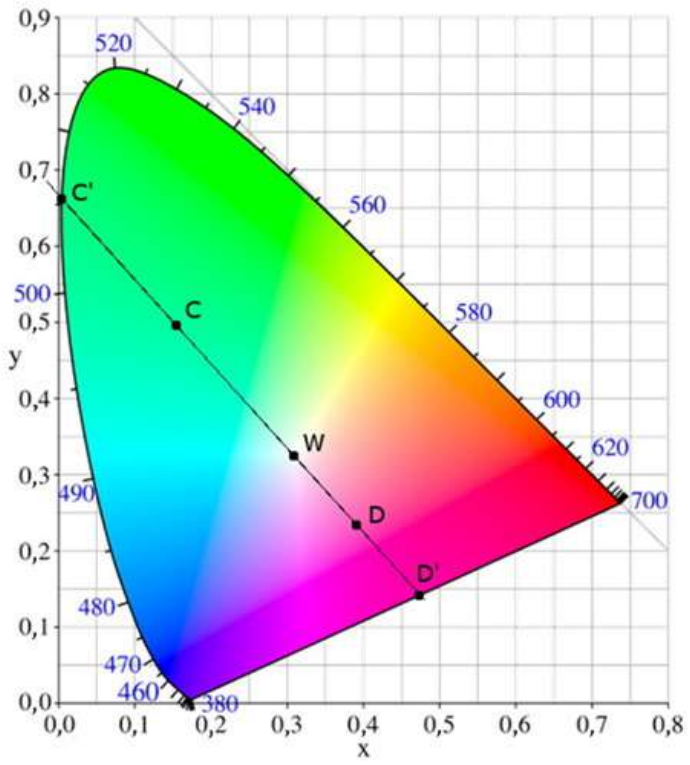
703.2.1.8 Color

Cuando el retrorreflector es iluminado por una fuente estándar CIE y cuando se mide según se indica en el numeral 9.3 de la NTC 4745 (ASTM D4280), el color de la luz retrorreflejada debe estar dentro de las gamas de color limitadas por las siguientes coordenadas de la Tabla 703-2 y son mostrados en la Figura 703-1 equivalente a la Figura 1 de la NTC 4745 (ASTM D4280), correspondiente a la gama de colores.

Tabla 703-2 Coordenadas de los puntos de esquinas

Color	Coordenada correspondiente a la X o Y	Puntos					
		1	2	3	4	5	6
BLANCO	X	0,310	0,453	0,500	0,500	0,440	0,310
	Y	0,348	0,440	0,440	0,380	0,380	0,283
AMARILLO	X	0,545	0,559	0,609	0,597	-	-
	Y	0,424	0,439	0,390	0,390	-	-
ROJO	X	0,650	0,668	0,734	0,721	-	-
	Y	0,330	0,330	0,265	0,259	-	-
AZUL	X	0,039	0,160	0,160	0,188	0,088	-
	Y	0,320	0,320	0,240	0,218	0,142	-
VERDE	X	0,009	0,288	0,209	0,012	-	-
	Y	0,733	0,520	0,395	0,494	-	-

Figura 703-1 Diagrama cromático



ESPECIFICACIONES INVÍAS - 2022

703.2.1.9 Resistencia del lente al agrietamiento (requisito aplicable solo a tachas designadas como H)

703.2.1.9.1 Resistencia del lente al impacto

Cuando se impactan según se indica en el numeral 9.4.1 de la norma NTC 4745 (ASTM D4280), la cara del lente no debe mostrar más de dos (2) grietas radiales con una longitud máxima de seis coma cuatro milímetros (6,4 mm). No debe haber grietas radiales que lleguen al borde de la superficie de resistencia a la abrasión. Adicionalmente, no se debe presentar ninguna separación de los componentes internos de la tacha.

703.2.1.9.2 Cambios cíclicos de temperatura

Cuando las tachas se sometan a cambios cíclicos de temperatura, de acuerdo con el numeral 9.4.2 de la NTC 4745 (ASTM D4280), no se debe producir ninguna grieta ni separación de los componentes internos de la tacha, incluido el elemento captor de energía solar.

703.2.1.9.3 Abrasión

Se debe realizar, adicionalmente, el ensayo de resistencia a la abrasión de acuerdo con el numeral 9.5 de la NTC 4745 (ASTM D4280); después de este ensayo, se debe medir nuevamente el coeficiente de intensidad luminosa, el cual debe mantenerse dentro de los valores establecidos en la Tabla 703-1. La falla de más de un elemento debe ser causa para rechazar el lote completo.

703.2.1.10 Muestreo

Para tachas que no son resistentes a la abrasión, el tamaño de muestra debe ser de veinte (20) tachas por cada lote de diez mil unidades (10 000 u) o menos, y cuarenta (40) tachas para lotes mayores de diez mil unidades (> 10 000 u). Para tachas con una superficie resistente a la abrasión, son necesarias diez unidades (10 u) adicionales. El tamaño del lote no debe exceder de veinticinco mil unidades (25 000 u).

703.2.1.11 Empaque

Las tachas se deben distribuir en empaques adecuados para garantizar su protección y asegurar una entrega en perfectas condiciones.

Los empaques para despacho deben marcarse con el nombre y la dirección del fabricante, el tipo, el color, la cantidad contenida y el número de identificación del lote.

703.2.1.12 Adhesivo

El material destinado a adherir la tacha con el pavimento debe presentar unas características generales garantizadas por el fabricante, teniendo en cuenta el tipo y el estado del pavimento, además, el fabricante debe indicar la dosificación con la cual ha de aplicarse el producto. Se puede emplear material bituminoso y termoplástico o pegante epóxico de dos (2) o más componentes.

El adhesivo debe asegurar un tiempo de secado que no sobrepase veinticinco minutos (25 min) y que las tachas no sufran desplazamientos o movimientos al ser golpeadas por los vehículos después de transcurridas doce horas (12 h) desde su colocación.

El adhesivo no se puede emplear sin el visto bueno del interventor.

Para la instalación de las tachas sobre el pavimento, el adhesivo a aplicar debe cumplir con lo definido en la NTC 4745 (ASTM D4280).

703.2.1.12.1 Requerimientos mínimos para el pegante:

- Dilución: no se recomienda ningún tipo de dilución.
- Viscosidad: 110 – 120 KU.
- Humedad relativa máxima de aplicación: 85%.
- Temperatura mínima de aplicación: 5°C, el sustrato debe estar 3°C por encima del punto de rocío.
- Temperatura máxima de aplicación: 45°C del sustrato.
- Temperatura de almacenamiento: entre 4°C y 32°C bajo techo.

Se debe utilizar pegamento bituminoso para pegar tachas electrónicas solares LED cuando el substrato es asfalto y epóxico cuando el substrato es concreto hidráulico.

703.3 Equipo

Se debe disponer del equipo necesario para preparar la superficie del pavimento, para el transporte y colocación de las tachas, así como para la limpieza, recolección y retiro de los desperdicios de la superficie luego de terminados los trabajos.

- Taladro percutor, con fuente de energía.
- Broca nro. 11 o nro. 12 con punta de diamante.
- Soplador para limpieza de la superficie y el orificio.
- Espátula para aplicación del epóxico.
- Equipo de mezcla automática para adhesivo acelerado.
- Aplicador de fusión para el adhesivo de asfalto.
- Herramienta menor.

703.4 Ejecución de los trabajos

703.4.1 Localización

El constructor debe localizar las marcas sobre el pavimento de acuerdo con los planos de señalización, el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte y las instrucciones del interventor.

Las tachas se deben instalar al lado derecho a cero coma cero cinco metros (0,05 m) de las demarcaciones planas de borde que complementan, y en línea a mitad de brecha en el caso de demarcaciones planas segmentadas. En situaciones urbanas que no tengan berma pavimentada, se pueden instalar al lado izquierdo de la línea de borde.

La distancia de colocación de las tachas debe determinarse en función de la velocidad de operación del tramo de la vía y no debe generar contaminación visual o incomodidad al usuario que observa una o más tachas por cada segundo de recorrido.

El espaciamiento entre las tachas de cualquier vía es función del patrón utilizado para la línea central segmentada de la vía, y según la vía, este patrón puede variar entre doce, ocho y tres metros (12 m, 8 m y 3 m), dependiendo de la velocidad en observancia del Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte. Estas relaciones se indican en la Tabla 703-3.

Tabla 703-3 Relación entre tramos demarcados y brechas según la velocidad máxima permitida en vía

Velocidad máxima de la vía (km/h)	Patrón ρ(m)	Relación demarcación brecha	Largo demarcación (m)	Largo brecha (m)
Mayor a 60	12	3 a 5	4,5	7,5
Menor o Igual a 60	8	3 a 5	3	5
Ciclovía	3	1 a 2	1	2

En tramos con velocidad superior a sesenta kilómetros por hora (> 60 km/h), las tachas se deben instalar máximo cada doce metros (12 m) y en tramos con velocidad menor o igual a sesenta kilómetros por hora (≤ 60 km/h), las tachas se deben instalar máximo cada ocho metros (8 m).

En ciclovías, las tachas se deben instalar máximo cada tres metros (3 m).

En los lugares donde existan dos demarcaciones planas continuas de adelantamiento prohibido se deben ubicar en dos (2) líneas, adentro de las líneas planas o sobre estas.

En curvas, dependiendo del radio de ellas, tanto en el eje como lateralmente, las tachas se deben ubicar como se indica en la Tabla 703-4.

En vías bidireccionales y una sola calzada de circulación, deben emplearse tachas con doble cara retrorreflectiva, de color amarillo y blanco, tanto en líneas centrales como laterales.

Tabla 703-4 Distancia máxima entre tachas ubicadas en curvas

Radio de la curva (m)	Distancia máxima entre tachas (m)
Menos de 20	6
Entre 20 y 49	8
Entre 50 y 99	12
Entre 100 y 199	18
Mayor a 200	24

Sobre “permitidos” o “prohibidos de adelantamiento”, la instalación de las tachas en el eje debe localizarse en el centro del espacio sin pintura. En tramos con líneas de demarcación intermitentes, no se deben instalar tachas al inicio o al final de cada segmento sino en el tramo del centro sin pintar. Al repintar, se debe tener cuidado de no pintar las mismas.

En vías multicarriles o calzadas con una sola dirección, se deben emplear tachas unidireccionales blancas o bidireccionales blanca-roja; en el último caso, el color blanco guía a los conductores que circulan correctamente.

Nunca se debe emplear un conjunto de tachas como reductores de velocidad; en agujas (obstáculos), la distancia máxima entre tachas debe ser de dos metros (2 m) o la que se indique en los documentos del proyecto.

Las figuras 703- 2 a la 703-19, presentan las distintas configuraciones de separación de las tachas conforme a lo establecido en el Manual de Señalización Vial, dispositivos uniformes para la regulación del tránsito en calles, carreteras y ciclorrutas de Colombia, 2015. Figuras 3-5 a 3-16 y Figuras 3-20 a 3-25.

Figura 703-2 Separación vía doble sentido y 2 carriles sin restricción de adelantamiento con un patrón de demarcaciones segmentadas en la vía=ρ y una separación normal entre tachas=ρ.

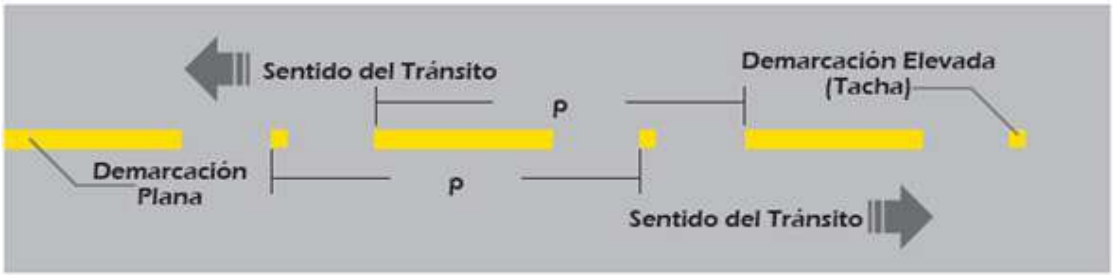


Figura 703-3 Separación vía doble sentido y 2 carriles sin restricción de adelantamiento con un patrón de demarcaciones segmentadas en la vía=ρ y una separación normal entre tachas=2ρ.

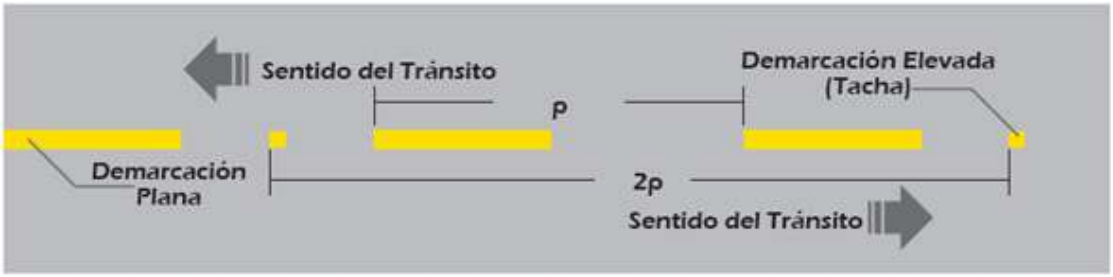


Figura 703-4 Separación vía doble sentido con restricción de adelantamiento en un sentido con un patrón de demarcaciones segmentadas en la vía= ρ y una separación normal entre tachas=ρ en línea segmentada y una separación entre tachas=1/2 ρ en línea continua.

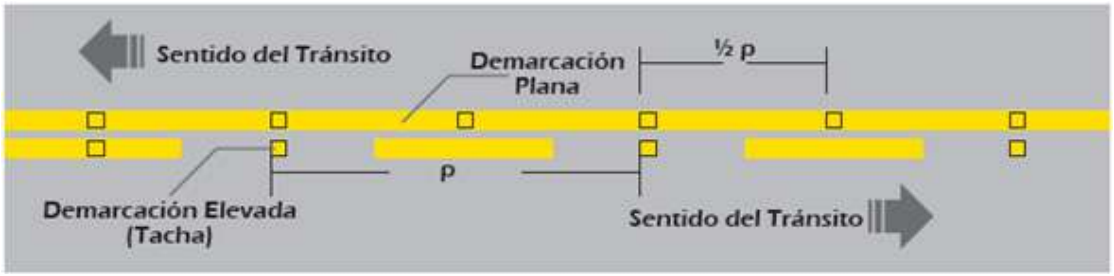


Figura 703-5 Separación vía doble sentido con restricción de adelantamiento en un sentido con un patrón de demarcaciones segmentadas en la vía= ρ y una separación entre tachas=2ρ en línea segmentada y una separación de tachas=ρ en línea continua.

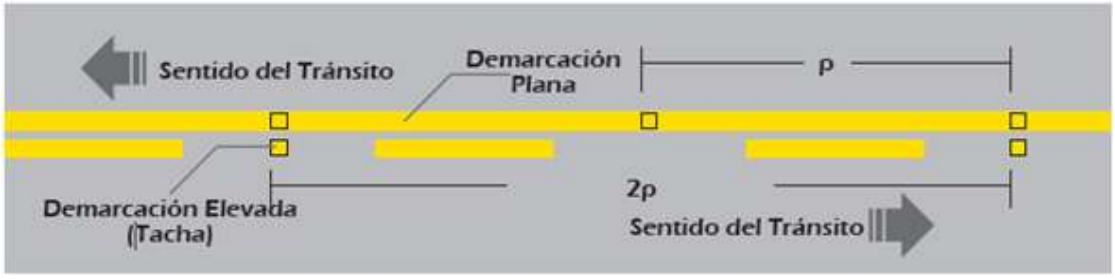


Figura 703-6 Separación vía doble sentido con restricción de adelantamiento en ambos sentidos y una separación entre tachas=1/2ρ según patrón de la 703-3.

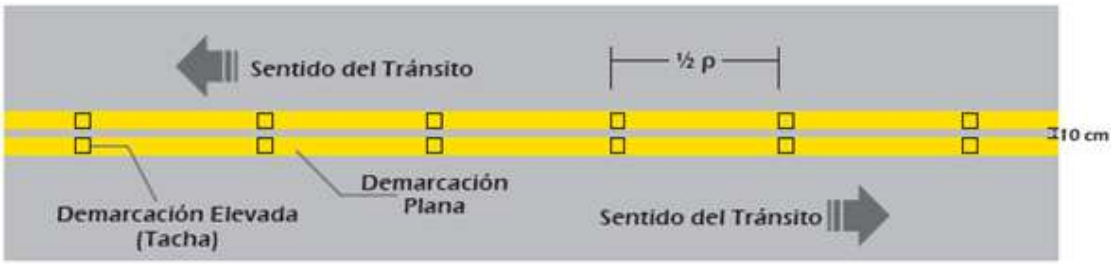


Figura 703-7 Separación vía doble sentido con restricción de adelantamiento en ambos sentidos y una separación entre tachas=ρ según patrón de la Tabla 703-3.

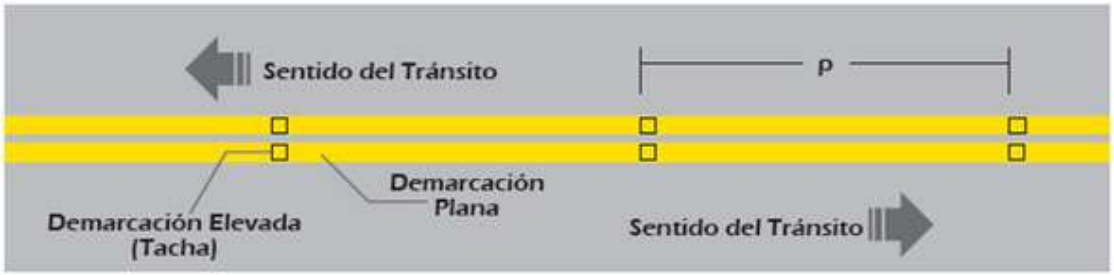


Figura 703-8 Separación vía doble sentido con restricción de adelantamiento en ambos sentidos con una separación entre tachas=1/2ρ según patrón de la Tabla 703-3.

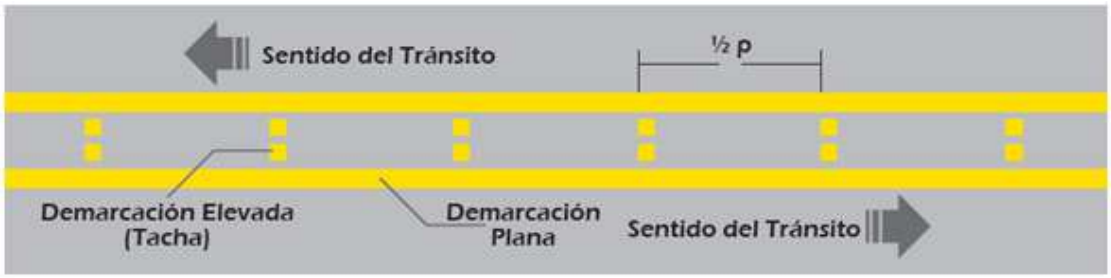


Figura 703-9 Separación vía doble sentido con restricción de adelantamiento en ambos sentidos con una separación entre tachas=ρ según patrón de la Tabla 703-3.

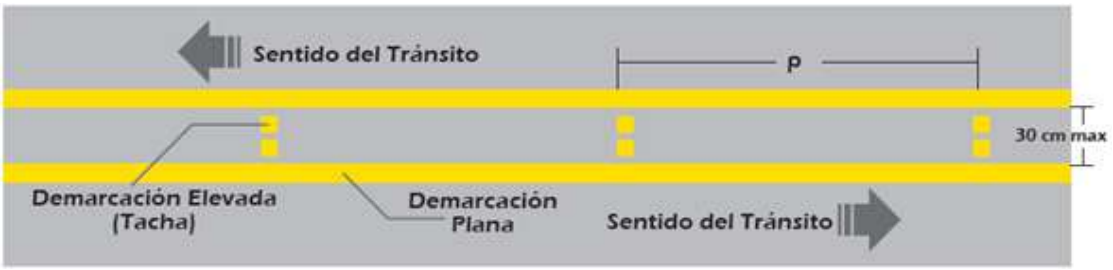


Figura 703-10 Separación entre carriles del mismo sentido con un patrón de demarcaciones segmentadas en la vía=ρ, una separación normal entre tachas=ρ.

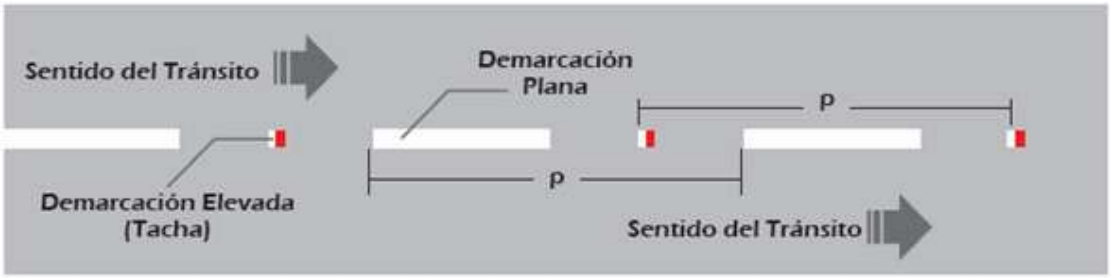


Figura 703-11 Separación entre carriles del mismo sentido con un patrón de demarcaciones segmentadas en la vía=ρ, una separación normal entre tachas=2ρ.

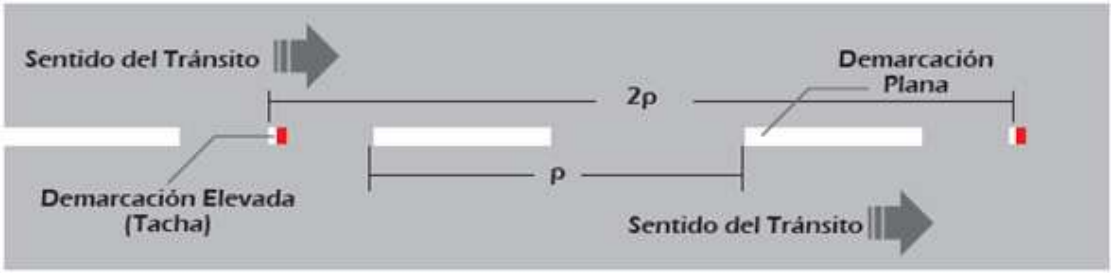


Figura 703-12 Separación entre carriles del mismo sentido con restricción de cruzar con una separación normal entre tachas =ρ.

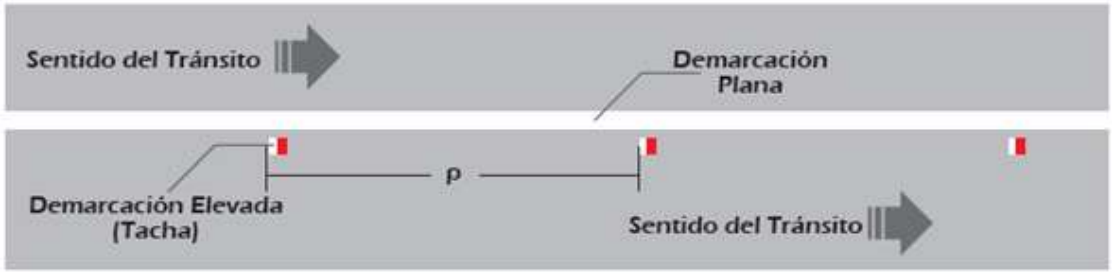
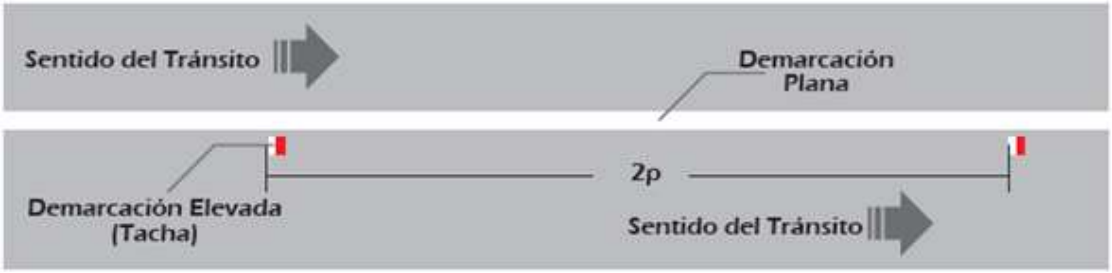


Figura 703-13 Separación entre carriles del mismo sentido con restricción de cruzar con una separación normal entre tachas =2ρ.



ESPECIFICACIONES INVÍAS - 2022

Cuando las líneas continuas de borde de pavimento se refuerzan con demarcaciones elevadas, éstas deben colocarse al exterior de la línea de demarcación plana. El espacio entre estas demarcaciones elevadas debe ser la mitad del largo del patrón de la demarcación segmentada y así no confundir estas con una línea segmentada. Ver Figura 703-15 a Figura 703-20.

Figura 703-14 Separación con línea blanca entre carril y berma derecha con un patrón de demarcaciones segmentadas en la vía = ρ, una separación normal entre tachas = ρ.

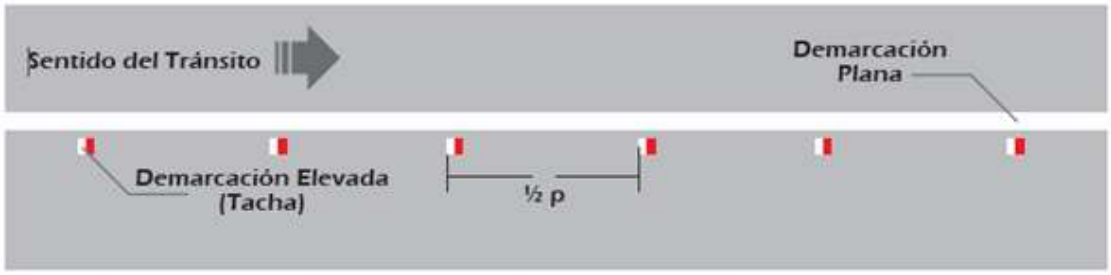


Figura 703-15 Separación con línea blanca entre carril y berma derecha con una separación entre tachas = p, según patrón de la Tabla 703-3.

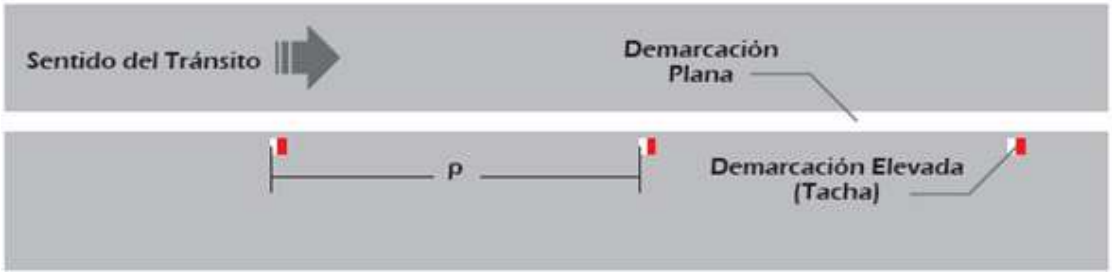


Figura 703-16 Separación con línea blanca entre carril y berma izquierda con una separación entre tachas = 2p, según patrón de la Tabla 703-3.

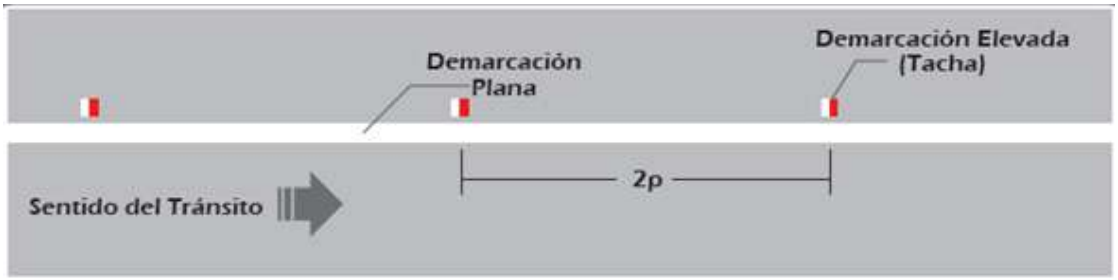


Figura 703-17 Separación con línea amarilla entre carril y berma izquierda con una separación entre tachas = 1/2p, según patrón de la Tabla 703-3.

Figura 703-18 Separación con línea amarilla entre carril y berma izquierda con una separación entre tachas = p, según patrón de la Tabla 703-3.

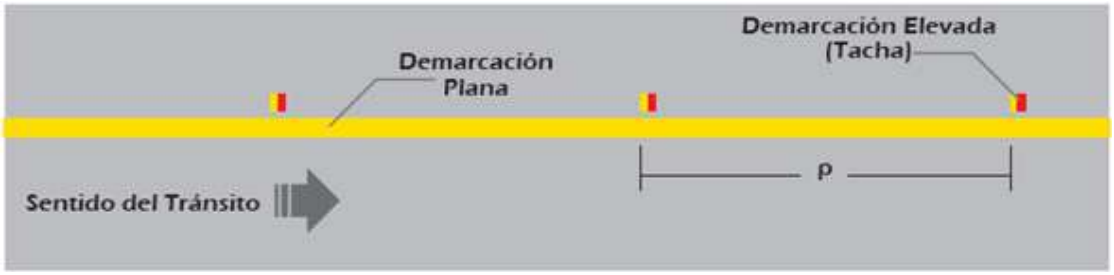
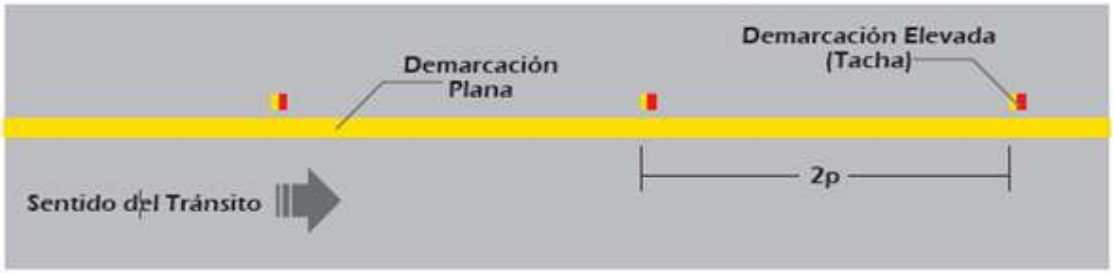


Figura 703-19 Separación con línea amarilla entre carril y berma izquierda con una separación entre tachas = 2p, según patrón de la Tabla 703-3.



Si durante el planeamiento previo a la instalación se determina que, como resultado del espaciamiento típico de tachas, una tacha debe ser puesta en un sitio con defectos de superficie de pavimento, en una junta de construcción del pavimento o dentro de la intersección con una entrada domiciliaria o calle pública, el sitio propuesto se debe relocalizar longitudinalmente a suficiente distancia, en un punto aprobado por el interventor.

La distancia de relocalización de la tacha afectada no puede exceder el diez por ciento (10 %) del espaciamiento típico.

Donde sea necesario relocalizar la tacha a una distancia mayor del diez por ciento (10 %) de espaciamiento típico, la tacha afectada se debe suprimir. La cara reflectora de la tacha debe estar perpendicular a una línea paralela a la línea central de la vía.

703.4.2 Preparación de la superficie

Antes de proceder a la aplicación de las tachas, si la superficie presenta defectos o huecos notables, se deben corregir los primeros y rellenar los segundos con materiales de la misma naturaleza de la superficie.

Se debe cepillar el sustrato en el área que va a ser colocada la tacha reflectiva. Los sitios elegidos para la colocación de las tachas se deben limpiar de polvo, barro, grasa, suciedad y cualquier otro elemento extraño, cuya presencia atente contra la correcta adhesión de la tacha al pavimento, para lo cual se puede emplear cualquier procedimiento aprobado por el interventor y que sea ambientalmente permitido.

Cuando las tachas se instalen sobre un pavimento de concreto hidráulico, se deben eliminar de la zona de fijación todos aquellos materiales utilizados en el proceso de curado del concreto que aún se encuentran sobre la superficie.

Posterior al cepillado, es obligatorio implementar el lavado de la superficie de rodadura con una solución por volumen de una (1) parte de ácido muriático en nueve (9) de agua, dejándola actuar por quince minutos (15 min) y luego enjuagando y secando.

Cuando la superficie de fijación de la tacha no está curada afecta gravemente la adherencia del pegamento, sea bituminoso o epóxico. Es necesario aguardar a que se desprendan todos los elementos volátiles, además, se debe esperar entre veinte y treinta días (20 d y 30 d) para que selle totalmente el asfalto o el concreto adquiera su resistencia final.

Para la aplicación del epóxico, la tacha debe estar protegida contra el impacto hasta que el adhesivo se endurezca y sea verificado por el interventor.

703.4.3 Colocación de las tachas

703.4.3.1 Perforación

Para la perforación del pavimento se debe utilizar taladro o taladro percutor con fuente de alimentación o de batería. El equipo debe tener el torque adecuado para perforar en mampostería.

Se debe utilizar broca número once (nro. 11) o número doce (nro. 12), o del diámetro recomendado por el fabricante. Con punta de diamante o de tungsteno, el rendimiento depende del tipo de superficie.

Se debe utilizar soplador de aire con velocidad de soplado de aproximadamente setenta y seis metros por segundo (76 m/s) o superior.

El agujero debe ser aproximadamente de seis centímetros (6 cm) de profundidad, con un diámetro de once o doce milímetros (11 mm o 12 mm).

Es importante asegurar la orientación perpendicular a la superficie para garantizar el alojamiento adecuado del espigo en el suelo.

El estado del elemento perforador debe ser óptimo para no generar una abertura excesiva en la superficie de rodadura, este orificio no debe exceder en más de cero coma cero cinco milímetros (0,05 mm) el diámetro del espigo para garantizar su adecuado ingreso y una fijación adecuada del elemento adherente.

De igual forma se debe vigilar el estado de la broca de perforación para garantizar que el diámetro cumpla lo indicado en el presente numeral y la perforación sea uniforme, además es necesario utilizar soplador para limpiar el agujero y el lugar donde se aplica el adhesivo, para garantizar que no haya arena, contaminantes o suciedad de la perforación, así se obtiene un anclaje eficiente en el pavimento.

703.4.3.2 Instalación

Las tachas se deben colocar en los sitios previamente localizados, fijándolas con el adhesivo indicado en el numeral 703.2.1.12, el cual se prepara de acuerdo con las instrucciones del fabricante y su cantidad a utilizar va a depender del estado de la superficie del pavimento.

Si se emplea un adhesivo epóxico, se recomienda no preparar más cantidad de adhesivo de la que se pueda utilizar en diez minutos (10 min). El adhesivo se debe aplicar con una espátula a la base de la tacha o a la superficie del pavimento. La cantidad de pegante (bituminoso o epóxico) debe cubrir toda la superficie de contacto sin presentar vacíos, más un leve exceso, con un borde alrededor de la tacha de aproximadamente un centímetro (1 cm).

Atendiendo a las indicaciones sobre las calidades del pegante, la humedad del ambiente no puede ser excesiva, así como tampoco pueden instalarse tachas cuando la vía esté húmeda o mojada.

Las tachas se deben colocar tan pronto como sea posible, con un procedimiento que asegure que, respecto del eje de la vía, no sufra desviaciones mayores a dos milímetros (2 mm), medidos en los extremos. Una vez instalada la tacha, se debe presionar hasta que el pegamento salga por los bordes. Todo exceso de adhesivo se debe limpiar y retirar inmediatamente. No se debe aceptar, por ningún motivo, que alguna traza de pegamento quede sobre la cara reflectante de la tacha.

El adhesivo epóxico requiere que la operación de mezcla y la colocación de las tachas se hagan rápidamente, cuando la mezcla se realice a mano, el adhesivo escogido debe mezclarse a la vez, y las tachas deben ser alineadas y presionadas en su lugar dentro de los cinco minutos (5 min) después de que se inicien las operaciones de mezcla. No debe utilizarse adhesivo que se vuelva tan viscoso que no se pueda extruir fácilmente de debajo de la tacha en la aplicación de leve presión. El adhesivo con condiciones acelerantes no debe mezclarse a mano. Si se utiliza un adhesivo acelerado, este se debe mezclar con un aparato automático de mezcla e inyección de dos (2) componentes. Cuando la máquina mezcla el adhesivo estándar o el adhesivo acelerado, las tachas deben colocarse dentro de los sesenta segundos (60 s) después de que el adhesivo se haya mezclado e inyectado y no se debe permitir un mayor movimiento de la tacha.

Además, no se debe permitir más de noventa segundos (90 s) entre el tiempo que el adhesivo está en su lugar en la carretera y no está sujeto a un mayor movimiento. El adhesivo no debe permanecer en la cabeza del aparato de inyección durante más de cuarenta y cinco segundos (45 s). El sobrante que haya quedado en la cabeza del aparato de inyección por más de este período, debe desperdiciarse antes de reanudar la operación.

Los equipos de mezcla automática para el adhesivo epóxico deben usar bombas de desplazamiento positivo y medir adecuadamente los dos (2) componentes en la relación especificada por el fabricante. Al comienzo de cada día y en cualquier otro momento ordenado por el interventor, la relación debe ser revisada por el constructor en presencia del interventor. Esta comprobación se realiza desconectando las cabezas de mezcla o utilizando válvulas de derivación adecuadas, y llenando dos recipientes adecuados con los componentes no mezclados. La cabeza de mezcla debe mezclar correctamente los dos (2) componentes, de modo que no haya rastro de rayas negras o blancas en el material mixto.

Los vacíos en una muestra curada y no perturbada del adhesivo mixto obtenido de la boquilla de extrusión no deben exceder el cuatro

por ciento (4 %).

El adhesivo de asfalto debe dispensarse de un aplicador de fusión controlado termostáticamente a una temperatura de ciento noventa y un a doscientos dieciocho grados Celsius (191 °C - 218 °C). El material debe agitarse con frecuencia para asegurar un calentamiento uniforme. El adhesivo se dispersa en un charco mayor que la parte inferior de la tacha, y la tacha debe dejarse caer en el charco lo más rápido posible, preferiblemente dentro de los cinco segundos (5 s) de la colocación del adhesivo. La tacha debe presionarse ligeramente sobre el adhesivo. El adhesivo se debe fijar en aproximadamente dos minutos (2 min) y, por lo general, no requiere protección contra el tráfico, en todo caso siguiendo las recomendaciones del fabricante.

Para los dos (2) tipos de adhesivo debe garantizarse el llenado del orificio hecho con taladro para la instalación del espigo.

703.4.4 Plan de Manejo de Tránsito (PMT)

El constructor debe contar con un PMT e instalar todos los elementos de señalización preventiva en la zona de los trabajos, de acuerdo con lo establecido en el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte, los cuales deben garantizar la seguridad permanente tanto del personal y de los equipos de construcción, como de los usuarios y transeúntes, durante las veinticuatro horas (24 h) del día.

Para actividades que no impliquen el cierre total de la vía, el interventor debe dar su visto bueno previo a la presentación de un PMT, en los casos que impliquen el cerramiento total de la vía, se deben tramitar los permisos correspondientes ante la autoridad competente y se debe presentar el PMT aprobado por el interventor.

Las tachas deben ser protegidas del tránsito o de cualquier golpe por el tiempo mínimo indicado por el fabricante de acuerdo con el tipo de material utilizado como adhesivo, además, durante el período que dure el proceso de endurecimiento del pegamento, se deben tomar todas las precauciones necesarias para evitar que el tránsito pase sobre las tachas. Para esto, el constructor debe colocar elementos de señalización como conos o barreras para asegurar el procedimiento.

703.4.5 Limpieza final

Una vez colocadas las tachas, el constructor debe retirar del sitio de los trabajos todos los equipos, señales y materiales sobrantes, disponiéndolos en lugares aprobados por el interventor.

703.4.6 Limitaciones en la instalación

No se debe permitir la colocación de tachas en las siguientes condiciones:

- Cuando se presente lluvia.
- Cuando la temperatura del pavimento o la del aire esté a:
  - Cero grados Celsius (0° C) o menos, en caso de utilizar adhesivo epóxico de fijación rápida.
  - Diez grados Celsius (10° C) o menos, cuando se utilice epóxico de fijación normal.
  - Cuatro coma cuatro grados Celsius (4,4° C) o menos y máximo doce grados Celsius (12° C) o cuando se utilice ligante asfáltico.
  - Menos de nueve grados Celsius (9° C), cuando se utilice termoplástico alquídico.
- Cuando la humedad relativa del aire es mayor del ochenta por ciento (80 %).

- Cuando la superficie del pavimento no es suficientemente seca.

En pavimentos nuevos con carpeta de concreto asfáltico, las tachas se pueden colocar después de que la superficie se haya abierto al tránsito público por un período no menor de catorce días (14 d) continuos.

Tampoco se debe permitir la colocación de tachas sobre áreas de pavimento agrietadas, juntas longitudinales, transversales, fisuras, con desplazamientos o donde existan fallas del material de la base subyacente o sobre marcas viales existentes.

Además, se deben atender todas las limitaciones adicionales que establezcan los fabricantes del adhesivo y de las tachas.

703.4.7 Manejo ambiental

En adición a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las labores requeridas para la instalación de tachas electrónicas solares LED, se deben realizar teniendo en cuenta lo definido en las normas y disposiciones vigentes sobre la conservación del ambiente y los recursos naturales.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación, deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades deben incluirse en los costos del proyecto; por tanto, no son objeto de reconocimiento directo en el contrato.

703.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

703.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y funcionamiento del equipo utilizado por el constructor.
- Comprobar que todos los materiales cumplan los requisitos indicados en el numeral 703.2.
- Vigilar que las tachas no se coloquen con anterioridad a la aplicación de las líneas de demarcación.
- Revisar que las tachas queden correctamente colocadas y contarlas para efectos de pago.

El interventor debe medir, para efectos de pago, el trabajo correctamente ejecutado de acuerdo con los planos, esta especificación y las instrucciones que este haya realizado.

La interventoría debe exigir al constructor, el certificado de conformidad expedido por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC), o por un organismo de certificación de productos del país de origen, debidamente acreditado para certificar dichos materiales, aportado por las compañías fabricantes o lo que establezca la Superintendencia de Industria y Comercio en materia de evaluación de la conformidad. El certificado debe indicar que el producto se ha ensayado según los métodos de prueba definidos en la NTC 4745 (ASTM D4280) vigente.

Las tachas seleccionadas para muestreo deben evaluarse bajo los ensayos determinados en la NTC 4745 (ASTM D4280), para la recepción, se debe implementar el ensayo ASTM E1696 para la medición del coeficiente

de intensidad luminosa antes de la exposición a abrasión o instalación. Los equipos retrorreflectómetros deben tener placa calibradora vigente y debe ser generada por un laboratorio acreditado o avalado independiente.

El plan de calidad y el plan de inspección, medición y ensayo, son de obligatorio cumplimiento tal como se encuentra expresado en el numeral 103.2 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor.

703.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

703.5.2.1 Calidad de los materiales

No se deben admitir materiales que incumplan las exigencias del numeral 703.2.

Para el coeficiente de intensidad luminosa del numeral 703.2.1.5, se debe evaluar toda la muestra de tachas electrónicas solares LED. La falla de más del diez por ciento (10 %) de las caras reflexivas debe ser motivo de rechazo de todo el lote presentado para la muestra.

Además de la prueba anterior, cuatro (4) caras reflectantes y la superficie del elemento captor de energía solar que pasen los requisitos fotométricos de retrorreflectividad se deben someter a la prueba de resistencia a la abrasión del numeral 703.2.1.4 y se mide nuevamente el coeficiente de intensidad luminosa. La falla de más de una (1) muestra debe ser motivo de rechazo de todo el lote.

Para la resistencia a la flexión, la resistencia a la compresión y el color, se deben probar tres (3) tachas. Las tachas previamente sometidas a la medición del coeficiente de intensidad luminosa, del color y de la resistencia a la abrasión son aceptables para las pruebas de resistencia a la flexión y resistencia a la compresión. La falla de más de una (1) especificación debe ser motivo de rechazo de todo el lote.

Para la resistencia del lente al impacto y cambios cíclicos de temperatura, se deben probar diez (10) tachas para cada requisito, incluyendo la superficie del elemento captor de energía solar. La falla de más de una de las tachas en cualquiera de las pruebas debe ser causa de rechazo de todo el lote.

Para el funcionamiento del sistema de iluminación electrónica, se debe evaluar toda la muestra de tachas electrónicas solares LED. La falla de más del diez por ciento (10 %) de las caras reflexivas debe ser motivo de rechazo de todo el lote presentado para la muestra.

Para el funcionamiento del sistema de las tachas sincronizables simple, sincronizables con semáforo, sincronizables con radar de velocidad y sincronizables con radas de velocidad y contador y clasificador vehicular, se debe evaluar toda la muestra de tachas electrónicas solares LED. La falla de más del diez por ciento (10 %) de las caras reflexivas debe ser motivo de rechazo de todo el lote presentado para la muestra.

En caso de falla que resulte en el rechazo del lote, y a discreción del interventor, se puede tomar una (1) muestra que consiste en el doble de muestras originalmente probadas. Las tolerancias para el remuestreo deben estar en la misma proporción que se especifica anteriormente.

703.5.2.2 Instalación de las tachas

El interventor únicamente debe aceptar el trabajo si las tachas han sido colocadas de acuerdo con los planos, la presente especificación, sus instrucciones y si se encuentran totalmente adheridas a la superficie del pavimento a los treinta días (30 d) de su colocación.

Todas las deficiencias que presenten los trabajos deben corregirse por el constructor bajo

su propia cuenta y riesgo, y aprobadas por el interventor.

703.6 Medida

Las tachas electrónicas solares LED se deben medir por unidad (u) instalada de acuerdo con los documentos del proyecto y la presente especificación, debidamente aceptadas por el interventor.

703.7 Forma de pago

El pago se debe hacer al respectivo precio unitario del contrato por toda tacha electrónica solar LED colocada, con base en esta especificación y aprobado por el interventor. El precio unitario debe comprender todos los costos inherentes al suministro de materiales y equipos; localización y preparación de los sitios de colocación de las tachas; transportes, almacenamiento y colocación del adhesivo y las tachas; señalización temporal y ordenamiento del tránsito; limpieza, remoción, transporte y disposición de desperdicios y en general, todo costo adicional requerido para la correcta ejecución del trabajo especificado.

El precio unitario debe incluir, igualmente, los costos de administración, imprevistos y la utilidad del constructor.

703.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
703.1	Tacha electrónica solar monocromática autónoma	Unidad (u)
703.2	Tacha electrónica solar monocromática sincronizable	Unidad (u)
703.3	Tacha electrónica solar multicolor sincronizable con semáforo	Unidad (u)
703.4	Tacha electrónica solar multicolor sincronizable con radar de velocidad	Unidad (u)
703.5	Tacha electrónica solar multicolor sincronizable con radar de velocidad, contador y clasificador vehicular	Unidad (u)

Nota: se debe elaborar un ítem para cada tipo de tacha reflectiva incluido en el contrato.

703.9 Glosario

703.9.1 Pegamento bituminoso

El bitumen es una substancia a base de petróleo. Es un producto de hidrocarburo semisólido producido al eliminar las fracciones más ligeras (como el gas licuado de petróleo, el petróleo y el diesel) del petróleo crudo pesado durante el proceso de refinamiento, este es conocido de manera correcta como bitumen refinado. Uno de los productos a base de bitumen es el pegamento bituminoso.

Una de las propiedades del pegamento bituminoso es que puede servir como un adhesivo fuerte y duradero, que une una amplia variedad de otros materiales sin afectar sus propiedades. El pegamento bituminoso tiene la habilidad de adherirse a una superficie sólida, dependiendo de la naturaleza de la superficie, cuando se encuentra en estado semilíquido; sin embargo, la presencia de agua en la superficie inhibe esta propiedad. Es de resaltar que su alta durabilidad es esencial en los mayores proyectos de ingeniería como en la construcción de carreteras y en la aplicación de tachas electrónicas solares LED.

703.9.2 Pegante Epóxico

El epóxico es conocido como un tipo de pegamento duradero que proporciona un alto nivel de propiedades adhesivas que son muy superiores a la mayoría de pegamentos en

pasta ordinarios, normalmente se vende en un paquete de dos componentes que necesitan mezclarse antes de ser usados. El epóxico se utiliza para unir de forma segura un diverso número de tipos de metales plásticos, maderas, entre otros materiales.

Este producto ha sido creado para proporcionar un poder adhesivo y una dura capa de protección, los elementos básicos del epóxico se derivan de productos del petróleo, usualmente uno de los elementos básicos del epóxico es el poliepóxido, un bisfenol A que ayuda a proporcionar una parte de la eficiencia adherente del pegamento. El epiclorohidrin es otro elemento clave que proporciona a la substancia una capa dura resistente a la humedad, al calor y al frío extremo.

La combinación del revestimiento duro y de los fuertes agentes adhesivos hace que este pegamento sea la opción ideal en materiales que soportan mucho estrés, como las tachas electrónicas solares LED en las rutas o carreteras fabricadas de concreto.

Señales verticales de tránsito

Artículo 710 – 22

710.1 Descripción

Este trabajo radica en el suministro, almacenamiento, transporte e instalación de señales verticales de tránsito, para reglamentar, prevenir e informar a los usuarios, de acuerdo con los planos y demás documentos del proyecto y las instrucciones del interventor.

El diseño de las señales verticales, los mensajes y los colores, deben estar en concordancia con el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte y demás normas que lo complementen o sustituyan.

El diseño de la señales verticales y señalización especial para túneles debe estar en concordancia con el Manual para el Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento de Túneles de Carretera para Colombia vigente y demás normas que lo complementen o sustituyan.

710.2 Materiales

710.2.1 Material retrorreflectivo

Retrorreflectividad es el fenómeno de reflexión de la luz hacia la fuente que la emite, con una dispersión mínima. La retrorreflectividad se describe en la norma ASTM E808.

El material retrorreflectivo para las señales verticales de tránsito y delineadores que cubre este artículo, debe cumplir las especificaciones contenidas en la NTC 4739. El tipo de material retrorreflectivo de cada señal debe ser el indicado en los documentos del contrato, en función del grado de retrorreflectividad, color y durabilidad requeridos en cada caso; debe cumplir con los requisitos de visibilidad y retrorreflexión definidos en el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte. Para vías nacionales no se recomienda el uso de láminas retrorreflectivas tipo I y tipo II.

El constructor debe presentar las certificaciones de cumplimiento de dicha norma, expedidas por el proveedor del material, para la aprobación de la interventoría.

710.2.2 Material para tableros

Los tableros, para todas las señales, deben estar construidos en materiales que garanticen resistencia a cargas de viento e impacto, durabilidad, resistencia a la oxidación y que, adicionalmente, no representen un peligro grave al ser impactados por un vehículo. Se pueden usar láminas de acero galvanizado, aluminio, poliéster reforzado con fibra de vidrio modificada con acrílico y estabilizador ultravioleta u otro material.

Para determinar el tipo de material a utilizar, se deben tener en cuenta las condiciones atmosféricas y ambientales de la zona donde deben

instalar las señales para lo cual, se recomienda tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- En lámina de poliéster reforzado con fibra de vidrio o aluminio, para vías en zonas aledañas a áreas marinas o zonas que por sus condiciones ambientales sean propensas a generar problemas acentuados de oxidación de los materiales.
- En lámina de poliéster reforzado con fibra de vidrio, galvanizada o aluminio, para los otros casos no contemplados en el párrafo anterior.

710.2.2.1 Lámina de poliéster reforzado con fibra de vidrio

El material debe cumplir los siguientes requisitos:

710.2.2.1.1 Espesor

Debe ser de tres coma cuatro milímetros más o menos cero coma cuatro milímetros (3,4 mm ± 0,4 mm), el cual se debe verificar como el promedio de las medidas en cuatro (4) sitios del borde de cada lámina, con una separación entre ellos igual a la cuarta parte del perímetro de esta. La lámina no debe contener grietas visibles ni arrugas en las superficies que puedan afectar su comportamiento y alterar las dimensiones. Por lo menos una de las caras de la lámina debe ser completamente lisa.

710.2.2.1.2 Color

El color debe ser blanco uniforme.

710.2.2.1.3 Pandeo

La deflexión máxima vertical en el centro de una lámina cuadrada de setenta y cinco centímetros (75 cm) de lado, suspendida horizontalmente de sus cuatro (4) vértices, no debe ser mayor de doce milímetros (12 mm).

Luego, la lámina se debe colocar, suspendida en las mismas condiciones, en un horno a ochenta y dos grados Celsius (82 °C) durante cuarenta y ocho horas (48 h); se saca del horno, se suspende de la misma forma y se deja enfriar. La deflexión máxima vertical en el centro de la lámina, medida una vez alcance la temperatura ambiente, no debe ser mayor de doce milímetros (12 mm). Todas las medidas se deben tomar cuando la lámina se encuentre a temperatura ambiente.

710.2.2.1.4 Resistencia al impacto

Una lámina cuadrada de setenta y cinco centímetros (75 cm) de lado, debe resistir fuerzas de impacto que podrían agrietar otros plásticos o deformar metales. La lámina apoyada en sus extremos y a una altura de veinte centímetros (20 cm) del piso, debe resistir el impacto de una esfera de acero de cuatro mil quinientos gramos (4 500 g) en caída libre desde una altura de tres coma cinco metros (3,5 m), sin resquebrajarse.

710.2.2.1.5 Estabilidad térmica

Las características de resistencia no deben ser afectadas apreciablemente en un rango de temperaturas entre menos dieciocho y más cien grados Celsius (- 18 °C y +100 °C).

710.2.2.1.6 Resistencia al fuego

Los componentes de la lámina deben contener aditivos que la hagan menos propensa a iniciar y propagar llamas.

710.2.2.1.7 Protección ante la intemperie

Las láminas deben estar fabricadas con protección ante la intemperie por ambas caras; poseer una superficie uniforme químicamente pegada, recubrimiento gelatinoso (Gel-Coat) que no se pueda separar. Para comprobarlo, se sumerge una muestra de diez centímetros (10 cm) por dos centímetros (2 cm) en una probeta que contenga cloruro de metileno, durante trece minutos (13 min), después de lo cual se seca, no debiendo aparecer fibra de vidrio por ninguna de las dos (2) caras.

710.2.2.1.8 Estabilización

Las láminas deben estar fabricadas de manera que no liberen constituyentes emigrantes (solventes, monómeros, etc.) con el tiempo; tampoco deben contener residuos de agentes desmoldeantes en la superficie del laminado que puedan interferir en la adherencia de la lámina retrorreflectiva.

710.2.2.1.9 Tratamiento de la cara frontal

Previamente a la aplicación del material retrorreflectivo, la lámina debe limpiarse, desengrasarse y secarse de toda humedad.

710.2.2.2 Lámina de acero galvanizado

El material debe cumplir los siguientes requisitos:

710.2.2.2.1 Material

La lámina debe ser de acero laminado en frío y revestida por ambas caras con una capa de zinc, aplicada por inmersión en caliente o por electrólisis, según las normas NTC 3940 y NTC 4011; después del galvanizado, se debe preparar la pintura según la NTC 6146 (ASTM D6386).

710.2.2.2.2 Espesor

La lámina de acero debe tener un espesor de uno coma cinco milímetros, con una tolerancia de más o menos cero coma quince milímetros (1,5 mm ± 0,15 mm). La medida puede efectuarse en cualquier parte de la lámina, a una distancia no menor de diez milímetros (10 mm) del borde.

710.2.2.2.3 Resistencia al doblez

Una probeta cuadrada de cinco centímetros (5 cm) de lado, no sometida a tratamientos térmicos previos, no debe presentar desprendimiento de zinc cuando se dobla girando ciento ochenta grados Celsius (180 °C), con una luz igual al espesor de la lámina.

710.2.2.2.4 Tratamiento de la cara frontal

Previamente a la aplicación del material retrorreflectivo, la lámina galvanizada debe ser limpiada y desengrasada; además, debe estar libre de óxido blanco. El galvanizado debe tener una superficie de terminado producida con abrasivo grado cien (100) o más fino.

710.2.2.2.5 Tratamiento de la cara posterior

Una vez cortada y pulida, la lámina debe limpiarse y desengrasarse, aplicando seguidamente una pintura base (wash primer o epoxipoliamida), para colocar finalmente una capa de esmalte sintético blanco.

710.2.2.3 Lámina de aluminio

El material debe cumplir los siguientes requisitos:

710.2.2.3.1 Material

La lámina de aluminio debe ser de aleaciones 6061-T6, 5052-H38, NTC 1685 (ASTM B209) o extrusiones similares.

710.2.2.3.2 Espesor

El espesor debe ser de dos milímetros, medidos con una tolerancia de más o menos cero coma dos milímetros (2 mm ± 0,2 mm). La medida se puede efectuar en cualquier parte de la lámina, a una distancia no menor de diez milímetros (10 mm) del borde.

710.2.2.3.3 Tratamiento de la cara frontal

Previamente a la aplicación del material retrorreflectivo, la lámina debe estar limpia, desengrasada y seca de toda humedad; igualmente, debe estar libre de óxido blanco. El aluminio debe tener una superficie de terminado producida con abrasivo grado cien (100) o más fino.

710.2.2.3.4 Tratamiento de la cara posterior

Una vez cortada y pulida, la lámina se debe limpiar y desengrasar, aplicando seguidamente una pintura base (wash primer o epoxipoliamida), para colocar finalmente una capa de esmalte sintético blanco.

710.2.2.4 Consideraciones adicionales

Cuando se use este material para señales verticales de destino, de información en ruta y señales elevadas, se deben elaborar en lámina calibre veinte (20) como mínimo. A los tableros de las señales elevadas, se les puede hacer dos (2) dobleces o pestañas de dos centímetros (2 cm) cada una, en sus cuatro (4) bordes, con el objeto de darle mayor rigidez. Los tableros deben ser montados sobre una estructura que garantice su estabilidad y rigidez, la cual debe ser fijada al sistema de soporte.

710.2.3 Material para postes y brazos de los postes

Se pueden utilizar distintos materiales y sistemas de soporte, siempre y cuando estos cuenten con el sustento técnico y/o ensayos de laboratorio certificados que demuestren que los mismos cumplen las condiciones descritas anteriormente o sistemas abatibles o quebradizos que no generen superficies cortantes o punzantes. Para los anteriores casos se debe contar con la previa autorización mediante resolución motivada emitida por el Ministerio de Transporte. En caso contrario se deben utilizar sistemas de soporte constituidos por poste monolítico y brazos, elaborados en perfil en ángulo de hierro de dos

(2) pulgadas por dos (2) pulgadas por un cuarto (1/4) de pulgada, de espesor para el elemento vertical y un octavo (1/8) de pulgada de espesor para los elementos horizontales, con límite de fluencia mínimo de veinticinco kilogramos por milímetro cuadrado (25 kg/mm^2) en todos los tipos de señales, el cual debe ser de primera clase, no se debe permitir hormigueo en ninguna parte de su longitud. También pueden ser fabricados en tubo galvanizado redondo o cuadrado, de dos (2) pulgadas y dos milímetros (2 mm) de espesor; en este caso, todos los extremos expuestos deben estar sellados con su respectiva tapa metálica soldada en todo su perímetro para evitar la penetración de agua.

El perfil debe ser de primera clase, sin hormigueos en ninguna parte de su longitud; no se deben aceptar añadiduras ni traslapos en postes y brazos. El galvanizado se debe aplicar por inmersión en caliente, según las normas NTC 2076 (ASTM A153) y NTC 4011 (ASTM A653).

Se debe garantizar la rigidez de las láminas de los tableros correspondientes a las señales preventivas (SP), reglamentarias (SR), informativas de identificación, de información general, de servicios y turísticas (SI) y los delineadores, fijándolas a una cruceta formada entre el poste y sus brazos, los cuales deben formar un perfecto plano de apoyo para el tablero, el cual debe aislarse con materiales que eliminen el efecto rocío en la señal cuando esta en contacto con la lámina del tablero, en los casos que éstos se construyan con materiales que produzcan dicho efecto.

La soldadura del brazo debe ser con piquete o suplemento. En señales dobles, la rigidez se debe garantizar con dos (2) crucetas del mismo tipo citado anteriormente, debidamente soldadas.

Se deben adoptar medidas que dificulten el robo u otras acciones vandálicas que alteren la correcta posición de las señales. Entre otros se puede fijar el tablero de la señal con remaches, usar pernos con tuerca antivandálicas o doblar los pernos, aplicar soldadura o epóxico a los pernos para dificultar el robo de las señales. Además, los postes deben ser anclados en hormigón de suficiente resistencia para evitar el robo del sistema total. El sistema de soporte debe ser de color blanco y, su material, inoxidable o debe ser tratado con materiales anticorrosivos.

Todo elemento de fijación debe ser de un material inoxidable y que no manche el material de la señal.

En condiciones especiales, en donde no exista la distancia longitudinal suficiente que permita colocar dos (2) señales verticales individuales separadas, se pueden adosar hasta dos (2) tableros de señales verticales en un solo soporte; en tal caso, los dos (2) tableros deben ser del mismo tamaño sesenta, setenta y cinco, noventa o ciento veinte centímetros (60 cm, 75 cm, 90 cm o 120 cm). Cuando se instale una señal preventiva y una reglamentaria para una misma situación, la señal preventiva se debe adosar en la parte superior del soporte.

El sistema de soporte de las señales elevadas debe diseñarse estructuralmente de tal forma que se garantice su estabilidad ante todas las cargas a las que pueda estar sometida la estructura y acorde con el tamaño de los tableros. También, se debe garantizar la posición correcta de los tableros y, adicional-

mente, que la estructura no represente un peligro grave al ser impactada por un vehículo. Estos elementos se deben diseñar acorde con las siguientes normas: AISC-360, AISC-303 y el *Steel Construction Manual* (AISC), involucrando las cargas y condiciones de impacto estipuladas por MASH-2 de la AASHTO.

710.2.4 Material para anclaje a la fundación

Los postes se deben diseñar con un anclaje en la parte inferior, soldado en forma de T, con ángulo de acero galvanizado de veinticinco milímetros (25 mm) por veinticinco milímetros (25 mm) por tres coma dieciocho milímetros (3,18 mm), con límite de fluencia mínimo de doscientos cincuenta megapasacales (250 MPa). En los casos donde así lo indique el diseño, se debe realizar el anclaje a la fundación conforme con lo indicado en los planos de diseño aprobados para el proyecto.

El galvanizado se debe aplicar por inmersión en caliente, según las normas NTC 2076 (ASTM A153) y NTC 4011 (ASTM A653).

710.2.5 Recubrimiento de los postes

Los postes, crucetas y anclajes galvanizados deben ser recubiertos con esmalte blanco.

710.2.6 Soldadura

Todos los procedimientos de soldadura se deben llevar a cabo por soldadores con calificación vigente en observancia de la norma AWS y siguiendo las especificaciones del artículo 650, Estructuras de acero. La soldadura se debe aplicar antes del galvanizado.

710.2.7 Dimensiones de los tableros

Se deben atender las disposiciones sobre las dimensiones de tableros mencionadas en el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte.

710.2.8 Dimensiones de los postes

Se deben atender todas las disposiciones sobre las dimensiones de los postes indicadas en el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte.

710.2.9 Material para el anclaje

Las señales se deben instalar en el piso en un anclaje de concreto simple cuya resistencia a la compresión a veintiocho días (28 d) sea, como mínimo, diecisiete megapascales (17 MPa) siguiendo las especificaciones del artículo 630, Concreto estructural.

Dentro del anclaje se debe aceptar la inclusión de dos (2) capas de cantos de diez centímetros (10 cm) de tamaño máximo, una superior y otra inferior, con el fin de dar rigidez a la señal instalada, mientras fragua el concreto.

710.3 Equipo

Se debe disponer de los equipos necesarios para la correcta ejecución de los trabajos, incluyendo:

- Hoyadoras agrícolas, barras de acero y palas.
- Llaves fijas o de expansión para tornillos.
- Martillo de tamaño tal que permita doblar los tornillos una vez apretadas las tuercas.
- Remachadora.

710.4 Ejecución de los trabajos

710.4.1 Ubicación de las señales

Las señales se deben instalar en los sitios que indiquen los planos del proyecto aprobados por el interventor, de conformidad con el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte.

Se debe tener presente que todas las medidas deben ser realizadas por una comisión de topografía.

710.4.2 Excavación

El constructor debe efectuar una excavación cilíndrica para el anclaje de la señal, de veinticinco centímetros (25 cm) de diámetro y sesenta centímetros (60 cm) de profundidad.

Con el fin de evitar que la señal quede a una altura menor a la especificada cuando se instale en zonas donde la carretera transcurre en terraplén, en este caso la excavación solo se debe realizar en una profundidad de treinta centímetros (30 cm) pero el constructor debe, además, instalar una formaleta de la altura necesaria para que, al vaciar el concreto, la señal quede correctamente anclada y presente la altura especificada.

710.4.3 Anclaje de la señal

El anclaje se debe realizar rellenando la excavación con un concreto que presente las características indicadas en el numeral 710.2.9. También, se debe aceptar la inclusión de las capas de cantos a que hace referencia el mismo numeral.

710.4.4 Instalación de la señal

El constructor debe instalar la señal de manera que el poste presente absoluta verticalidad y que se obtenga la altura libre mínima indicada en los documentos del proyecto.

El tablero se debe fijar al poste mediante tornillos de dimensiones mínimas de ocho milímetros (8 mm) (5/16 de pulgada) por una (1) pulgada, rosca ordinaria, arandelas y tuercas, todo galvanizado por proceso de inmersión en caliente, a los cuales se les da golpes para dañar su rosca y evitar que puedan ser retirados fácilmente. Además, se deben instalar cuatro (4) remaches a diez centímetros (10 cm) de distancia, medidos desde los tornillos hacia el centro de la cruceta. También se pueden utilizar otros sistemas de aseguramiento que impidan el retiro del tornillo o elemento de fijación.

710.4.5 Consideraciones adicionales

Adicionalmente, se deben atender todas las disposiciones contenidas en el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte y demás normas que lo complementen o sustituyan.

710.4.6 Plan de Manejo de Tránsito (PMT)

El constructor debe contar con un PMT e instalar todos los elementos de señalización preventiva en la zona de los trabajos, de acuerdo con lo establecido en el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte, los cuales deben garantizar la seguridad permanente tanto del personal y de

los equipos de construcción, como de los usuarios y transeúntes, durante las veinticuatro horas (24 h) del día.

Para actividades que no impliquen el cierre total de la vía, el interventor debe dar su visto bueno previo a la presentación de un PMT. Para casos que impliquen el cerramiento total de la vía, se deben tramitar los permisos correspondientes ante la autoridad competente y se debe presentar el PMT aprobado por el interventor.

710.4.7 Limitaciones en la ejecución

No se debe permitir la instalación de señales de tránsito en instantes de lluvia, ni cuando haya agua retenida en la excavación o el fondo de esta se encuentre muy húmedo, por instrucciones del interventor.

Toda el agua retenida debe ser removida antes de efectuar el anclaje e instalar la señal.

710.4.8 Manejo ambiental

Adicional a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las labores requeridas para la instalación de señales verticales de tránsito, deben realizarse teniendo en cuenta lo establecido en las normas y disposiciones vigentes sobre la conservación del ambiente y los recursos naturales.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación, deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades se deben incluir en los costos del proyecto; por tanto, no son objeto de reconocimiento directo en el contrato.

710.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

710.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y el funcionamiento de todo el equipo utilizado por el constructor.
- Comprobar que todos los materiales cumplan los requisitos exigidos en el numeral 710.2.
- Efectuar mediciones de retrorreflectividad con un retrorreflectómetro que mida directamente los valores en las unidades candela/lux/m^2, indicadas en la NTC 4739. La calibración de los equipos retrorreflectómetro se debe realizar mediante una placa calibradora vigente y en buen estado, generada por un laboratorio acreditado, de acuerdo con lo señalado en la norma ASTM E1709.
- Corroborar la correcta instalación de las señales, de acuerdo con este artículo.
- El plan de calidad y el plan de inspección, medición y ensayo son de obligatorio cumplimiento tal como se encuentra expresado en el numeral 103.2 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor.

La interventoría debe exigir al constructor, el certificado de conformidad expedido por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC), o por un organismo de certificación de productos del país de origen, debidamente acreditado para certificar dichos materiales, aportado por las compañías fabricantes o lo que establezca la Superinten-

dencia de Industria y Comercio en materia de evaluación de la conformidad. El certificado debe indicar que el producto se ha ensayado según los métodos de prueba definidos en la NTC 4739.

El interventor debe contar y medir, para efectos de pago, las señales correctamente elaboradas e instaladas.

710.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

710.5.2.1 Calidad de los materiales

No se deben admitir tolerancias en relación con los requisitos establecidos en el numeral 710.2, para los diversos materiales que conforman las señales y su anclaje.

710.5.2.2 Excavación

La excavación no puede tener dimensiones inferiores a las establecidas en el numeral 710.4.2.

710.5.2.3 Inspección previa

Previo al recibo de las señales, el interventor debe hacer una inspección en horas nocturnas, con la ayuda de una linterna apoyada en la frente, con la cual se debe iluminar la señal percibiendo su calidad y detectando zonas que no reflectan.

710.5.2.4 Instalación

Las señales verticales de tránsito únicamente se deben aceptar si su instalación está en un todo de acuerdo con las indicaciones de los planos, del interventor y de lo señalado en el presente artículo.

Todas las deficiencias que excedan las tolerancias mencionadas deben ser subsanadas por el constructor bajo su propia cuenta y riesgo, y aprobadas por el interventor.

710.6 Medida

Las señales verticales de tránsito se deben medir por unidad (u), suministrada e instalada de acuerdo con los documentos del proyecto y este artículo, aprobada por el interventor.

Las señales de tránsito que hayan sido contratadas por metro cuadrado (m^2), se deben pagar según esta unidad de medida aproximada a la centésima de metro cuadrado del área reflectiva del tablero de la señal suministrada e instalada de acuerdo con los documentos del proyecto y este artículo, aprobadas por el interventor. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

710.7 Forma de pago

El pago de las señales verticales de tránsito se debe realizar al respectivo precio unitario del contrato, por todo trabajo ejecutado de acuerdo con esta especificación y aprobado por el interventor.

El precio unitario debe cubrir los costos de todos los materiales que conforman la señal, su fabricación, desperdicios, almacenamiento, transporte e instalación; las mediciones topográficas requeridas, la excavación, el transporte y disposición en los sitios que defina el interventor de los materiales excavados; el suministro y la colocación de los cantos, el concreto y las formaletas que

eventualmente se requieren para el anclaje, así como todo costo adicional necesario para el correcto cumplimiento de esta especificación.

El precio unitario debe incluir también, los costos de administración, imprevistos y la utilidad del constructor.

710.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
710.1	Señal vertical de tránsito tipo (SP, SI, SR u otros dispositivos para regulación del tránsito), dimensiones (60, 75, 90 o 120), con lámina retrorreflectiva tipo	Unidad (u)
710.2	Señal vertical de tránsito tipo (SP, SI, SR u otros dispositivos para regulación del tránsito), con lámina retrorreflectiva tipo	Metro cuadrado (m^2)

Nota: se debe elaborar un ítem para cada tipo de señal y de lámina retrorreflectiva incluido en el contrato.

Defensas metálicas

Artículo 730 – 22

Los Sistemas de Contención Vehicular que trata este artículo deberán cumplir con lo establecido en el Reglamento Técnico Aplicable a Sistemas de Contención Vehicular (RTSCV) adoptado mediante Resolución 20223040044065 de 29 de julio de 2022 y la Metodología para el Diseño, Selección e Instalación de Sistemas de Contención Vehicular (MDSISCV) adoptada mediante Resolución 20243040022485 de 21 de mayo de 2024, ambas expedidas por el Ministerio de Transporte. Además, aquellas normas que las sustituyan modifiquen, adicionen o complementen.

El sistema de contención se diseñará de acuerdo con el nivel de contención requerido. Se definen cuatro niveles de contención clasificados en las normas EN1317 y manual MASH, como se relaciona en la siguiente tabla:

Clasificación	EN 1317	MASH
NC1 - Normal	N2	TL2
NC2 – Medio	H1, L1	TL3
NC3 – Alto	H2, L2, H3, L3	TL4
NC4 – Muy alto	H4a, H4b, L4a, L4b	TL5, TL6

Fuente: Metodología para el Diseño, Selección e Instalación de Sistemas de Contención Vehicular – ANSV 2024

730.1 Descripción

Este trabajo consiste en el suministro, almacenamiento, transporte e instalación de barreras de contención vehicular metálicas a lo largo de los costados de la carretera, en los tramos indicados en los planos del proyecto, verificados y/o establecidos por el interventor mediante criterios técnicos que garanticen su eficacia. Las barreras de contención vehicular metálicas tienen como finalidad la contención, redirección y mitigación de daños a los vehículos, así como la disminución de la severidad de las lesiones a los usuarios de la vía.

El diseño del sistema de contención estará conforme a la Metodología para el Diseño, Selección e Instalación de Sistemas de Contención Vehicular y/o demás disposiciones vigentes que establezca el Ministerio de Transporte al respecto.

730.2 Materiales

Los materiales que conformen el sistema de contención vehicular deberán cumplir con los estándares en cuanto a recubrimiento, composición química, características mecánicas y demás requerimientos, conforme las normas de referencia (EN1317 y MASH) establecidas en la Metodología para el Diseño, Selección e Instalación de Sistemas de Contención Vehicular.

730.2.1 Características de la defensa

La forma de la defensa estará conforme a la configuración establecida o tipo de perfiles especificados por los productores y proveedo-

res del sistema de contención.

Las defensas que se deban instalar con un radio de curvatura de cuarenta y cinco metros (45 m) o menor, se deben adquirir con la curvatura aproximada de instalación y/o teniendo presente las recomendaciones del fabricante o proveedor según las condiciones de diseño. La defensa no necesita ningún revestimiento adicional (pintura o anticorrosivo).

Para la visualización de las defensas en horas nocturnas, se debe adosar Captafaros distanciados acorde a las indicaciones del Manual de Señalización vigente y debe cumplir lo expresado en el artículo 740 “Captafaros”, de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras.

730.2.2 Amortiguadores de impacto, tenedores u otros aditamentos especiales

Estos elementos especiales, en caso de requerirse, deben ser objeto de una especificación particular y deben cumplir con los requisitos del RTSCV y MDSISCV vigentes.

730.3 Equipo

Se debe disponer del equipo necesario para la correcta y oportuna ejecución de los trabajos especificados, dentro de los cuales se podrá incluir barras de acero, palas, llaves fijas o de expansión y/o los demás equipos que se consideren por los productores y proveedores del sistema de contención vehicular con el fin de garantizar la correcta instalación del sistema de contención.

730.4 Ejecución de los trabajos

730.4.1 Localización

La localización y ubicación del sistema de contención se realizará conforme a las disposiciones y criterios de diseño establecidos en la metodología para el diseño, selección e instalación de los sistemas de contención vehicular, así como en cualquier normativa que lo complemente o sustituya.

La longitud mínima de los tramos de defensa se determinará de acuerdo con los ensayos a escala real realizados al sistema y/o según las especificaciones del fabricante.

730.4.2 Excavación

En los sitios escogidos para enterrar los postes, se deben efectuar excavaciones de sección transversal ligeramente mayor que la del poste y/o atendiendo lo especificado por productores y proveedores del sistema de contención.

730.4.3 Colocación del poste

La colocación del poste también estará sujeta a las especificaciones establecidas por los productores y proveedores del sistema de contención, de tal manera que el poste cumpla con las condiciones de verticalidad y empotrado que permita garantizar el nivel de contención requerida.

Se deberá tener en consideración las recomendaciones establecidas en el anexo H de la MDSISCV, respecto a la adecuación del terreno y criterios de instalación.

Se debe nivelar la parte superior o sobresaliente de los postes, de manera que sus superficies superiores queden alineadas para que al

adosar los tramos de defensa no se presenten altibajos en esta.

730.4.4 Instalación de la defensa

El procedimiento de instalación de las defensas metálicas debe realizarse de acuerdo con los detalles de los planos y componentes, según lo especificado en el manual de instalación proporcionado por el proveedor o productor del sistema de contención.

730.4.5 Empalmes

Los empalmes de los diversos tramos de defensa se deben efectuar de manera que brinden la suficiente rigidez estructural y que los traslapos queden en la dirección del movimiento del tránsito del carril adyacente, además se seguir las recomendaciones establecidas por los productores y proveedores del sistema de contención.

La unión de las láminas se debe realizar teniendo la precaución de que la cabeza redonda de los tornillos se coloque en la cara de la defensa que enfrenta el tránsito.

730.4.6 Terminales de barrera

En los extremos de las defensas metálicas se deben instalar secciones terminales, de acuerdo con lo precisado en el diseño del sistema de contención atendiendo las recomendaciones de la MDSISCV vigente.

Estos terminales podrán ser:

- Empotrado en talud de corte.
- Abatido y esviado.
- Terminal absorbente de energía (TAE)
- Atenuadores de impacto (TAI).

Para las terminales abatidas y enterradas, se debe realizar una transición de la altura de la barrera hasta que ésta alcance el nivel del suelo y pueda enterrarse para el anclaje, cumpliendo con las relaciones de esviaje y demás consideraciones establecidas en la MDSISCV vigente.

Este tipo de terminal no se puede utilizar para velocidades superiores a setenta kilómetros por hora (70 km/h). Para velocidades superiores el diseñador determinará que tipología de terminal implementar con el fin de salvaguardar las seguridad e integridad de los usuarios de la vía.

Las terminales empotradas en taludes se deben anclar en los taludes en corte, para alejar el extremo de la barrera del borde de la vía. El talud debe ser empinado o vertical (con inclinación mayor de uno horizontal cinco vertical (1H : 5V), con una superficie suave (no rocosa) para redireccionar el vehículo sin provocar el enganchamiento o vuelco del mismo.

La terminal absorbente de energía (TAE) y atenuadores de impacto (TAI) deben cumplir con los requisitos del RTSCV y MDSISCV vigentes.

730.4.7 Sistemas de protección para motociclistas (SPM)

El diseño del sistema de contención definirá la necesidad de contemplar un sistema de protección para motociclistas. Estos elementos, deberán seguir las recomendaciones establecidas en la Metodología para el Diseño, Selección e Instalación y Reglamento Técnico aplicable a Sistemas de Contención Vehicular vigentes.

730.4.8 Transiciones

Se implementarán secciones de transición que permitan un cambio gradual de comportamiento en la unión longitudinal de dos barreras de contención que contemplen diferencias significativas de rigidez y de geometría con distinto comportamiento (nivel de contención o clase de deformación). Para estos elementos se tendrán en cuenta las disposiciones establecidas en el RTSCV y MDSISCV vigentes. En caso de requerir una especificación particular, se podrá implementar siempre y cuando se cumpla con las disposiciones normativas relacionadas.

730.4.9 Plan de Manejo de Tránsito (PMT)

El constructor debe contar con un PMT e instalar todos los elementos de señalización preventiva en la zona de los trabajos, de acuerdo con lo establecido en el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte, los cuales deben garantizar la seguridad permanente tanto del personal y de los equipos de construcción, como de los usuarios y transeúntes, durante las veinticuatro horas (24 h) del día.

Para actividades que no impliquen el cierre total de la vía, el interventor debe dar su visto bueno previo a la presentación de un PMT.

Para casos que impliquen el cierre total de la vía, se deben tramitar los permisos correspondientes ante la autoridad competente y se debe presentar el PMT aprobado por el interventor.

730.4.10 Limitaciones de ejecución

No se debe permitir efectuar excavaciones ni tampoco instalar defensas metálicas en condiciones de lluvia.

730.4.11 Manejo ambiental

Adicional a los aspectos generales indicados en el artículo 106 “Aspectos Ambientales”, de las Especificaciones Generales, todas las labores requeridas para la instalación de defensas metálicas se deben realizar teniendo en cuenta lo puntualizado en las normas y disposiciones vigentes sobre la conservación del ambiente y los recursos naturales.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades se deben incluir en los costos del proyecto; por tanto, no debe ser objeto de reconocimiento directo en el contrato.

730.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

730.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos se deben adelantar los siguientes controles principales donde el interventor deberá exigir la aplicación del RTSCV y la MDSISCV expedidos por el Ministerio de Transporte.

- Verificar el estado y el funcionamiento del equipo utilizado por el constructor.
- Revisar que la defensa se instale conforme a los planos y las instrucciones establecidas en el manual de instalación proporcionado por el productor o proveedor del sistema de contención.

El interventor debe verificar que el modelo de la defensa metálica que se instale ha sido probada de acuerdo con las Normas

establecidas en el RTSCV vigente.

La interventoría debe exigir al constructor, el certificado de conformidad acorde al artículo 8 del RTSCV expedido por el Ministerio de Transporte.

La interventoría llevara a cabo las verificaciones de calidad establecidas en el Anexo C de la Metodología para el Diseño, Selección e Instalación de Sistemas de Contención, así como cualquier normativa que lo complemente, adicione o sustituya.

El interventor debe medir, para efectos de pago, las cantidades de obra correctamente ejecutadas.

El plan de calidad y el plan de inspección, medición y ensayo, son de obligatorio cumplimiento tal como se encuentra expresado en el numeral 103.2 del artículo 103 "Responsabilidades especiales del constructor" de Especificaciones Generales.

En todos los casos el interventor, deberá exigir el cumplimiento del RTSCV y la MDSISCV y/o aquellas que las modifiquen adicionen o sustituyan, atendiendo las disposiciones del Ministerio de Transporte que se encuentren vigentes.

730.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

730.5.2.1 Calidad de los materiales

- El interventor se debe abstener de aceptar sistemas de contención vehicular que incumplan las exigencias del Reglamento Técnico y la Metodología de Diseño expedidos por el Ministerio de Transporte.
- El terminado de la lámina debe ser de óptima calidad y razonablemente liso y estar exento de imperfecciones claramente apreciables a simple vista que puedan influir sobre la resistencia a lacorrosión de la lámina, tales como ampollas o inclusiones de material vegetal, cenizas o sales de flujo; tampoco será admisible la presencia de terrones, rebabas o acumulaciones de zinc que puedan interferir con el empleo específico del material galvanizado.
- El aspecto gris oscuro mate de la totalidad o de parte del recubrimiento de los elementos, así como las manchas que no sean eliminables por limpieza con un paño seco, deben ser motivo de rechazo.
- El interventor debe rechazar defensas alabeadas o deformadas.
- También se debe verificar propiedades de los componentes del sistema de contención como espesor de recubrimiento, composición química y características mecánicas los cuales deben cumplir con los requerimientos mínimos establecidos en las especificaciones técnicas de materiales según las referencias para las normas EN 1317 o MASH relacionadas en la MDSISCV y RTSCV.

730.5.2.2 Tolerancias

- Las tolerancias estarán conforme a lo establecido en los detalles constructivos y planos de instalación de la defensa suministrados por el productor o proveedor del sistema de contención.
- Se deben realizar mediciones de la geometría de cada uno de los componentes del Sistema de Contención Vehicular, y compararlos con las dimensiones especificadas en la descripción técnica del sistema. No se aceptarán partes que difieran en más de

un 2 % en cualquiera de sus dimensiones. Debe ponerse especial cuidado al espesor, largo y ancho de cada componente del sistema de contención.
- En relación con otras dimensiones, tales como la separación entre postes y la distancia de la defensa al borde del pavimento, queda a criterio del interventor aceptar o no tolerancias.

Todas las deficiencias que excedan las tolerancias establecidas para el respectivo Sistema de Contención deben ser corregidas por el constructor bajo su propia cuenta y riesgo, y aprobadas por el interventor.

En cualquier caso, además de lo indicado en esta especificación, se deberá cumplir con las consideraciones establecidas en la MDSISCV y/o indicadas por el productor o proveedor del sistema.

730.6 Medida

730.6.1 Defensas metálicas

La unidad de medida para las defensas metálicas instaladas debe ser el metro (m), aproximado al decímetro (dm), de acuerdo con los planos, con esta especificación y aprobadas por el interventor. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación definida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

La medida se debe efectuar a lo largo de la línea central de la defensa, entre los centros de los postes de fijación extremos.

730.6.2 Terminales de barrera

- Las terminales absorbentes de energía (TAE) se deben medir por unidad (u) para cada clase especificada e instalada.
- Las terminales atenuadoras de impacto (TAI) se deben medir por unidad (u) para cada clase especificada e instalada.
- Las terminales de barrera abatidas y empotradas se deben medir por metro (m), para cada clase especificada e instalada.
- Las terminales de barrera empotradas en talud se deben medir por metro (m), para cada clase especificada e instalada.

No se deben medir defensas ni terminales de barrera que se hayan instalado por fuera de los límites autorizados por el interventor.

730.6.3 Amortiguadores de impacto, tenedores u otros aditamentos especiales

Estos elementos especiales se deben medir por unidad (u), para cada tipo especificado e instalado.

730.7 Forma de pago

El pago se debe hacer al respectivo precio unitario del contrato, por toda defensa metálica suministrada e instalada aprobada por el interventor y teniendo en cuenta el nivel de contención del sistema. El precio unitario debe cubrir todos los costos de suministro, transporte, manejo, almacenamiento, desperdicios e instalación de los elementos. Igualmente, debe considerar la excavación, el relleno, el cargue, el transporte y la disposición de los materiales sobrantes de ella. También se debe considerar la señalización preventiva de la vía durante la ejecución de los trabajos y, en general, todo costo adicional relacionado con la correcta ejecución de los trabajos especificados.

Además, todos los precios unitarios deben incluir la administración, los imprevistos y la

utilidad del constructor.

730.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
730.1	Defensa metálica	Metro (m)
730.2	Terminal de barrera abatida y esviada	Metro (m)
730.3	Terminal de barrera empotrada en talúd	Metro (m)
730.4	Terminal absorbente de energía (TAE)	Unidad (u)
730.5	Atenuadores de impacto (TAI)	Unidad (u)
730.6	Elemento especial tipo	Unidad (u)

Nota 1: se debe establecer un ítem de pago diferente para cada tipo de elemento especial de defensa metálica que se especifique en el contrato.

Nota 2: se podrá generar una especificación particular en caso de que se requiera. Los sistemas de contención vehicular que se ejecuten bajo una especificación particular deben cumplir las disposiciones del RTSCV y MDSISCV aplicable.

Nota 3: El ítem de pago tendrá en cuenta el nivel de contención.

Defensas de concreto

Artículo 731 – 22

Los Sistemas de Contención Vehicular que trata este artículo deberán cumplir con lo establecido en el Reglamento Técnico Aplicable a Sistemas de Contención Vehicular (RTSCV) adoptado mediante Resolución 20223040044065 de 29 de julio de 2022 y la Metodología para el Diseño, Selección e Instalación de Sistemas de Contención Vehicular (MDSISCV) adoptada mediante Resolución 20243040022485 de 21 de mayo de 2024, ambas expedidas por el Ministerio de Transporte. Además, aquellas normas que las sustituyan modifiquen, adicionen o complementen.

El sistema de contención se diseñará de acuerdo con el nivel de contención requerido. Se definen cuatro niveles de contención clasificados en las normas EN1317 y manual MASH, como se relaciona en la siguiente tabla:

Clasificación	EN 1317	MASH
NC1 - Normal	N2	TL2
NC2 – Medio	H1, L1	TL3
NC3 – Alto	H2, L2, H3, L3	TL4
NC4 – Muy alto	H4a, H4b, L4a, L4b	TL5, TL6

Fuente: Metodología para el Diseño, Selección e Instalación de Sistemas de Contención Vehicular – ANSV 2024.

731.1 Descripción

Este trabajo radica en la fabricación, suministro, almacenamiento, transporte e instalación de defensas de concreto en separadores viales o al costado de la vía, en los tramos indicados en los planos del proyecto verificados y/o establecidos por el interventor, mediante criterios técnicos que garanticen su eficacia y la seguridad de los usuarios de la vía.

Las defensas de concreto tienen como finalidad la contención y redirección de los vehículos, de tal manera que puedan continuar en la dirección del tráfico, sin volcarse.

El diseño del sistema de contención estará conforme a la Metodología para el Diseño, Selección e Instalación de Sistemas de Contención Vehicular y/o demás disposiciones vigentes que al respecto establezca el Ministerio de Transporte.

731.2 Materiales

731.2.1 Concreto

Las defensas de concreto se deben elaborar con un concreto que cumpla con lo señalado en el artículo 630 “Concreto Estructural” de las Especificaciones Generales. Los materiales empleados deben garantizar que cumplan los requisitos técnicos del Reglamento Técnico aplicable a Sistemas de Contención Vehicular adoptado por el Ministerio de Transporte, según los niveles de contención requeridos y la MDSISCV según aplique.

731.2.2 Refuerzo

La armadura de refuerzo debe cumplir con lo indicado en el artículo 640 “Acero de refuerzo” de las Especificaciones Generales y en los criterios de diseño establecidos en la MDSISCV vigente.

731.3 Equipo

En relación con el equipo requerido para preparar el concreto, se debe aplicar lo pertinente del numeral 630.3 del artículo 630 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras.

Se debe disponer del equipo necesario para la correcta y oportuna ejecución de los trabajos especificados.

731.4 Ejecución de los trabajos

731.4.1 Localización

Las defensas se deben instalar en separadores viales o al costado de la vía en los tramos señalados en los planos del proyecto, verificados y aprobados por el interventor, sin exceder las tolerancias indicadas en el numeral 731.5.2.2 y los requisitos de la MDSISCV vigente.

731.4.2 Preparación de la superficie de colocación

Los módulos se pueden instalar en forma individual, sobrepuestos sobre la capa de rodadura del pavimento, en los lados, en el medio, o en las bermas de la vía, asegurando que los módulos se enganchen entre sí.

En caso de que las defensas de concreto no se coloquen sobre la capa de rodadura del pavimento, estas se deben apoyar sobre una capa de veinte centímetros (20 cm) de espesor de hormigón, o un solado artificial o una capa estabilizada convenientemente compactada y nivelada, de tal forma que garantice que, una vez colocada la defensa, el desnivel de la superficie superior de la misma, medida en la dirección del eje de la carretera, sea inferior a lo especificado en el numeral 731.5.2.2. La superficie de apoyo debe ser firme, homogénea, uniforme y libre de protuberancias.

731.4.3 Fabricación y construcción de las defensas de concreto

Las defensas de concreto fundidas in situ y prefabricadas, deben cumplir las dimensiones establecidas para perfil tipo New Jersey, perfil tipo F y muro liso de acuerdo a lo indicado en la MDSISCV adoptada por el Ministerio de Transporte.

La altura mínima para las defensas de concreto debe ser ochocientos diez milímetros (810 mm); esta puede variar dependiendo del nivel de contención para el cual fueron ensayadas las barreras, de ahí la importancia de ceñirse a las especificaciones del diseñador, fabricante o proveedor de la barrera certificada, así como a sus parámetros de instalación (anclajes). Los elementos tipo muro liso podrán tener alturas comprendidas entre los 810 – 1070 mm.

731.4.3.1 Defensa en concreto fundidas in situ

Las defensas en concreto fundidas in situ, deben cumplir con los requerimientos establecidos en la MDSISCV.

La fabricación de las defensas de concreto se debe hacer de acuerdo con las partes pertinentes de los artículos 630 “Concreto estructural” y 640 “Acero de refuerzo” de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras.

El acero de refuerzo tanto longitudinal como transversal, debe ser el especificado en los diseños; si no existe detalle o diseño de dicho acero, el constructor debe entregar la propuesta de la cantidad y posición de dicho acero para revisión y aprobación de la interventoría.

Las juntas deben proveerse según lo indicado en los planos del proyecto o como lo autorice el interventor. Se pueden utilizar módulos de tres metros (3 m) de largo o de mayor longitud si así lo establece el diseño.

A las defensas de concreto elaboradas in situ, se les debe garantizar un correcto curado mediante el empleo de productos y procedimientos adecuados, según los numerales 630.2.3 y 630.4.12 del artículo 630 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras.

731.4.3.2 Defensa en concreto prefabricadas

Se pueden utilizar módulos hasta de tres metros (3 m) de largo, o de mayor longitud conforme las disposiciones del productor o proveedor. La sección transversal y demás detalles para el enganche y drenaje se deben ajustar a las dimensiones definidas en los planos del proyecto en los criterios de diseño y demás requerimientos establecidos. Las defensas en concreto prefabricadas deben cumplir las disposiciones del RTSCV.

731.4.3.3 Transiciones

Se implementarán secciones de transición que permitan un cambio gradual de comportamiento en la unión longitudinal de dos barreras de contención que contemplen diferencias significativas de rigidez y de geometría con distinto comportamiento (nivel de contención o clase de deformación). Para estos elementos se tendrán en cuenta las disposiciones establecidas en el RTSCV y MDSISCV. En caso de requerir una especificación particular, se podrá implementar siempre y cuando se cumpla con las disposiciones normativas relacionadas.

731.4.3.4 Consideraciones adicionales

Para el inicio y el término de las barreras, se deben construir módulos especiales de altura variable, con sus respectivas piezas de enganche si fuera el caso, de modo que la barrera disminuya paulatinamente su altura desde el borde superior hasta doscientos milímetros (200 mm), medidos sobre el piso, en dieciocho metros (18 m) de longitud. Cuando sea posible, estos tramos extremos deben ser además curvados. En el caso que la barrera sea corta para realizar la transición respectiva en dieciocho metros (18 m), esta se debe realizar de forma gradual, en una menor longitud, hasta alcanzar la altura especificada, de acuerdo con lo dispuesto en los criterios de diseño establecidos en la metodología.

Las barreras deben tener perforaciones en su base que permitan el adecuado drenaje de las aguas superficiales de la calzada, según lo definido en los criterios de diseño.

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

Adicionalmente, se deben instalar Captafaros, teniendo en cuenta las indicaciones del Manual de Señalización Vial vigente y el artículo 740 “Captafaros” de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras, o pintar la barrera de conformidad con las especificaciones particulares del proyecto o lo establecido por el interventor.

Las juntas deben tener un tratamiento con materiales adecuados y aceptados por el interventor.

731.4.4 Plan de Manejo de Tránsito (PMT)

El constructor debe contar con un PMT e instalar todos los elementos de señalización preventiva en la zona de los trabajos, de acuerdo con lo establecido en el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte, los cuales deben garantizar la seguridad permanente tanto del personal y de los equipos de construcción, como de los usuarios y transeúntes, durante las veinticuatro horas (24 h) del día.

Para actividades que no impliquen el cierre total de la vía, el interventor debe dar su visto bueno previo a la presentación de un PMT. Para casos que impliquen el cierre total de la vía, se deben tramitar los permisos correspondientes ante la autoridad competente y se debe presentar el PMT aprobado por el interventor.

731.4.5 Manejo ambiental

En adición a los aspectos generales indicados en el artículo 106 “Aspectos ambientales”, de las Especificaciones Generales, todas las labores requeridas para la instalación y/o fabricación de defensas de concreto, se deben realizar teniendo en cuenta lo determinado en las normas y disposiciones vigentes sobre la conservación del ambiente y los recursos naturales.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación, deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades deben estar incluidas en los costos del proyecto; por tanto, no deben ser objeto de reconocimiento directo en el contrato.

731.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

731.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y el funcionamiento del equipo de construcción.
- Comprobar que los materiales utilizados cumplan las exigencias de la presente especificación y las indicadas por el diseñador del sistema para el caso de los elementos fabricados in situ.
- Revisar que la superficie de colocación sea correcta y que la defensa se construya e instale de acuerdo con los planos, esta especificación y las instrucciones del fabricante, en el caso de elementos prefabricados.
- El plan de calidad y el plan de inspección, medición y ensayo son de obligatorio cumplimiento tal como se encuentra expresado en el numeral 103.2 del artículo 103, “Responsabilidades especiales del constructor” de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras.

En el caso de las barreras prefabricadas y

comercializadas, la interventoría debe exigir al constructor, el certificado de conformidad acorde al artículo 8 del Reglamento Técnico expedido por el Ministerio de Transporte, establecido en la Resolución No. 20223040044065 del 29 de julio del 2022, o aquella que la modifique, adicione, sustituya o complemente.

El interventor debe medir, para efectos de pago, las cantidades de obra correctamente ejecutadas.

En todos los casos el interventor, deberá exigir el cumplimiento del RTSCV y la MDSISCV según aplique y/o aquellas que las modifiquen adicionen o sustituyan, atendiendo las disposiciones del Ministerio de Transporte.

731.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancia

731.5.2.1 Calidad de los materiales

En lo referente a la calidad del cemento, agua, agregados y eventuales aditivos y productos químicos de curado, se deben aplicar los requisitos planteados en el artículo 630 “Concreto Estructural” de las Especificaciones Generales, numerales 630.5.1.1, 630.5.1.2, 630.5.1.3 y 630.5.1.4.

En relación con la calidad de la mezcla, se debe aplicar lo descrito en el numeral 630.5.2 del mismo artículo. Si las resistencias de los núcleos tomados de la obra ejecutada no resultan satisfactorias, el interventor debe rechazar el tramo representado por dichos núcleos y el constructor debe demoler la obra ejecutada, remover los escombros, cargarlos, transportarlos y depositarlos en sitios aprobados por el interventor y debe proceder a reconstruir las defensas de concreto cumpliendo con lo indicado en el presente artículo, bajo su propia cuenta y riesgo.

En relación con la calidad del acero para el refuerzo, se deben aplicar los criterios del artículo 640 de las Especificaciones Generales.

731.5.2.2 Tolerancias en dimensiones

En relación con la calidad del producto terminado, no se deben aceptar defensas de concreto que presenten desperfectos de alineamiento o cuya sección transversal presente variaciones, en ancho o altura, superiores a diez milímetros (10 mm), respecto de lo señalado en los planos.

El alineamiento de la barrera no debe desviarse del de diseño en más o menos quince milímetros (± 15 mm), en ninguno de sus puntos, ni en más de tres milímetros (3 mm) en tres metros (3 m), cualquiera que sea el sistema constructivo.

El nivel del plano de remate debe tener una tolerancia de más o menos cinco milímetros (± 5 mm) respecto del nivel de diseño.

Las tolerancias varían para cada dimensión: para el largo, más o menos diez milímetros (± 10 mm) en los tramos de tres metros (3 m) y más o menos cinco milímetros (± 5 mm) en los tramos de un metro (1 m); para el ancho, más o menos cinco milímetros (± 5 mm) en el plano superior y más o menos diez milímetros (± 10 mm) en el plano de rasante; para la altura, más o menos diez milímetros (± 10 mm), de acuerdo con lo establecido en los criterios de diseño establecidos en la metodología.

En caso de modificación de la cota de la rasante de la vía, el constructor debe garanti-

zar las dimensiones especificadas de la defensa de concreto.

Todas las deficiencias que excedan las tolerancias mencionadas, deben ser corregidas por el constructor bajo su propia cuenta y riesgo, previa aprobación por el interventor.

731.5.2.3 Calidad del producto terminado

El interventor se debe abstener de aceptar sistemas de contención vehicular que incumplan las exigencias del RTSCV y MDSISCV según aplique.

La interventoría debe exigir al constructor el certificado de conformidad, de acuerdo con lo estipulado en el artículo 8 del Reglamento Técnico expedido por el Ministerio de Transporte, establecido en la Resolución No. 20223040044065 del 29 de julio de 2022, o aquella que la modifique, adicione, sustituya o complemente.

La interventoría llevara a cabo las verificaciones de calidad establecidas en el Anexo C de la metodología para el diseño, selección e instalación de sistemas de contención, así como cualquier normativa que lo complemente, adicione o sustituya.

Para el control de calidad de defensas fabricadas in situ, se debe considerar como lote el menor valor que resulte entre quinientos metros (500 m) y la fracción construida diariamente. El control de la regularidad de la superficie superior de la barrera, medida en la dirección del eje de la carretera, se debe efectuar mediante una regla de tres metros (3 m) sobre la totalidad de la obra. No se deben admitir desniveles superiores a cinco milímetros (5 mm), en más del treinta por ciento (30 %) del tramo tomado, ni de diez milímetros (10 mm) en ningún punto.

En barreras prefabricadas, se debe tomar un lote constituido por cinco (5) elementos cualesquiera, sobre los que se comprueba que las barreras no presenten rebabas que sean indicio de pérdidas graves de lechada, ni más de tres (3) hormigueros en una zona de diez decímetros cuadrados (10 dm2) de paramento, ni hormiguero alguno que deje a la vista las armaduras de refuerzo. Tampoco se deben presentar caras deterioradas en las que el concreto aparezca deslavado, ni señales de discontinuidad después de fundido el concreto. Igualmente, no se deben aceptar barreras con fisuras de más de cero coma un milímetro (0,1 mm) de ancho, o con fisuras de retracción de más de dos centímetros (2 cm) de longitud.

Todas las deficiencias que excedan las tolerancias de calidad del producto terminado deben ser corregidas por el constructor bajo su propia cuenta y riesgo, previa aprobación del interventor.

731.6 Medida

La unidad de medida debe ser el metro (m), aproximado al decímetro (dm), para toda defensa instalada de acuerdo con los planos y esta especificación, una vez recibida y aprobada por el interventor. La medida se debe efectuar a lo largo de la línea central de la defensa. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

Cuando se indique en los planos del proyecto el uso de aditamentos especiales, la medida y pago debe incluir dentro del valor del metro de defensa de concreto, de acuerdo con los planos del proyecto.

731.7 Forma de pago

El pago se debe hacer al respectivo precio unitario del contrato, por toda defensa de concreto suministrada e instalada y aprobada por el interventor y teniendo en cuenta el nivel de contención del sistema. El precio unitario debe cubrir todos los costos de fabricación, suministro, transporte, manejo, almacenamiento, desperdicios e instalación de los materiales necesarios para la ejecución de los trabajos, el acero, el concreto, el material para las juntas, los aditamentos especiales y demás accesorios requeridos. También, debe incluir la preparación de la superficie de colocación, el cargue, el transporte y la disposición de los materiales sobrantes de ella, la señalización preventiva de la vía durante la ejecución de los trabajos y, en general, todo costo adicional relacionado con la correcta ejecución de los trabajos especificados.

El precio unitario debe comprender, también, los costos de administración, imprevistos y la utilidad del constructor.

731.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
731.1	Defensa de concreto fundida in situ	Metro (m)
731.2	Defensa de concreto prefabricada	Metro (m)

Nota 1: se podrá generar una especificación particular en caso de que se requiera. Los sistemas de contención que se ejecuten bajo una especificación particular deben cumplir las disposiciones del RTSCV y MDSISCV según aplique.

Barreras metálicas con rodillos

Artículo 732 – 22

Los Sistemas de Contención Vehicular que trata este artículo deberán cumplir con lo establecido en el Reglamento Técnico Aplicable a Sistemas de Contención Vehicular (RTSCV) adoptado mediante Resolución 20223040044065 de 29 de julio de 2022 y la Metodología para el Diseño, Selección e Instalación de Sistemas de Contención Vehicular (MDSISCV) adoptada mediante Resolución 20243040022485 de 21 de mayo de 2024, ambas expedidas por el Ministerio de Transporte. Además, aquellas normas que las sustituyan modifiquen, adicionen o complementen.

El sistema de contención se diseñará de acuerdo con el nivel de contención requerido. Se definen cuatro niveles de contención clasificados en las normas EN1317 y manual MASH, como se relaciona en la siguiente tabla:

Clasificación	EN 1317	MASH
NC1 - Normal	N2	TL2
NC2 – Medio	H1, L1	TL3
NC3 – Alto	H2, L2, H3, L3	TL4
NC4 – Muy alto	H4a, H4b, L4a, L4b	TL5, TL6

Fuente: Metodología para el Diseño, Selección e Instalación de Sistemas de Contención Vehicular – ANSV 2024

732.1 Descripción

Este trabajo consiste en el suministro, alma-cenamiento, transporte e instalación de barreras de contención vehicular metálicas que incorporan a su estructura elementos tipo rodillos, como parte del sistema de contención a lo largo de los costados de la carretera, en los tramos indicados en los planos del proyecto verificados y/o establecidos por el interventor mediante criterios técnicos que garantices su eficiencia. Las barreras de contención vehicular metálicas con rodillos tienen como finalidad la contención, redirección y mitigación de daños a los vehículos, así como la disminución de la severidad de las lesiones a los usuarios de la vía.

El diseño del sistema de contención estará conforme a la Metodología para el Diseño, Selección e Instalación de Sistemas de Contención Vehicular y/o demás disposiciones vigentes que establezca el Ministerio de Transporte al respecto.

732.2 Materiales

Los materiales que conformen el sistema de contención vehicular deberán cumplir con los estándares en cuanto a recubrimiento, composición química, características mecánicas y demás requerimientos, conforme las normas de referencia (EN1317 y MASH) establecidas en la Metodología para el Diseño, Selección e Instalación de Sistemas de Contención Vehicular. El producto debe estar libre de defectos tales como protuberancias, regiones afiladas y obstáculos.

Para los rodillos absorbentes de impactos, el estándar aplicable será la norma KS M ISO7214/845/6522

732.2.1 Características de la defensa

La forma de la defensa estará conforme a la configuración establecida o tipo de perfiles especificados por los productores y proveedores del sistema de contención.

Los cojinetes, en todos los casos, deben estar bordeados por cintas que garanticen el nivel de rendimiento de alta intensidad y cumplan con ASTM D4956 Tipo III.

732.2.2 Terminal de las defensas metálicas con rodillos

Los sistemas de contención vial incorporan elementos especializados en los puntos de inicio y fin de la instalación. En la Figura 732-1, se puede detallar un ejemplo del diseño del terminal que se maneja en este sistema que, al tener la protección de los extremos, evita que los elementos longitudinales de este sistema se incrusten en el vehículo y reduzca la probabilidad de que sea lanzado, se vuelque o desacelere de forma peligrosa al impactar contra el extremo del sistema. Los planos de detalle del proyecto deben contener las precisiones de estos elementos.

Figura 732-1 Modelo ejemplo de Terminal del Sistema de Barrera de Rodillos – Dimensiones ejemplo en milímetros

732.2.3 Amortiguadores de impacto, tenedores u otros aditamentos especiales

Estos elementos especiales, en caso de requerirse, deben ser objeto de una especificación particular y deben cumplir con los requisitos del Reglamento Técnico aplicable a Sistemas de Contención Vehicular y la Metodología vigentes.

732.3 Equipo

Se debe disponer del equipo necesarios para la correcta y oportuna ejecución de los trabajos especificados, dentro de los cuales se podrá incluir barras de acero, palas, llaves fijas o de expansión y/o los demás equipos que se consideren por los productores y proveedores del sistema de contención vehicular con el fin de garantizar la correcta instalación del sistema de contención, verificados y aprobados por el inventor.

732.4 Ejecución de los trabajos

732.4.1 Localización

La localización y ubicación del sistema de contención se realizará conforme a las disposiciones y criterios de diseño establecidos en la metodología para el diseño, selección e instalación de los sistemas de contención vehicular, así como en cualquier normativa que lo complemente o sustituya.

La longitud mínima de los tramos de defensa se determinará de acuerdo con los ensayos a escala real realizados al sistema y/o según las especificaciones del fabricante.

Antes de iniciar la instalación de los postes, es

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

necesario demarcar la ubicación en donde van a ser insertados, estas dimensiones deben ser acordes a lo especificado por el fabricante y proveedores con el fin de garantizar la correcta instalación del sistema de contención.

732.4.2 Excavación

En los sitios escogidos para enterrar los postes, se efectúan las excavaciones de sección transversal ligeramente mayor que la del poste y/o atendiendo a lo especificado por los productores y proveedores del sistema de contención.

732.4.3 Colocación del poste

La colocación del poste estará sujeta a las especificaciones establecidas por los productores y proveedores del sistema de contención, de tal manera que el poste cumpla con las condiciones de verticalidad y empotrado que permita garantizar el nivel de contención requerida.

Se deberá tener en consideración las recomendaciones establecidas en el anexo H de la MDSISCV, respecto a la adecuación del terreno y criterios de instalación.

Se debe nivelar la parte superior o sobresaliente de los postes, de manera tal, que sus superficies superiores queden alineadas para que al adosar los tramos de defensa no se presenten altibajos en esta.

732.4.4 Instalación de la defensa

El procedimiento de instalación de las defensas metálicas debe realizarse de acuerdo con los detalles de los planos, siguiendo lo especificado en el manual de instalación proporcionado por el proveedor o productor del sistema de contención. El interventor adelantara las verificaciones.

732.4.5 Empalmes

Los empalmes de los diversos tramos de defensa se realizan de manera que brinden la suficiente rigidez estructural y que los traslapos queden en la dirección del movimiento del tránsito del carril adyacente y teniendo presente las especificaciones establecidas por los productores y proveedores del sistema de contención.

La unión de las láminas se debe realizar teniendo la precaución de que la cabeza redonda del tornillo se coloque en la cara de la defensa que enfrenta el tránsito.

732.4.6 Terminales de barrera

En los extremos de las defensas metálicas se deben instalar secciones terminales, de acuerdo con lo precisado en el diseño del sistema de contención atendiendo las recomendaciones de la MDSISCV vigente.

Estos terminales podrán ser:

- Empotrado en talud de corte.
- Abatido y esviado.
- Terminal absorbente de energía (TAE)
- Atenuadores de impacto (TAI).

Para las terminales abatidas y enterradas, se debe realizar una transición de la altura de la barrera hasta que ésta alcance el nivel del suelo y pueda enterrarse para el anclaje, cumpliendo con las relaciones de esviaje y demás consideraciones establecidas en la MDSISCV vigente.

Este tipo de terminal no se puede utilizar para velocidades superiores a setenta kilómetros

ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022

por hora (70 km/h). Para velocidades superiores el diseñador determinará que tipología de terminal implementar con el fin de salvaguardar las seguridad e integridad de los usuarios de la vía.

Las terminales empotradas en taludes se deben anclar en los taludes en corte, para alejar el extremo de la barrera del borde de la vía. El talud debe ser empinado o vertical (con inclinación mayor de uno horizontal cinco vertical (1H : 5V), con una superficie suave (no rocosa) para redireccionar el vehículo sin provocar el enganchamiento o vuelco del mismo.

La terminal absorbente de energía (TAE) y atenuadores de impacto (TAI) deben cumplir con los requisitos del RTSCV y MDSISCV vigentes.

732.4.7 Transiciones

Se implementarán secciones de transición que permitan un cambio gradual de comportamiento en la unión longitudinal de dos barreras de contención que contemplen diferencias significativas de rigidez y de geometría con distinto comportamiento (nivel de contención o clase de deformación). Para estos elementos se tendrán en cuenta las disposiciones establecidas en el RTSCV y MDSISCV vigentes. En caso de requerir una especificación particular, se podrá implementar siempre y cuando se cumpla con las disposiciones normativas relacionadas.

732.4.8 Plan de Manejo de Tránsito (PMT)

El constructor debe contar con un PMT e instalar todos los elementos de señalización preventiva en la zona de los trabajos, de acuerdo con lo establecido en el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte, los cuales deben garantizar la seguridad permanente tanto del personal y de los equipos de construcción, como de los usuarios y transeúntes, durante las veinticuatro horas (24 h) del día.

Para actividades que no impliquen el cierre total de la vía, el interventor debe dar su visto bueno previo a la presentación de un PMT. Para casos que impliquen el cierre total de la vía, se deben tramitar los permisos correspondientes ante la autoridad competente y se debe presentar el PMT aprobado por el interventor.

732.4.9 Limitaciones en la ejecución

No se debe permitir efectuar excavaciones ni instalar defensas metálicas en condiciones de lluvia.

Todas las determinaciones referentes a los trabajos de defensas metálicas deben ser tomadas considerando la protección del medio ambiente y las disposiciones vigentes sobre el particular.

732.4.10 Manejo ambiental

Adicional a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras, todas las labores requeridas para la instalación de defensas metálicas, se deben realizar teniendo en cuenta lo puntualizado en las normas y disposiciones vigentes sobre la conservación del ambiente y los recursos naturales.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación deben

acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades se deben incluir en los costos del proyecto; por tanto, no debe ser objeto de reconocimiento directo en el contrato.

732.5 Condiciones para el recibo del trabajo

732.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos se deben adelantar los siguientes controles principales donde el interventor deberá exigir la aplicación del RTSCV y la MDSISCV expedidos por el Ministerio de Transporte:

- Revisar el estado y el funcionamiento del equipo utilizado por el constructor.
- Verificar que la excavación sea correcta y que la defensa se instale de acuerdo con los planos y las instrucciones del productor y proveedor del sistema de contención.

El interventor debe verificar que el modelo de defensa que se instale ha sido ha sido probada de acuerdo con las normas establecidas en el RTSCV adoptado por el Ministerio de Transporte.

La interventoría debe exigir al constructor el certificado de conformidad, de acuerdo con lo estipulado en el artículo 8 del Reglamento Técnico expedido por el Ministerio de Transporte, establecido en la Resolución No. 20223040044065 del 29 de julio de 2022, o aquella que la modifique, adicione, sustituya o complemente.

La interventoría debe llevar a cabo las verificaciones de calidad establecidas en el Anexo C de la metodología para el diseño, selección e instalación de sistemas de contención, así como en cualquier normativa que lo complemente, adicione o sustituya.

El interventor debe medir, para efectos de pago, las cantidades de obra correctamente ejecutadas.

El plan de calidad y el plan de inspección, medición y ensayo, son de obligatorio cumplimiento tal como se encuentra expresado en el numeral 103.2 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor.

En todos los casos el interventor, deberá exigir el cumplimiento del RTSCV y la MDSISCV y/o aquellas que las modifiquen adicionen o sustituyan, atendiendo las disposiciones del Ministerio de Transporte.

732.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancia

732.5.2.1 Calidad de los materiales

- El interventor se debe abstener de aceptar sistemas de contención vehicular que incumplan las exigencias del Reglamento Técnico y la Metodología de Diseño expedidos por el Ministerio de Transporte.
- Componentes metálicos: Una vez realizada la instalación, el interventor debe hacer la verificación de los materiales de los componentes metálicos instalados, inspeccionar que no se encuentren golpeados, doblados, agrietados. En caso del deterioro de los materiales, se deben instalar componentes nuevos y que no presenten defectos como los descritos anteriormente.

  El terminado de la lámina debe ser de

óptima calidad y razonablemente liso y estar exento de imperfecciones claramente apreciables a simple vista que puedan influir sobre la resistencia a la corrosión de la lámina, por tanto, no se aceptan secciones con defectos tales como ampollas, cenizas, rebabas o acumulaciones de zinc que puedan interferir con el empleo específico del material galvanizado.

- El aspecto gris oscuro mate de la totalidad o de parte del recubrimiento de los elementos, así como las manchas que no sean eliminables por limpieza con un paño seco, deben ser motivo de rechazo.
- El interventor debe rechazar defensas alabeadas o deformadas.
- Una vez realizada la instalación de los barriles, el interventor debe verificar que no haya agujeros y que cada barril gire libremente. En caso del deterioro de los materiales, se deben instalar componentes nuevos que no presenten defectos como los descritos anteriormente.
- También se debe verificar propiedades de los componentes del sistema de contención como espesor de recubrimiento, composición química y características mecánicas los cuales deben cumplir con los requerimientos mínimos establecidos en las especificaciones técnicas de materiales según las referencias para las normas EN 1317 o MASH relacionadas en el RTSCV y la MDSISCV.

732.5.2.2 Tolerancias

- Las tolerancias estarán conforme a lo establecido en los detalles constructivos y planos de instalación de la defensa suministrados por el productor o proveedor del sistema de contención.
- Se deben realizar mediciones de la geometría de cada uno de los componentes del Sistema de Contención Vehicular, y compararlos con las dimensiones especificadas en la descripción técnica del sistema. No se aceptarán partes que difieran en más de un 2 % en cualquiera de sus dimensiones. Debe ponerse especial cuidado al espesor, largo y ancho de cada componente del sistema de contención.
- En relación con otras dimensiones, tales como la separación entre postes y la distancia de la defensa al borde del pavimento, queda a criterio del interventor aceptar o no tolerancias.

Todas las deficiencias que excedan las tolerancias mencionadas deben ser corregidas por el constructor, bajo su propia cuenta y riesgo, y aprobadas por el interventor.

En cualquier caso, además de lo indicado en la presente especificación, se deberá cumplir con lo aplicable conforme las consideraciones establecidas en la MDSISCV y/o indicadas por el productor o proveedor del sistema.

732.6 Medida

732.6.1 Defensas metálicas

La unidad de medida para las defensas metálicas instaladas es el metro (m), aproximado al decímetro (dm), de acuerdo con los planos, la presente especificación y recibidas a satisfacción por el interventor. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

La medida se debe efectuar a lo largo de la línea central de la defensa, entre los centros de los postes de fijación extremos.

732.6.2 Terminales de barrera

- Las terminales absorbentes de energía (TAE) se deben medir por unidad (u) para cada clase especificada e instalada.

- Las terminales atenuadoras de impacto (TAI) se deben medir por unidad (u) para cada clase especificada e instalada.

- Las terminales de barrera abatidas y empotradas se deben medir por metro (m), para cada clase especificada e instalada.

- Las terminales de barrera empotradas en talud se deben medir por metro (m), para cada clase especificada e instalada.

No se deben medir defensas ni terminales de barrera que se hayan instalado por fuera de los límites autorizados por el interventor.

732.6.3 Amortiguadores de impacto, tenedores u otros aditamentos especiales

Estos elementos especiales se deben medir por unidad (u), para cada tipo especificado e instalado.

732.7 Forma de pago

El pago se debe hacer al respectivo precio unitario del contrato, por toda defensa metálica suministrada e instalada a satisfacción del interventor y teniendo en cuenta el nivel de contención del sistema. El precio unitario debe cubrir todos los costos de suministro, transporte, manejo, almacenamiento, desperdicios e instalación de los elementos. Igualmente debe considerar la excavación, el relleno, el cargue,el transporte y la disposición de los materiales sobrantes de ella. También se considerala señalización preventiva de la vía durante la ejecución de los trabajos y, en general, todo costo adicional relacionado con la correctaejecución de las labores especificadas.

El precio unitario incluye la importación, el traslado y la instalación en sitio establecido.

Además, todos los precios unitarios deben incluir la administración, los imprevistos y la utilidad del constructor.

732.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
732.1	Defensa metálica con rodillos	Metro (m)
732.2	Terminal de barrera abatida y esviada	Metro (m)
732.3	Terminal de barrera empotrada en talúd	Metro (m)
732.4	Terminal absorbente de energía (TAE)	Metro (m)
732.5	Atenuadores de impacto (TAI)	Unidad (u)
732.6	Elemento especial tipo	Unidad (u)

Nota 1: se debe establecer un ítem de pago diferente para cada tipo de elemento especial de defensa metálica que se especifique en el contrato.
Nota 2: se podrá generar una especificación particular en caso de que se requiera. Los sistemas de contención que se ejecuten bajo una especificación particular deben cumplir las disposiciones del RTSCV y MDSISCV aplicable.
Nota 3: El ítem de pago tendrá en cuenta el nivel de contención

Captafaros

Artículo 740 – 22

740.1 Descripción

Este trabajo consiste en el suministro, almacenamiento, transporte e instalación de dispositivos destinados a la orientación del tránsito automotor en horas de la noche adosados a otros elementos de la vía, como barreras de contención de vehículos (defensas metálicas y/o de hormigón), muros de contención, y en los costados de un túnel. Los captafaros se deben instalar en los sitios y con las dimensiones que indiquen los documentos del proyecto.

740.2 Materiales

El captafaro se debe fabricar en plástico, metal u otro; cuando se fabrican en lámina metálica, esta debe ser mínimo de calibre veinte (20), revestida con una capa de zinc (galvanizada) por ambas caras por inmersión en caliente, en una cuantía mínima de quinientos cincuenta gramos por metro cuadrado (550 g/m^2), incluyendo ambas caras.

Las caras exteriores deben ir revestidas con lámina de material retrorreflectivo tipo III o de características de retrorreflexión superiores NTC 4739 (ASTM D4956). El color del material retrorreflectivo debe ser similar al de la demarcación longitudinal adyacente, pueden ser amarillo, blanco o rojo, para indicar el sentido contrario de circulación, la cual se adhiere al captafaro utilizando el autoadhesivo de este material. En el perímetro o bordes del reflectivo, se debe aplicar un pegante epóxico de secado rápido para sellar la entrada de agua o evitar acciones vandálicas.

Las dimensiones, forma y características del captafaro se deben indicar en los documentos del proyecto, teniendo como referencia los lineamientos exigidos por el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte.

El uso de materiales diferentes al indicado en este numeral para la elaboración de los captafaros, debe requerir la elaboración de una especificación particular.

740.3 Equipo

De acuerdo con el tipo de estructura a demarcar (barreras de contención de vehículos metálicas o de hormigón, muros de contención, y/o en los costados de un túnel), los equipos a utilizar como mínimo son:

- Taladros.
- Llaves fijas o de expansión para tornillos.
- Equipo de soldadura.

740.4 Ejecución de los trabajos

740.4.1 Instalación

Los captafaros se deben instalar sobre las estructuras adyacentes a la superficie de

rodadura (barreras de contención de vehículos metálicas o de hormigón, muros de contención, y/o en los costados de un túnel), con base en lo definido en el estudio de señalización, o lo estipulado por la interventoría.

Los captafaros se deben colocar en la parte cóncava de la barrera de contención, mediante el uso de elementos de sujeción, tales como tornillos, pernos o remaches, que garanticen su estabilidad y duración.

La separación entre captafaros debe variar con la curvatura de la sección de la vía donde se deben instalar, teniendo en cuenta el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte.

740.4.2 Plan de Manejo de Tránsito (PMT)

El constructor debe contar con un PMT e instalar todos los elementos de señalización preventiva en la zona de los trabajos, de acuerdo con lo establecido en el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte, los cuales deben garantizar la seguridad permanente tanto del personal y de los equipos de construcción, como de los usuarios y transeúntes, durante las veinticuatro horas (24 h) del día.

Para actividades que no impliquen el cierre total de la vía, el interventor debe dar su visto bueno previo a la presentación de un PMT. Para casos que impliquen el cerramiento total de la vía, se deben tramitar los permisos correspondientes ante la autoridad competente y se debe presentar el PMT aprobado por el interventor.

740.4.3 Manejo ambiental

En adición a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las labores requeridas para la instalación de captafaros, se deben realizar teniendo en cuenta las normas y disposiciones vigentes sobre la conservación del ambiente y los recursos naturales.

Todas las actividades que se deben ejecutar en cumplimiento a esta especificación, deben acatar lo estipulado en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades deben incluirse en los costos del proyecto; por tanto, no deben ser objeto de reconocimiento directo en el contrato.

740.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

740.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y el funcionamiento del equipo utilizado por el constructor.
- Comprobar que los materiales utilizados cumplan con las exigencias de la presente especificación.
- Supervisar el cumplimiento de todas las medidas requeridas sobre seguridad y medio ambiente.
- Revisar que los trabajos se ejecuten de acuerdo con lo que define el presente artículo.
- Garantizar que si se emplean elementos de sujeción como tornillos, pernos, rema-

ches, entre otros, las perforaciones no deben dañar las estructuras de soporte.
- El plan de calidad y el plan de inspección, medición y ensayo son de obligatorio cumplimiento tal como se encuentra expresado en el numeral 103.2 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor.

La interventoría debe exigir al constructor, el certificado de conformidad expedido por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC), o por un organismo de certificación de productos del país de origen, debidamente acreditado para certificar dichos materiales, aportado por las compañías fabricantes o lo que establezca la Superintendencia de Industria y Comercio en materia de evaluación de la conformidad.

El interventor debe contar, para efectos de pago, los captafaros correctamente elaborados e instalados.

740.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

El interventor únicamente debe aceptar los captafaros elaborados con materiales adecuados y con las dimensiones, forma y características indicadas en los documentos del proyecto, y que hayan sido instalados conforme lo estipula la presente especificación.

740.6 Medida

Los captafaros se deben medir por unidad (u) suministrada e instalada de acuerdo con los documentos del proyecto y la presente especificación, debidamente aceptada por el interventor.

740.7 Forma de pago

El pago se debe hacer al respectivo precio unitario del contrato, por todo captafaro suministrado e instalado de acuerdo con esta especificación, aprobado por el interventor. El precio unitario debe cubrir todos los costos de elaboración, suministro, transporte, almacenamiento, desperdicios e instalación del captafaro; el suministro e instalación de todos los elementos necesarios para asegurarlo a la defensa; la señalización preventiva de la vía durante la ejecución de los trabajos y, en general, todo costo adicional relacionado con la correcta ejecución de los trabajos especificados.

El precio unitario debe incluir, igualmente, los costos de administración, imprevistos y la utilidad del constructor.

740.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
740.1	Captafaros	Unidad (u)

Delineadores de corona

Artículo 741 – 22

741.1 Descripción

Este trabajo consiste en el suministro, transporte, manejo, almacenamiento, e instalación de los delineadores de corona (hitos de arista), en los sitios establecidos en los planos del proyecto.

El delineador de corona es un poste dotado de uno o varios elementos retrorreflectivos tipo III o de características de retrorreflectividad superior, que se deben colocar verticalmente adyacentes y paralelos a la corona (calzada más berma) de una carretera. Los postes pueden tener una sección plana, circular, rectangular, ovalada o en forma de "A".

741.2 Materiales

El delineador de corona se compone de tres (3) partes:

- El poste.
- La franja negra y el material retrorreflectivo.
- Los elementos de anclaje.

Nota: para delineadores de corona de policloruro de vinilo (VC rígido) se debe tener en cuenta lo establecido en la NTC 6107-6. Los delineadores de corona de materiales diferentes a policloruro de vinilo se debe tener en cuenta lo especificado en la NTC 6107-7.

741.2.1 Poste

El poste del delineador puede ser acero, plástico, fibra de vidrio o de algún material flexible, inastillable y resistente a la intemperie. Según su diseño, los postes pueden ser fijados en concreto o apernados a una loza de concreto, hincados con o sin traba de retiro o en algunos casos pueden tener poste placa.

El poste del delineador debe tener las dimensiones indicadas en el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte. La altura del área retrorreflectiva del delineador de corona sobre el borde de la calzada puede variar entre cero coma setenta y cinco metros (0,75 m) y uno coma dos metros (1,2 m), en concordancia con las indicaciones del citado manual; sin embargo, en las secciones de la vía en que se ubique el dispositivo, dicha altura debe ser la misma para cada delineador, con el objeto de garantizar una indicación de alineación uniforme.

La longitud total puede depender del lugar donde sea anclado.

El elemento retrorreflectivo y, en lo posible el color del poste, deben coincidir con el color de la demarcación de las líneas de borde de pavimento más cercano.

741.2.2 Franja negra y material retrorreflectivo

La franja negra del delineador se debe realizar mediante una lámina adhesiva de vinilo pigmentado, que sea flexible y resistente. Una vez adherida al poste, no debe ser fácilmente removible, aun empleando agua o disolvente. Una forma práctica para determinar en el campo si la adherencia entre el poste y la lámina de vinilo es buena, consiste en probar, a la temperatura ambiente, que es imposible despegar la lámina, pues esta se parte antes de desprenderse del poste.

La franja negra debe ser lo suficientemente opaca para ocultar completamente el contraste de una leyenda de letras negras sobre fondo blanco colocada encima de la lámina y debe tener la adherencia adecuada para evitar el levantamiento de sus bordes y daños a causa del frío o calor. No debe encogerse más de cero coma cuatro milímetros (0,4 mm) y soportar la intemperie durante un mínimo de siete (7) años, sin deterioros tales como agrietamientos, formación de escamas, delaminación o pérdida de adherencia.

La franja negra debe tener una altura de veinticinco centímetros (25 cm) y se coloca a una distancia fija del extremo superior del delineador de dieciocho centímetros (18 cm) e inclinada hacia el eje de la vía.

Sobre las franjas negras se deben colocar los elementos esenciales del delineador, que son los dispositivos retrorreflectantes (láminas retrorreflectivas tipo III o de características superiores, según el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte).

En el borde derecho, las láminas retrorreflectivas deben ser de color amarillo y deben tener una forma rectangular de dieciocho centímetros (18 cm) de alto por cinco centímetros (5 cm) de ancho. Este rectángulo se debe colocar centrado en la cara del delineador y sobre la lámina negra. En el borde izquierdo, las láminas retrorreflectivas deben ser de color blanco y de forma circular de seis centímetros (6 cm) de diámetro. Estos círculos se deben colocar sobre la banda negra, centrados en la cara del delineador y sus centros deben formar una línea vertical, separados a una distancia de quince centímetros (15 cm).

741.2.3 Elementos de anclaje

Para garantizar la fijación del delineador en el terreno, se debe colocar una (1) varilla de acero corrugado de media (½) pulgada de diámetro y de veinte centímetros (20 cm) de longitud. La varilla debe atravesar el delineador por los orificios de que dispone el poste. Estos orificios deben ser de un diámetro de uno coma cinco centímetros (1,5 cm) y deben estar ubicados a veinticinco centímetros (25 cm) de la base del poste.

La varilla de anclaje debe cumplir con lo indicado en el artículo 640, Acero de refuerzo.

Para el anclaje del poste se puede emplear un concreto simple, de catorce megapascales (14 MPa) de resistencia a la compresión a los veintiocho días (28 d), de acuerdo con los requerimientos del artículo 630, Concreto estructural.

741.3 Equipo

Se debe disponer de todos los equipos necesarios para la correcta y oportuna ejecución de los trabajos especificados, además de los indicados en los artículos 630 y 640 de las presentes especificaciones.

741.4 Ejecución de los trabajos

741.4.1 Criterios de localización

El espaciamiento entre delineadores de corona puede variar según las características geométricas de la vía. En tramos curvos deben ubicarse más cercanos uno de otro que en tramos rectos; se deben seguir las indicaciones del Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte y lo establecido en los documentos técnicos del proyecto.

La localización de los delineadores de corona debe coincidir con los hectómetros de la vía en los sitios indicados en los planos del proyecto o los definidos por el interventor. No se deben colocar delineadores coincidentes con los postes de referencia.

Todas las distancias entre los delineadores se deben medir a lo largo del eje de la vía. Una vez colocados la totalidad de los delineadores de corona hectométricos, se debe proceder, en los tramos en curva de la carretera, a instalar un número determinado de delineadores de corona, en función del radio de la curva, de conformidad con lo establecido en el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte.

741.4.2 Instalación y anclaje de los delineadores de corona

La instalación de los delineadores de corona se debe realizar siguiendo los criterios del numeral anterior, donde indiquen los planos del proyecto o lo estipulado por el interventor.

El anclaje al terreno se debe realizar efectuando una excavación de no menos de cincuenta centímetros (50 cm) y unas dimensiones en planta en forma cilíndrica de treinta centímetros (30 cm) de diámetro que puedan permitir fijar en su centro el anclaje, garantizando que el delineador de corona quede a uno coma cero cinco metros (1,05 m) sobre el pavimento.

Una vez colocado el elemento e instalada la varilla de anclaje correctamente, atravesando los orificios destinados para este fin, se debe rellenar la excavación con concreto que cumpla los requisitos del numeral 741.2.3.

Es primordial que exista uniformidad en la colocación de los delineadores de corona y en la altura a la que quede la banda negra. Todos los delineadores instalados en un tramo deben presentar una línea aproximadamente uniforme.

La intensidad de la luz reflejada en un delineador depende, en parte, de la altura a la que se coloquen los dispositivos retrorreflectantes y, por lo tanto, de la altura a que se ubique la franja negra. En consecuencia, se debe tener especial cuidado de que la franja negra quede a dieciocho centímetros (18 cm) del extremo superior, ya que de este modo se aumenta la eficacia de los dispositivos retrorreflectantes.

Donde el delineador de corona coincida con una barrera de seguridad, este se debe sujetar

a la barrera mediante una pieza metálica. En caso de que se requiera se debe recortar el delineador.

Es necesario que la puesta en obra garantice que el delineador permanezca vertical en todo momento; para esto, se debe garantizar un buen trabajo en el anclaje del delineador de corona.

741.4.3 Limitaciones en la ejecución

No se debe permitir la colocación de delineadores de corona en instantes de lluvia, ni cuando haya agua retenida en la excavación o el fondo de esta se encuentre demasiado húmedo o por instrucciones del interventor.

Toda agua retenida en la excavación debe ser retirada por el constructor antes de colocar el poste y su anclaje.

741.4.4 Limpieza final

Se debe asegurar la limpieza del sitio de obra, retirando todo material sobrante de los trabajos.

741.4.5 Plan de Manejo de Tránsito (PMT)

El constructor debe contar con un PMT e instalar todos los elementos de señalización preventiva en la zona de los trabajos, de acuerdo con lo establecido en el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte, los cuales deben garantizar la seguridad permanente tanto del personal y de los equipos de construcción, como de los usuarios y transeúntes, durante las veinticuatro horas (24 h) del día.

Para actividades que no impliquen el cierre total de la vía, el interventor debe dar su visto bueno previo a la presentación de un PMT. Para casos que impliquen el cerramiento total de la vía, se deben tramitar los permisos correspondientes ante la autoridad competente y se debe presentar el PMT aprobado por el interventor.

741.4.6 Manejo ambiental

Adicional a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las labores requeridas para la instalación de delineadores de corona, deben realizarse teniendo en cuenta las normas y disposiciones vigentes sobre la conservación del ambiente y los recursos naturales.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación, deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades deben incluirse en los costos del proyecto; por tanto, no deben ser objeto de reconocimiento directo en el contrato.

741.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

741.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles:

- Verificar el estado y el funcionamiento del equipo empleado por el constructor.
- Comprobar que todos los materiales empleados satisfagan las exigencias de las presentes especificaciones.

- Verificar que los delineadores de corona tengan las dimensiones correctas, tanto en espesores como en longitudes, así como la colocación de las láminas retrorreflectivas y bandas negras y que su instalación sea conforme con los planos y las exigencias de esta especificación.
- El plan de calidad y el plan de inspección, medición y ensayo son de obligatorio cumplimiento tal como se encuentra expresado en el numeral 103.2 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor.

El interventor debe contar , para efectos de pago, los delineadores de corona correctamente elaborados e instalados.

741.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

741.5.2.1 Calidad de los materiales

El interventor no debe admitir tolerancias en relación con los requisitos establecidos en el numeral 741.2 para los diversos materiales que conforman los postes y su anclaje.

Se deben realizar ensayos a los elementos retrorreflectivos que se adhieren al delineador. A estos materiales se le deben aplicar las técnicas de los ensayos contenidos en la NTC 4739.

La interventoría debe exigir al constructor, el certificado de conformidad expedido por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC), o por un organismo de certificación de productos del país de origen, debidamente acreditado para certificar dichos materiales, aportado por las compañías fabricantes o lo que establezca la Superintendencia de Industria y Comercio en materia de evaluación de la conformidad.

741.5.2.2 Instalación y anclaje de los delineadores de corona

Los delineadores de corona únicamente se pueden aceptar por el interventor si su instalación se encuentra acorde con lo indicado en el numeral 741.4.2, teniéndose especial cuidado en la verificación de su verticalidad.

741.5.2.3 Dimensiones del delineador de corona

No se deben admitir delineadores de corona cuyas dimensiones excedan en más de un centímetro (1 cm) a las establecidas en este artículo o a las indicadas en el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte.

Todas las deficiencias que excedan las tolerancias mencionadas, deben ser corregidas por el constructor bajo su propia cuenta y riesgo, previa aprobación del interventor.

741.5.2.4 Controles adicionales

Es muy importante que entre las láminas y el poste no se presente ninguna burbuja de aire visible a simple vista. Cuando esto ocurre, el interventor debe rechazar el delineador.

741.6 Medida

Los delineadores de corona se deben medir por unidad (u) instalada de acuerdo con los documentos del proyecto y la presente especificación, debidamente aceptada por el interventor.

741.7 Forma de pago

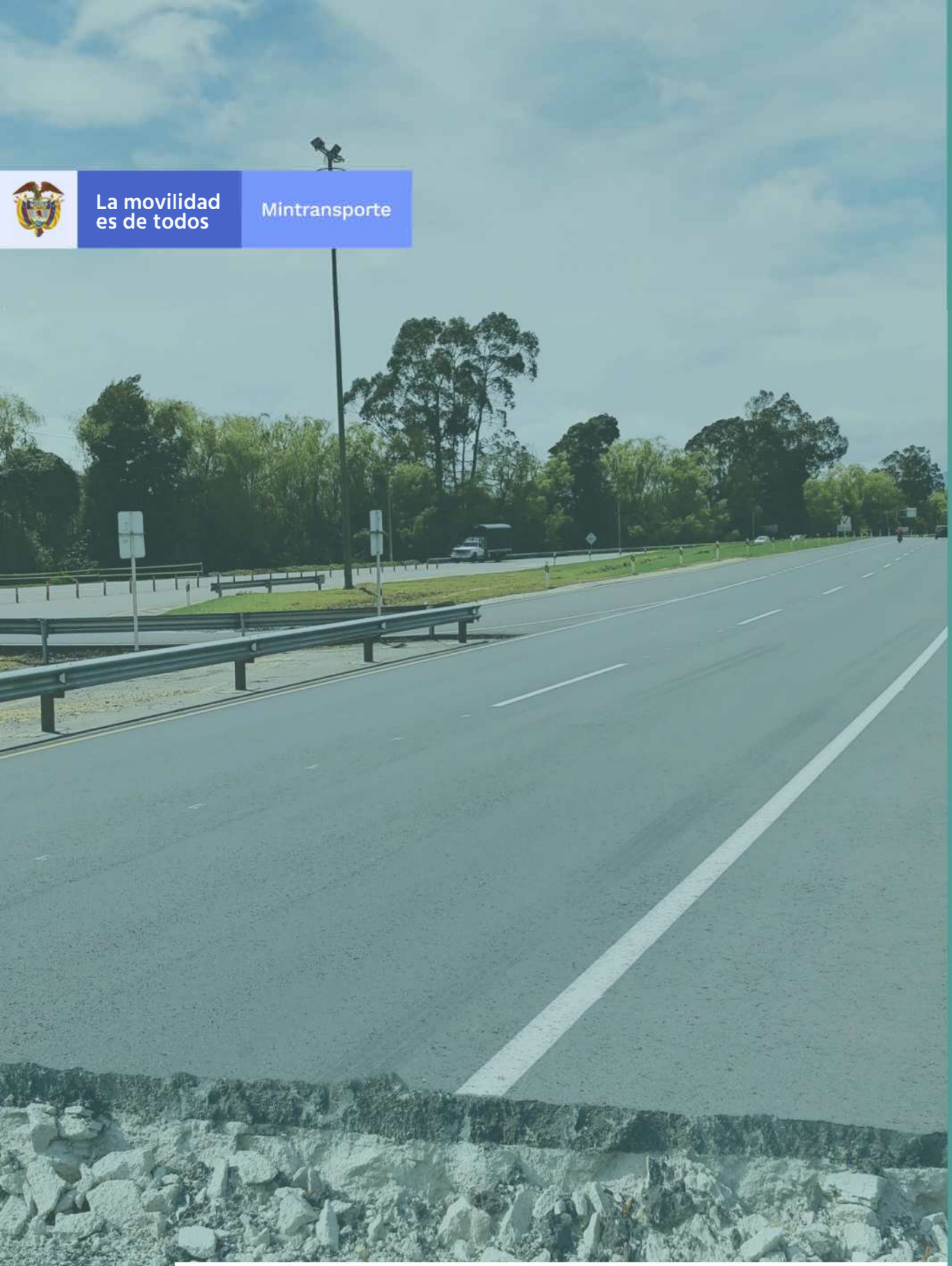
El pago se debe hacer al respectivo precio unitario del contrato por todo delineador de corona instalado y aprobado por el interventor. El precio unitario debe cubrir todos los costos de materiales, fabricación, manejo, almacenamiento, desperdicios y transporte del delineador de corona hasta el sitio de instalación; la excavación, la varilla y el concreto para el anclaje, la limpieza final de los sitios de trabajo; cargue, transporte y disposición en los sitios que defina el interventor de los materiales excavados y desechos en general; la instalación del delineador de corona; la señalización preventiva de la vía y, en general, todo costo adicional requerido para la correcta ejecución del trabajo especificado.

El precio unitario debe incluir, también, los costos de administración, imprevistos y la utilidad del constructor.

741.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
741.1	Delineador de corona en forma (plana, circular, rectangular, ovalada o forma de A), material (acero, plástico, fibra de vidrio u otro).	Unidad (u)

Nota: el ítem de pago se debe determinar de acuerdo con la forma y tipo de material establecido en el presente artículo.



La movilidad es de todos

Mintransporte

UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

INVIAS
INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

La movilidad es de todos

Mintransporte

CAPÍTULO 8

Especificaciones generales de construcción de carreteras 2022

UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

INVIAS
INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

8

Obras varias

Cercas de alambre

Artículo 800 – 22

800.1 Descripción

Este trabajo radica en el suministro de materiales y la construcción de cercas de alambre con postes de madera, de concreto o de plásticos reciclados, en los sitios indicados en los planos del proyecto o definidos por el interventor.

Se deben usar los tipos de cerca, de postes y de tirantes estipulados en los documentos del proyecto.

800.2 Materiales

800.2.1 Postes

Los postes para las cercas de alambre pueden ser de madera, de concreto o de plásticos reciclados. El material que los conforma debe ser el indicado en los planos y documentos del proyecto y deben ser aprobados por el interventor.

800.2.1.1 Postes de madera

La madera para la elaboración de los postes puede ser de cualquier especie (nativa o en veda) que sea recomendable para este uso y de poca dificultad para su obtención en el área del proyecto; también se deben tener en cuenta las condiciones climatológicas de la zona para mayor preservación y durabilidad de la madera. Su explotación y uso solamente se deben permitir cuando se disponga de las licencias respectivas.

Su sección transversal puede ser circular o cuadrada y deben estar hechos con madera sana, curada, descortezada y con los extremos cortados en la forma exigida en los planos. Los postes deben ser rectos y con todos los nudos recortados a ras de la superficie. Únicamente se deben aceptar postes con grietas y rajaduras, si ellas son superficiales y no alcanzan un quinto (1/5) de la menor dimensión de la pieza y si se presentan en sus extremos y no perjudican la resistencia y solidez de estos.

Las clases de maderas por emplear y las dimensiones de las piezas deben ser las señaladas en los planos, teniendo como referencia que su dimensión transversal mínima (diámetro o lado) debe ser de cien milímetros (100 mm). En cuanto a su longitud, si no existe una señalada por los documentos del proyecto, se debe tomar como mínimo dos coma cinco metros (2,5 m) para los postes de línea o intermedios, y de tres metros (3 m) para los esquineros.

Los postes a emplear se deben tratar con algún procedimiento y producto preservativo; adicionalmente, la humedad de la madera debe ser inferior al veinte por ciento (20 %) para evitar procesos de oxidación del alambre. El tipo de tratamiento se debe ajustar a lo indicado en los documentos del proyecto o a lo que autorice el interventor.

El tratamiento de la zona del poste de madera que quede en contacto directo con el suelo

debe garantizar su impermeabilidad o debe evitar la transferencia del agua del suelo al elemento.

800.2.1.2 Postes de concreto

Los postes de concreto deben ser prefabricados y construidos con concreto reforzado de resistencia mínima a compresión de veintiún megapascales (21 MPa) o doscientos diez kilogramos por centímetro cuadrado (210 kg/cm^2), a los veintiocho días (28 d). La armadura debe estar constituida por cuatro (4) varillas de mínimo seis milímetros (6 mm) de diámetro, más estribos cada doscientos milímetros (200 mm).

La sección transversal mínima debe ser de cien por cien milímetros (100 mm x 100 mm) y las longitudes mínimas deben ser de dos coma cinco metros (2,5 m) para postes de línea y tres metros (3 m) para postes esquineros.

Los postes deben tener muescas o perforaciones para fijar el alambre a estos. Las perforaciones de los postes deben tener amplitud suficiente para permitir el libre paso del alambre o deben disponer de aditamentos adosados para tal fin.

800.2.1.3 Postes de plástico reciclado

Los postes de plásticos reciclados se deben usar como materia prima excedentes plásticos posindustriales como el polipropileno y el polietileno (generados por las diferentes industrias, sobre todo la de alimentos y bebidas).

Deben ser tubos de sección transversal mínima de ocho centímetros (8 cm) de lado, con espesor interno entre ocho y diez milímetros (8 mm – 10 mm) para postes intermedios y de quince milímetros (15 mm) para los postes esquineros.

Las longitudes mínimas son de dos coma cinco metros (2,5 m) para postes de línea y tres metros (3 m) para postes esquineros.

Los postes deben tener muescas o perforaciones de amplitud suficiente para permitir el libre paso del alambre o disponer de aditamentos adosados para tal fin.

800.2.2 Alambre

800.2.2.1 Alambre de púas galvanizado

El alambre de púas galvanizado debe cumplir con la NTC 195 y con las características determinadas en los documentos del proyecto.

Si en los documentos del proyecto no se especifican las características del alambre, se deben aplicar las indicadas en la Tabla 800 – 1.

El alambre de púas sin galvanizar debe satisfacer los requisitos de la norma AASHTO M 280

Tabla 800 – 1. Características del alambre de púas

Característica	Requisito
Calibre del alambre BWG	12,5
Distancia entre púas (mm)	125
Nro. de puntas en cada grupo	4
Calibre de las púas BWF	514

y, el alambre galvanizado con aluminio, cumplir la norma AASHTO M 305.

El alambre de púas se debe sujetar a los postes pasando por perforaciones que los cruzan y/o haciendo muescas o en los postes o bien, directamente en las muescas previamente formadas, espaciadas verticalmente entre veinticinco y cuarenta centímetros (25 cm – 40 cm); el alambre de púas se debe fijar en las muescas y se debe amarrar al poste con alambre galvanizado de dos milímetros (2 mm) de espesor.

Debe quedar lo suficientemente tenso para que no se cuelgue sensiblemente en el centro del claro entre postes.

Previa aprobación de la interventoría, y si los documentos del proyecto así lo prevén, se puede aceptar el uso de alambres plásticos con púas metálicas galvanizadas.

800.2.2.2 Malla galvanizada para cerca

En cercas que contemplen el uso de malla de alambre tejido, esta debe estar constituida por siete (7) alambres horizontales de calibre doce coma cinco (12,5), excepto el superior y el inferior, que son de calibre diez (10).

Los alambres verticales, los cuales se colocan separados ciento cincuenta milímetros (150 mm), son de calibre doce coma cinco (12,5). Si los documentos del proyecto lo prevén, se puede emplear otro tipo de malla disponible en el mercado.

800.2.3 Alambre de arriostramiento

Debe ser dulce, liso y galvanizado, de calibre nueve (9).

800.2.4 Grapas

Las grapas para sujetar el alambre a los postes de madera deben tener, cuando menos, cuarenta milímetros (40 mm) de longitud y, el alambre del cual están hechas, debe ser galvanizado en concordancia con los requisitos de la norma ASTM A 121.

800.3 Equipos

El constructor debe disponer de los equipos y herramientas necesarios para asegurar que la construcción de las cercas de alambre tenga la calidad exigida, garantizando el cumplimiento del programa de ejecución de los trabajos.

800.4 Ejecución de los trabajos

800.4.1 Replanteo

Antes de comenzar los trabajos, se debe hacer el replanteo topográfico de la línea de la cerca, la cual debe seguir los contornos de la superficie del terreno y cuidar de no invadir otros terrenos.

800.4.2 Preparación de la superficie

El constructor debe desmontar y limpiar el área requerida para la construcción de la cerca, la cual debe tener un ancho mínimo de un metro (1 m) a cada lado del emplazamiento previsto para esta.

Sin embargo, si en el área de desmonte y limpieza existen árboles u otras especies vegetales valiosas que puedan ser de interés conservar, el constructor debe informar esta situación al interventor y debe solicitar su autorización para desplazar la línea de la cerca en esa zona. El corrimiento se debe realizar desplazando el mínimo número de postes que sea necesario, dejando un quiebre brusco en la línea de cercos. No se deben efectuar desplazamientos graduales para salvar el obstáculo.

800.4.3 Excavación

Una vez el terreno esté limpio, se debe proceder a efectuar las excavaciones en los sitios definidos para la instalación de los postes. La excavación debe tener una sección transversal ligeramente mayor que la del poste y su profundidad mínima debe ser de setenta centímetros (70 cm) para los postes en línea y un metro (1 m) para los esquineros.

Si los planos no indican otra cosa, los postes se deben ubicar a intervalos de tres metros (3 m); en cualquier caso, solo se debe aceptar una tolerancia de más o menos cinco por ciento (± 5 %).

En los lugares que requieran interrupciones de la cerca o en intersecciones con cercas existentes, se debe efectuar un ajuste en el espaciamiento, variándolo gradualmente, si se requiere, para que exista concordancia con los requisitos de la cerca que se cruza.

800.4.4 Instalación de los postes

Todos los postes se deben colocar verticalmente con el alineamiento y la rasante establecidos en los documentos del proyecto.

Los postes esquineros se deben arriostrar diagonalmente hacia los postes de las líneas adyacentes.

Los postes se deben colocar verticalmente, aceptándose, como máximo, una desviación de cincuenta milímetros (50 mm) respecto de la vertical.

No se debe aceptar el hincado como sistema de instalación de postes.

800.4.5 Relleno de la excavación

Una vez colocado cada poste, el espacio entre él y las paredes de la excavación se deben rellenar con material de la misma excavación, en capas compactadas de tal forma que se garantice el perfecto empotramiento de la pieza.

800.4.6 Colocación del alambre

Los alambres se deben unir firmemente a los postes en las alturas señaladas, horizontales, paralelos y estirados uniformemente. Los tensores verticales de la malla de alambre se deben mentener rectos en posición vertical.

En los postes terminales, los alambres de púas o la malla de alambre se deben fijar horizontalmente por lo menos en tres (3) puntos y las puntas sueltas del alambre se deben anudar, doblando y apretando.

Se deben permitir empates en los alambres horizontales si se hacen con mordazas galvanizadas de tornillo o entrelazando los alambres en una longitud mínima de setenta y cinco milímetros (75 mm) a cada lado del punto de unión, con un mínimo de seis (6) vueltas dadas en dirección contraria sobre cada lado, cortando perfectamente las puntas sobrantes.

Las cercas de malla de alambre se deben empalmar únicamente en los postes.

800.4.7 Remoción de cercas antiguas

Siempre que la cerca que se construya esté reemplazando una cerca antigua, los trabajos se deben desarrollar de manera que el reemplazo se haga de forma inmediata y garantizando que al final de la jornada de trabajo la cerca nueva y la antigua no retirada queden unidas. Los huecos resultantes de la remoción de la cerca antigua se deben rellenar con materiales aceptables para el interventor, debidamente compactados.

800.4.8 Limpieza

Terminados los trabajos, el constructor debe remover y disponer todos los materiales sobrantes, en lugares aprobados por el interventor. Se debe realizar una separación adecuada de los residuos generados, de acuerdo con la norma, teniendo en cuenta el tipo de residuo.

800.4.9 Aspectos de seguridad eléctrica

En las zonas en que sobre la cerca cruce una línea de transmisión, de distribución de energía eléctrica o cables secundarios, se deben instalar conexiones a tierra que satisfagan los requisitos sobre seguridad de instalaciones eléctricas.

Por tanto, se deben garantizar las distancias mínimas de seguridad de cables eléctricos a cercas según la legislación vigente al respecto.

800.4.10 Manejo ambiental

Todas las determinaciones referentes a los trabajos para las cercas de alambre, deben ser tomadas considerando los aspectos generales dispuestos en el artículo 106, Aspectos ambientales, de estas especificaciones; a su vez, todas las labores requeridas se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en los estudios y evaluaciones ambientales del proyecto, así como las normas y disposiciones vigentes sobre conservación del ambiente, los recursos naturales y protección de la comunidad, en especial las referentes a la explotación y procesamiento de la madera, cuando corresponda.

El material vegetal removido de la faja donde se va a instalar la cerca debe ser esparcido o dispuesto en un sitio aprobado, por cuanto su quema no está permitida.

800.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

800.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y el funcionamiento del equipo empleado por el constructor.
- Comprobar que los materiales cumplan con los requisitos de calidad establecidos en el numeral 800.2.
- Corroborar el cumplimiento de todas las medidas y leyes requeridas sobre seguridad (artículo 102, Aspectos generales de seguridad y salud) y medio ambiente (artículo 106).

- Revisar que la cerca se coloque de acuerdo con los alineamientos indicados en los planos.
- Supervisar que los trabajos se ajusten a las exigencias de esta especificación.

Para efectos de pago, el interventor debe medir la cantidad de obra correctamente ejecutada y guiarse por los criterios establecidos en el plan de inspección, medición y ensayo aprobado por interventoría.

El plan de calidad y el plan de inspección, medición y ensayo son de obligatorio cumplimiento, tal como se encuentra expresado en el numeral 103.2 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor.

800.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

Los trabajos correspondientes a este artículo se deben recibir si cumplen con las condiciones funcionales de cercas y alambres, si los materiales empleados cumplen los requisitos de calidad correspondientes y si el alineamiento de las cercas corresponde al establecido en los planos del proyecto.

800.5.2.1 Calidad de los materiales

El interventor no debe admitir tolerancias en relación con los requisitos establecidos en el numeral 800.2, para los diversos materiales que conforman la cerca de alambre.

800.5.2.2 Alineamiento

Ningún poste se puede alejar en más de cien milímetros (100 mm) de la posición establecida por los planos o la indicada por el interventor.

800.5.2.3 Dimensiones

- Las dimensiones de los postes no pueden ser inferiores a las definidas en este artículo o en los documentos del proyecto.
- La altura de la malla de alambre no puede ser inferior a la indicada en los planos.
- El espacio libre vertical entre hilos de alambre no puede variar, en relación con el indicado en los planos, en más de cinco milímetros (5 mm).

Todas las deficiencias que excedan las tolerancias mencionadas deben corregirse por el constructor bajo su propia cuenta y riesgo, previo recibo a plena satisfacción del interventor.

800.6 Medida

La unidad de medida de las cercas de alambre debe ser el metro (m), aproximado al entero, de cerca instalada en concordancia con los planos del proyecto y esta especificación, a plena satisfacción del interventor. La medida se debe realizar desde las caras exteriores de los postes terminales o de esquina, en toda la longitud en que la cerca se haya colocado debidamente. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

Por tanto, no se debe medir ninguna cerca que el constructor haya colocado por fuera de los límites establecidos por el proyecto o autorizados por el interventor.

800.7 Forma de pago

El pago de las cercas de alambre se debe hacer al respectivo precio unitario del contrato, por todo trabajo ejecutado de acuerdo con esta especificación y aceptado a satisfacción por el interventor.

El precio unitario debe incluir todos los costos correspondientes al suministro de materiales, desmonte y limpieza del área de colocación de la cerca, replanteo, excavaciones de los orificios para la instalación de los postes, colocación de estos, anclaje cuando sea requerido, relleno y compactación de los espacios aledaños a los postes nuevos, colocación de todos los alambres, mallas y conexiones a tierra requeridos; limpieza final del área de trabajo; desperdicios; transporte y disposición apropiada de los materiales sobrantes y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución del trabajo especificado.

El precio unitario debe cubrir, igualmente, los costos de administración, imprevistos y la utilidad del constructor.

La remoción de cercas existentes se debe pagar conforme con lo establecido en el artículo 201, Demolición y remoción.

800.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
800.1	Cerca de alambre de púas con postes de madera	Metro (m)
800.2	Cerca de alambre de púas con postes de concreto	Metro (m)
800.3	Cerca de malla con postes de madera	Metro (m)
800.4	Cerca de malla con postes de concreto	Metro (m)

Cercas y cerramientos con postes ecológicos

Artículo 801 - 22

801.1 Descripción

Este trabajo consiste en el suministro de materiales y la construcción de cercas de alambre o malla galvanizada con postes elaborados a partir de plásticos reciclados como PE (PEAD, PEBD), PP y PVC, en los sitios indicados en los planos del proyecto o definidos de acuerdo con la necesidad específica.

Se deben usar los tipos de cerca, de postes y tirantes establecidos en los documentos del proyecto.

Los requisitos para la instalación y uso de los elementos de postes con plásticos reciclados difieren de las técnicas convencionales presentadas en el artículo 800, Cercas de alambre, de las especificaciones generales de construcción de carreteras.

801.2 Materiales

Es responsabilidad del constructor verificar las fichas técnicas, resistencia nominal de los elementos, durabilidad a largo plazo, así como las características de los plásticos reciclados PE (PEAD, PEBD), PP y PVC, utilizado en la fabricación de los postes.

801.2.1 Postes

Las cercas de alambre se deben conformar con postes de plásticos reciclados como PE (PEAD, PEBD), PP y PVC, de fabricación homogénea sin mezclas de materiales, según como sea indicado en los planos del proyecto.

Las propiedades mecánicas de los postes deben garantizarse tanto en el proceso de instalación como en la vida de servicio establecido por el proyecto.

801.2.1.1 Postes de plásticos reciclados (PEAD, PEBD, PP y PVC)

Los postes de PVC reciclado deben ser fabricados en resina de PVC cien por ciento (100%) recuperado o polímeros cien por ciento (100 %) reciclado ya sea PE (PEAD, PEBD), PP y PVC, sin permitir mezclas de materias primas recicladas, la sección debe ser hueca, con orificios pasantes o sin ellos y orificio de anclaje de diámetro dos coma cincuenta y cuatro centímetros (2,54 cm) (1 pulgada), con la configuración geométrica que se sugiere en la Tabla 801-1 y Tabla 801-2, así mismo, los pies de amigo deben tener la misma sección transversal de los postes principales al cual le sirve de soporte.

Tabla 801-1 Dimensiones de postes con orificios pasantes

Clase	Longitud	Alto	Ancho	Separación orificios pasantes	Espesor	Nro. de orificios
	m	cm	cm	cm	cm	
Recto	2,10	7,62	7,62	25	0,5	8
	2,10	10,16	10,16	25	0,5	8
	2,50	7,62	7,62	25	0,5	8
	2,50	10,16	10,16	25	0,5	8
	3,00	7,62	7,62	25	0,5	8
	3,00	10,16	10,16	25	0,5	8
	6,00	7,62	7,62	25	0,5	8
	6,00	10,16	10,16	25	0,5	8

Tabla 801-2 Dimensiones de postes sin orificios pasantes

Clase	Longitud	Alto	Ancho	Espesor
	m	cm	cm	cm
Recto	1,00	8,00	8,00	0,5
		8,00	8,00	0,8
		8,00	8,00	1,5
		8,00	4,00	0,5
	1,50	8,00	8,00	0,5
		8,00	8,00	0,8
		8,00	8,00	1,5
		8,00	4,00	0,5
	1,70	8,00	8,00	0,5
		8,00	8,00	0,8
		8,00	8,00	1,5
		8,00	4,00	0,5
	1,80	8,00	8,00	0,5
		8,00	8,00	0,8
		8,00	8,00	1,5
		8,00	4,00	0,5
	2,00	8,00	8,00	0,5
		8,00	8,00	0,8
		8,00	8,00	1,5
		8,00	4,00	0,5
	2,10	8,00	8,00	0,5
		8,00	8,00	0,8
		8,00	8,00	1,5
		8,00	4,00	0,5
	2,20	8,00	8,00	0,5
		8,00	8,00	0,8
		8,00	8,00	1,5
		8,00	4,00	0,5

Se recomienda mantener el material alejado de agentes oxidantes y de la llama abierta para evitar la descomposición térmica y que eventualmente puedan alterar sus propiedades mecánicas y funcionales.

No se avala el uso de puntillas o grapas en los postes de plásticos reciclados PE (PEAD, PEBD), PP y PVC, ya que puede generar fisuras. Los postes con otras configuraciones geométricas pueden ser utilizados siempre y cuando cumplan con todos los requerimientos establecidos en la presente norma de calidad de la materia prima, propiedades mecánicas y durabilidad a largo plazo.

Calidad de los postes de plástico y PVC reciclado

Es responsabilidad del constructor verificar la calidad y durabilidad de los postes fabricados en plástico o PCV reciclado y que son

utilizados como cercas y cerramientos ecológicos en obras de infraestructura vial, sus características técnicas hacen parte integral de las especificaciones del proyecto.

801.2.1.2 Tapas para poste

Las tapas de los postes deben ser del mismo material que los postes a utilizar, tener una configuración piramidal y base cuadrada de dimensiones que garanticen el sellado superior del poste.

801.2.2 Alambre de púas galvanizado

El alambre de púas galvanizado debe cumplir con la norma NTC 195, con las características especificadas en los documentos del proyecto. Si en los documentos del proyecto no se especifican las características del alambre, se aplican las indicadas en la Tabla 801-6.

Tabla 801-3 Características del alambre de púas

Característica	Requisito
Calibre del alambre BWG	12,5
Distancia entre púas (mm)	125
Numero de puntas en cada grupo	4
Calibre de púas BWF	514

801.2.3 Malla galvanizada para cerca

En cercas que contemplen el uso de malla de alambre tejido, debe estar constituida por siete (7) alambres horizontales de calibre doce coma cinco (12,5), excepto el superior y el inferior, que son de calibre diez (10).

Los alambres verticales, los cuales se colocan separados ciento cincuenta milímetros (150 mm), son de calibre doce coma cinco (12,5). Si los documentos del proyecto lo prevén, se puede emplear otro tipo de malla disponible en el mercado.

801.2.4 Alambre de arriostramiento

Debe ser dulce, liso y galvanizado de calibre nueve (9).

801.2.5 Barra de anclaje

Barra de acero horizontal de treinta centímetros (30 cm) y diámetro de doce coma cinco milímetros (12,5 mm) (½ pulgada) o diecinueve milímetros (19 mm) (¾ pulgada).

801.2.6 Tornillo y arandela de fijación

Tornillo autoperforante y arandela, no se permite el uso de grapa o puntilla.

801.3 Equipo

El constructor debe disponer de los equipos y herramientas necesarios para asegurar que la construcción de las cercas de alambre tenga la calidad exigida, garantizando el cumplimiento del programa de ejecución de los trabajos.

Los equipos a utilizar en la construcción de cercas y cerramientos con postes ecológicos pueden ser: pala hoyadora manual o mecánica para la excavación, herramientas menores como alicate, destornillador, pinzas o si se requiere un diferencial para la tensión del alambre.

801.4 Ejecución de los trabajos

El proceso de instalación de los postes elaborados con plásticos reciclados debe iniciar con la localización y la apertura de la excavación donde se van a instalar los postes, con una profundidad mínima de cincuenta centímetros (50 cm) y deben estar separados a una distancia máxima de tres metros (3 m).

La instalación de los postes, debe iniciar con los postes principales o tensores (esquineros o finales), introduciendo el poste y compactando el relleno sólido alrededor de estos dentro de la excavación, garantizando verticalidad de estos. Se puede utilizar además una barra de acero horizontal de treinta centímetros (30 cm) y diámetro de uno coma veintisiete centímetros (1,27 cm) (½ pulgada) o uno coma novecientos cinco centímetros (1,905 cm) (¾ pulgada) en el agujero inferior para mejorar anclaje en el suelo.

Tender hilos entre postes principales (base y la corona) para verificar altura y alineación de los postes intermedios, continuar instalando los postes con el mismo procedimiento anterior, manteniendo nivelación y alineamiento de la cerca, rellenar el interior de los postes con material de zona o mortero, hasta una altura de cincuenta centímetros (50 cm) desde la base del poste.

Para disponer los postes pie de amigo se deben instalar en los postes principales o tensores, cambios de dirección y cambios de nivel (se recomienda instalar un pie de amigo por cada diez (10) postes). Se debe garantizar un anclaje a profundidad de cincuenta centímetros (50 cm) en el suelo, instalar el pie de amigo a un metro (1 m) de la base del poste de anclaje principal y fijar con la cara despuntada mediante tornillos auto perforantes de tres coma ochenta y un centímetros (3,81 cm) (1 ½ pulgadas) o cincuenta coma ocho centímetros (50,8 cm) (2 pulgadas), utilizando un par de topes de anclaje pie de amigo en la parte superior. Si se prefiere, también se pueden soldar los topes de anclaje pie de amigo, utilizando limpiador y soldadura correspondiente. Una vez instalados y confinados todos los postes y soportes, se debe tender el alambre liso o de púa, utilizando como guía los agujeros del mismo nivel (los agujeros pueden utilizarse para enhebrar el alambre o como soporte para realizar el amarre de este). Para poste sin agujeros, se debe nivelar el alambre en la posición deseada y una vez tensionado se debe realizar la fijación con arandela y tornillo autoperforante, utilizando atornillador o taladro. Otra alternativa para mantener la posición del alambre es realizar amarres desde los agujeros.

801.4.1 Replanteo

Antes de comenzar los trabajos, se debe hacer el replanteo topográfico de la línea de la cerca, la cual debe seguir los contornos de la superficie del terreno y cuidar de no invadir otros terrenos.

801.4.2 Preparación de la superficie

El constructor debe desmontar y limpiar el área requerida para la construcción de la cerca, la cual debe tener un ancho mínimo de un metro (1 m) a cada lado del emplazamiento previsto para esta.

Sin embargo, si en el área de desmonte y limpieza existen árboles u otras especies vegetales valiosas que puedan ser de interés conservar, el constructor debe informar esta situación al interventor y debe solicitar su autorización para desplazar la línea de la cerca en esa zona. El corrimiento se debe realizar desplazando el mínimo número de postes que sea necesario, dejando un quiebre brusco en la línea de cercos.

No se deben efectuar desplazamientos graduales para salvar el obstáculo.

801.4.3 Excavación

Una vez el terreno esté limpio, se debe proce-der a efectuar las excavaciones en los sitios definidos para la instalación de los postes. La excavación debe tener una sección transver-sal ligeramente mayor que la del poste, máxi-mo treinta centímetros (30 cm) de diámetro y su profundidad mínima debe ser cincuenta centímetros (50 cm).

Si los planos no indican otro parámetro, los postes se deben ubicar a intervalos de tres metros (3 m); en cualquier caso, se debe aceptar una tolerancia de más o menos cinco por ciento (± 5 %).

En los lugares que requieran interrupciones de la cerca o en intersecciones con cercas existentes, se debe efectuar un ajuste en el espaciamiento, variándolo gradualmente si se requiere, para que exista concordancia con los requisitos de la cerca que se cruza.

801.4.4 Instalación de los postes

Todos los postes se deben colocar vertical-mente con el alineamiento y la rasante esta-blecidos en los documentos del proyecto.

Los postes esquineros se deben arriostrar diagonalmente hacia los postes de las líneas adyacentes.

Los postes se deben colocar verticalmente, aceptándose como máximo una desviación de cincuenta milímetros (50 mm) respecto de la vertical.

No se debe aceptar el hincado como sistema de instalación de postes.

801.4.5 Relleno de la excavación

Una vez colocado cada poste, el espacio entre él y las paredes de la excavación se debe re-llenar con material de la misma excavación, efectuando el procedimiento en capas com-pactadas de tal forma que se garantice el per-fecto empotramiento de la pieza.

801.4.6 Colocación del alambre

Los alambres se deben unir firmemente a los postes en las alturas señaladas, horizontales, paralelos y estirados uniformemente.

Los tensores verticales de la malla de alambre se deben mantener rectos en posición vertical. En los postes terminales, los alambres de púas o la malla de alambre se deben fijar hori-zontalmente por lo menos en tres (3) puntos y las puntas sueltas del alambre se deben anu-dar, doblando y apretando.

Se permiten empates en los alambres horizon-tales si se hacen con mordazas galvanizadas de tornillo o entrelazando los alambres en una longitud mínima de setenta y cinco milímetros (75 mm) a cada lado del punto de unión, con un mínimo de seis (6) vueltas dadas en direc-ción contraria sobre cada lado, cortando per-fectamente las puntas sobrantes.

Las cercas de malla de alambre se deben em-palmar únicamente en los postes.

Utilizando como guía los agujeros del mismo nivel, se deben realizar amarres desde los agujeros para mantener el alambre en su posición.

No se acepta el uso de clavos, grapas o pun-tillas. Para tal fin se deben utilizar tornillos autoperforantes.

801.4.7 Remoción de cercas antiguas

Siempre que la cerca que se construya esté reemplazando una cerca antigua, los trabajos se deben desarrollar de manera que el reem-plazo se haga de manera inmediata y garan-tizando que al final de la jornada de trabajo la

cerca nueva y la antigua no retirada queden unidas. Los huecos resultantes de la remoción de la cerca antigua se deben rellenar con materiales aceptables para el interventor, debidamente compactados.

801.4.8 Limpieza

Terminados los trabajos, el constructor debe remover y disponer todos los materiales sobrantes, en lugares aprobados por el interventor. Se debe realizar una separación adecuada de los residuos generados, de acuerdo con la norma, teniendo en cuenta el tipo de residuo.

801.4.9 Aspectos de seguridad eléctrica

En las zonas en que sobre la cerca cruce una línea de transmisión, distribución de energía eléctrica o cables secundarios, se deben instalar conexiones a tierra que satisfagan los requisitos sobre seguridad de instalaciones eléctricas.

Se debe garantizar las distancias mínimas de seguridad de cables eléctricos a cercas según la legislación vigente al respecto.

801.4.10 Manejo ambiental

Todas las determinaciones referentes a los trabajos para cercas y cerramientos con postes ecológicos deben ser tomadas considerando los aspectos generales dispuestos en el artículo 106, Aspectos ambientales, de estas especificaciones; a su vez, todas las labores requeridas se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en los estudios y evaluaciones ambientales del proyecto, así como en las normas y disposiciones vigentes sobre conservación del ambiente, los recursos naturales y protección de la comunidad.

El material vegetal removido de la faja donde se va a instalar la cerca debe ser esparcido o dispuesto en un sitio aprobado, por cuanto su quema no está permitida.

Es importante tener presente que elementos de plástico reciclado no contengan sustancias de obligatoria eliminación que sean un limitante para su posterior reciclaje.

801.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

801.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y el funcionamiento del equipo empleado por el constructor.
- Comprobar que los materiales cumplan con los requisitos de calidad establecidos en el numeral 801.2.
- Corroborar el cumplimiento de todas las medidas y leyes equeridas sobre seguridad (artículo 102, Aspectos generales de seguridad y salud) y medio ambiente (artículo 106).
- Revisar que la cerca se coloque de acuerdo con los alineamientos indicados en los planos.
- Supervisar que los trabajos se ajusten a las exigencias de esta especificación.

Para efectos de pago, el interventor debe medir la cantidad de obra correctamente ejecutada y guiarse por los criterios establecidos en el plan de inspección, medición y ensayo aprobado por la interventoría.

El plan de calidad, el plan de inspección, medición y ensayo son de obligatorio cumplimiento, tal como se encuentra expresado en el numeral 103.2 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor.

801.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

Los trabajos correspondientes a este artículo se deben recibir si cumplen con las condiciones funcionales de cercas y alambres, si los materiales empleados cumplen los requisitos de calidad correspondientes y si el alineamiento de las cercas corresponde al establecido en los planos del proyecto.

801.5.2.1 Calidad de los materiales

El interventor no debe admitir tolerancias en relación con los requisitos establecidos en el numeral 801.2, para los diversos materiales que conforman las cercas de alambre con postes de plástico PP, PEAD y PVC reciclado.

801.5.2.2 Alineamiento

Para el reemplazo de cercas existentes debe ser el mismo alineamiento y sin invadir la franja vial o corredor vial; en el caso de los proyectos nuevos ningún poste se puede alejar en más de cien milímetros (100 mm) de la posición establecida por los planos o la indicada por el interventor.

Los hilos de alambre deben cumplir con lo establecido en los planos o lo indicado por el interventor.

801.5.2.3 Dimensiones

- Las dimensiones de los postes no pueden ser inferiores a las definidas en este artículo o en los documentos del proyecto.
- La altura de la malla de alambre no puede ser inferior a la indicada en los planos.
- El espacio libre vertical entre hilos de alambre no puede variar, en relación con el indicado en los planos en más de cinco milímetros (5 mm).

Todas las deficiencias que excedan las tolerancias mencionadas deben corregirse por el constructor bajo su propia cuenta y riesgo, previo recibo a plena satisfacción del interventor.

801.5.2.4 Durabilidad

Es responsabilidad del constructor en el momento de la adquisición de los postes en materiales de plástico reciclado, verificar que el proveedor respalde la durabilidad de estos elementos referenciando valores de resistencia a la flexión, resistencia a la compresión y combustión, que garanticen el comportamiento mecánico de los elementos a lo largo de la vida útil del proyecto.

801.6 Medida

La unidad de medida de las cercas de alambre debe ser el metro (m), aproximado al entero, de cerca instalada de acuerdo con los planos del proyecto y esta especificación, a plena satisfacción del interventor. La medida se debe realizar desde las caras exteriores de los postes terminales o de esquina, en toda la longitud en que la cerca se haya colocado debidamente. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

No se debe medir ninguna cerca que el constructor haya colocado por fuera de los límites establecidos por el proyecto.

801.7 Forma de pago

El pago de las cercas de alambre se debe hacer al respectivo precio unitario del contrato, por todo trabajo ejecutado de acuerdo con esta especificación y aceptado a satisfacción por el interventor.

El precio unitario debe incluir todos los costos correspondientes al suministro de materiales, desmonte y limpieza del área de colocación

de la cerca, replanteo, excavaciones de los orificios para la instalación de los postes, colocación de estos, anclaje cuando sea requerido, relleno y compactación de los espacios aledaños a los postes nuevos, colocación de todos los alambres, mallas y conexiones a tierra requeridos; limpieza final del área de trabajo; desperdicios; transporte y disposición apropiada de los materiales sobrantes y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución del trabajo especificado.

El precio unitario debe cubrir, igualmente los costos de administración, imprevistos y la utilidad del constructor.

La remoción de cercas existentes se debe pagar conforme con lo establecido en el artículo 201, Demolición y remoción.

Se debe tener especial cuidado en pagar las cercas de alambre que cumplan lo establecido en los planos o determinado por el interventor.

801.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
801.1	Cerca de alambre de púas con postes de plástico reciclado PE (PEAD, PEBD), PP y PVC	Metro (m)
801.2	Cerca de malla con postes de plástico reciclado PE (PEAD, PEBD), PP y PVC	Metro (m)

Poda de árboles

Artículo 802 – 22

802.1 Descripción

Este trabajo radica en cortar secciones de la parte aérea o radicular de los árboles indicados en los documentos del proyecto o determinados por el interventor, los cuales deben avalados por la autoridad ambiental, el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible (Decreto 1076 de 2015) o las normas que lo sustituyan.

En este proceso, mediante el cual se cortan algunos órganos vegetativos de los árboles, se deben incluir principalmente la poda radicular y aérea. La poda de la parte aérea consiste en el corte de ramas y eventualmente del tronco del árbol; la poda de la parte radicular, en el corte de las raíces principales y secundarias; incluye las excavaciones y rellenos necesarios para realizar esta actividad.

Para efectos de esta especificación, se establecen cuatro (4) tipos de árboles en función de su altura, como se indica en la Tabla 802 – 1.

El constructor debe brindar las bases técnicas para el adecuado reordenamiento de los espacios verdes, proponiendo aspectos de planeación y diseño que permiten guiar los trabajos mencionados en esta especificación bajo los lineamientos técnicos establecidos en las etapas del proceso; así mismo, debe tener en cuenta el manejo de actividades relacionados con el ahuyentamiento de vida silvestre (silvicultura).

802.2 Materiales

802.2.1 Material para relleno de las excavaciones para poda de la parte radicular

El material de relleno de las excavaciones requeridas para la poda de la parte radicular; puede ser utilizado como material de excavación, tierra orgánica suministrada para tal fin, o una mezcla de ambos; debe ser el especificado por los documentos del proyecto, o en su defecto, cumplir con los requisitos de suelos tolerables, según el artículo 220, Terraplenes. En cualquiera de los casos, los documentos

Tabla 802 – 1. Tipos de árbol para poda en función de su altura

Tipo de árbol	Altura (m)
Tipo I	> 20
Tipo II	10,1 a 20
Tipo III	5 a 10
Tipo IV	< 5

pueden indicar la necesidad de añadir fertilizantes, abonos (humus de lombriz de tierra, cascarilla de arroz u otros), insecticidas u otros componentes al material de relleno.

La tierra orgánica puede provenir de áreas localizadas fuera del proyecto o, preferiblemente, del descapote del proyecto. Se debe conformar por suelo de origen superficial, con contenido orgánico, libre de piedras, ramas, restos vegetales de gran calibre, escombros, desperdicios no degradables y cualquier otro elemento extraño y nocivo para los fines de la plantación de árboles.

802.2.2 Fertilizantes, abonos e insecticidas

Se deben emplear los fertilizantes, abonos e insecticidas adecuados para cada especie vegetal, según lo determinado en los documentos técnicos del proyecto. Pueden ser órgano-minerales o minerales, y deben aportar los macronutrientes y micronutrientes esenciales.

802.2.3 Cicatrizantes

Se deben emplear los cicatrizantes hormonales indicados en los documentos técnicos del proyecto; en general, los cicatrizantes deben tener como base un fungicida que sea impermeable al agua y permeable al aire.

802.2.4 Agua para riego

El agua debe estar limpia, sin elementos extraños ni suciedad evidente y libre de contaminaciones químicas. No es necesario que sea potable. Preferiblemente agua lluvia.

802.3 Equipo

El constructor debe disponer de los equipos y herramientas necesarios para asegurar que los trabajos de poda de árboles tengan la calidad exigida y se garantice el cumplimiento de su programa de ejecución.

Acorde con el artículo 102, Aspectos generales de seguridad y salud, el constructor debe disponer de todos los dispositivos y/o elementos relativos a la seguridad de esta actividad, tanto para los trabajadores que intervienen en esta, como para la protección de las áreas aledañas y/o cercanas a la poda.

El constructor debe disponer, por tanto, de herramientas tales como escaleras, tijeras de podar, serruchos, moto sierra si es el caso, palas, picas, rastrillos, azadones, horcas, ganchos para formar surcos y todos los demás elementos que sean necesarios para ejecutar correctamente los trabajos especificados. Se puede requerir un vehículo apropiado para manejo de alturas.

802.4 Ejecución de los trabajos

802.4.1 Aspectos generales

La ejecución de los trabajos de poda de árboles se debe hacer siguiendo las indicaciones y los procedimientos definidos de los documentos del proyecto y aprobados del plan de ejecución, teniendo en cuenta los lineamientos establecidos en la Guía de Manejo Ambiental del Proyectos de Infraestructura – Sector Vial, del Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), por la autoridad ambiental y por entidades especializadas en el área forestal como jardines botánicos, consul-

toras ambientales, organizaciones no gubernamentales, entre otras.

La poda de ramas, raíces y, eventualmente, partes del tronco, se debe realizar por medio de tijeras para podar, serruchos o moto sierra, dependiendo del calibre o diámetro de la estructura vegetal. No se debe emplear machete.

Debe aplicarse el cicatrizante de forma inmediata en los cortes limpios realizados. Estos cicatrizantes pueden ser de tipo hormonal, sábila, pintura de aceite mezclada con un fungicida.

Para todos los casos, el constructor debe verificar el cumplimiento de todas las medidas ambientales (artículo 106, Aspectos ambientales) y de seguridad (artículo 102).

Además, de establecer actividades de poda de plantación, se pueden ejecutar actividades de poda de formación, según las particularidades del proyecto. La poda puede ser, debido al tipo de corte, como la poda de raleo o aclareo y despunte o rebaje, que tienen como función mejorar el aspecto de los árboles o arbustos ubicados próximos a la vía.

En caso de que se requiera, se deben tener los permisos correspondientes de aprovechamiento forestal, otorgados por la respectiva autoridad ambiental regional.

802.4.2 Supervisión técnica

Para la planeación y la dirección de los trabajos de poda de árboles, el constructor debe tener dentro de su equipo, un profesional del área forestal con experiencia en este tipo de trabajos. El plan de ejecución de la poda de árboles y todos los informes de seguimiento de estos trabajos, deben ser firmados por este profesional, junto con el director de obra del constructor.

802.4.3 Planeación y seguimiento

Antes de iniciar los trabajos de poda de árboles, el constructor debe presentar el plan detallado de ejecución de los trabajos que incluya un inventario y la localización de los árboles por podar y los procedimientos detallados de ejecución. Este plan de ejecución de los trabajos debe contar, previa y obligatoriamente, con el permiso y/o salvoconducto de la autoridad ambiental competente; también, con la aprobación del interventor y atender sus indicaciones. El constructor debe presentar el plan de compensación y resolución de aprovechamiento forestal, expedido por la autoridad ambiental y, posteriormente la interventoría, verifican el cabal cumplimiento de lo aprobado.

El plan de ejecución debe incluir un sistema de evaluación y seguimiento que permita constatar el desarrollo de la actividad. Durante la ejecución de los trabajos de poda de árboles, se deben realizar visitas que, en lo posible, cuenten con la participación de la autoridad ambiental competente, siendo obligatoria la presencia del profesional en ingeniería forestal citado en el numeral 802.4.2.

El constructor, por intermedio de su especialista forestal y su director de obra, debe elaborar y suscribir los informes de estas visitas, en los cuales se deben incluir fichas de seguimiento con el respectivo registro fotográfico.

A la terminación del proyecto, el constructor debe presentar un informe final de la actividad de poda de árboles, elaborado y suscrito por su especialista forestal y el director de obra. El

plan de compensación forestal debe tener un seguimiento trimestral por tres (3) años; este seguimiento comúnmente lo pueden llevar a cabo las organizaciones no gubernamentales especializadas o empresas consultoras de lo ambiental

802.4.4 Poda de la parte aérea

Las ramas delgadas, de menos de un centímetro (1 cm) de diámetro, se pueden cortar en una sola operación, con tijeras de podar.

Las ramas más gruesas deben cortarse con serrucho o moto sierra, en varios pasos; se debe realizar primero un corte por debajo de cada rama, luego otro por encima hasta que la rama se desprenda.

El constructor debe contar en su equipo de trabajo con un profesional que garantice el cumplimiento de todas las medidas de seguridad a la luz de las disposiciones del artículo 102.

802.4.5 Poda de la parte radicular

Para la poda de las raíces, debe realizarse una excavación alrededor del árbol, de unos setenta centímetros (70 cm) de ancho, hasta una profundidad tal que ya no se encuentren raíces de diámetro superior a doce milímetros (12 mm). El diámetro de la excavación debe depender del diámetro de la parte radicular por podar.

Una vez se hayan cortado las raíces y aplicado el cicatrizante, debe conformarse el relleno de la excavación, usando los materiales indicados en el numeral 802.2.1 y el artículo 220, de estas especificaciones.

802.4.6 Limpieza y disposición de sobrantes

Todos los materiales sobrantes deben ser retirados y dispuestos en los sitios señalados en los documentos del proyecto que concuerden con los sitios autorizados por la autoridad ambiental competente en la región. En lo posible, se debe buscar que los residuos vegetales producto de la poda reduzcan su tamaño considerablemente y se debe disponer en un sitio donde inicien un proceso de descomposición natural, como una unidad productiva, una granja, incluso un fragmento de bosque.

802.4.7 Manejo ambiental

Adicional a los aspectos generales dispuestos en el artículo 106, de estas especificaciones, todas las labores requeridas para el trasplante de árboles deben realizarse teniendo en cuenta lo estipulado en los estudios y evaluaciones ambientales del proyecto, así como en las normas y disposiciones vigentes sobre conservación del ambiente, los recursos naturales y protección de la comunidad. Por tanto, todas las determinaciones referentes a los trabajos de poda de árboles deben ser tomadas considerando la protección del medio ambiente y las regulaciones vigentes sobre el particular.

En especial, se debe tener en cuenta que, para poder ejecutar la actividad de poda de árboles, deben haberse adelantado previamente los trámites requeridos ante la autoridad ambiental competente para obtener los respectivos permisos; también, que la actividad se debe adelantar bajo las directrices ambientales que, para estos fines, se encuentren vigentes,

llevando a cabo los seguimientos y elaborando los informes solicitados en los numerales 802.4.2 y 802.4.3.

En caso de requerir hacer uso de agua, se recomienda que sea agua lluvia y que el pH sea normal entre cinco y cinco coma cinco (5 – 5,5). Debe revisarse que el material de relleno sea biodegradable y cumpla con el Análisis del Ciclo de Vida (ACV).

Se sugiere evitar el uso de insecticidas, estos son compuestos químicos que pueden afectar a nivel ambiental, como efectos en la flora, la fauna, el suelo, el sistema hídrico y la atmósfera.

802.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

802.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Verificar que los árboles podados sean los inventariados para esta actividad.
- Constatar la calidad de los insumos, de acuerdo con los requisitos establecidos en el numeral 802.2.
- Corroborar el correcto retiro y disposición del material sobrante.
- Supervisar el cumplimiento de todas las medidas ambientales y de seguridad requeridas.

Para el pago, el interventor se debe encargar de hacer la medición del trabajo correctamente ejecutado por el constructor, de acuerdo con la presente especificación.

El interventor debe verificar que el constructor disponga de todos los permisos requeridos y que cuente con los planes de ejecución, ajustados a la legislación ambiental vigente, antes de iniciar las labores de poda de árboles; así mismo, debe constatar el cumplimiento y la entrega de los informes solicitados en los numerales 802.4.2 y 802.4.3.

El plan de calidad y el plan de inspección, medición y ensayo, son de obligatorio cumplimiento tal como se encuentra expresado en el numeral 103.2 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor.

802.5.2 Condiciones específicas para el recibo

Los trabajos de poda de árboles se deben recibir si cumplen con las condiciones funcionales, paisajísticas y técnicas contempladas en los documentos del proyecto; además, si los insumos empleados cumplen los requisitos de calidad correspondientes y si el área objeto de poda se encuentre libre del material sobrante.

802.6 Medida

La unidad de medida de la poda de árboles debe ser la unidad (u) de árbol podado en concordancia con los documentos del proyecto y establecidos en el plan de inspección, medición y ensayo aprobado por la interventoría.

Para efectos de pago, no se debe medir la poda que requieran los árboles que vayan a ser trasladados.

802.7 Forma de pago

El pago de la poda de árboles se debe hacer al respectivo precio unitario del contrato, por todo trabajo ejecutado de acuerdo con esta especificación y aceptado a satisfacción por el interventor.

El precio unitario debe incluir todos los costos de personal, suministros, equipos y herramientas; el suministro y la aplicación de cicatrizantes, tierra orgánica, fertilizantes, abonos, insecticidas y demás materiales requeridos; la aplicación de agua para riego; el retiro y disposición de sobrantes; la limpieza final; los desperdicios y el manejo adecuado de ellos; las labores de supervisión técnica y de planeación y seguimiento a que se hace referencia en los numerales 802.4.2 y 804.4.3, respectivamente; la excavación y relleno de la misma, en el caso de la poda de la parte radicular y, en general, todo costo adicional relacionado con la correcta ejecución de los trabajos especificados.

El precio unitario debe incluir, también, los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

802.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
802.1	Poda de la parte aérea de árboles tipo I	Unidad (u)
802.2	Poda de la parte aérea de árboles tipo II	Unidad (u)
802.3	Poda de la parte aérea de árboles tipo III	Unidad (u)
802.4	Poda de la parte aérea de árboles tipo IV	Unidad (u)
802.5	Poda de la parte radicular de árboles tipo I	Unidad (u)
802.6	Poda de la parte radicular de árboles tipo II	Unidad (u)
802.7	Poda de la parte radicular de árboles tipo III	Unidad (u)
802.8	Poda de la parte radicular de árboles tipo IV	Unidad (u)

Protección vegetal de taludes

Artículo 810– 22

810.1 Descripción

Este trabajo estriba en la protección de taludes de terraplenes, excavaciones y otras áreas del proyecto, en los sitios indicados en los planos o determinados por el interventor, y en caso de ser necesario, deben ser avalados por la autoridad ambiental, empleando materiales vegetales. El trabajo debe incluir, además, la conservación de las áreas tratadas hasta el recibo definitivo de los trabajos.

El presente artículo se refiere a las siguientes opciones de protección:

- Trasplante de césped.
- Colocación de tierra orgánica con material vegetal o enriquecida con micorrizas.
- Hidrosiembra controlada.

Los documentos del proyecto o el pliego de condiciones deben indicar el tipo de tratamiento por aplicar en cada caso específico.

810.2 Materiales

810.2.1 Bloques de césped

Los bloques de césped para la empradización pueden ser vegetativos o de tipo sexual (con semilla), deben ser de forma aproximadamente rectangular y dimensiones regulares; deben provenir de cultivos tecnificados debidamente controlados y elaborados en viveros especializados, a no ser que hayan sido obtenidos del descapote durante las operaciones de la excavación de la explanación descritas en el artículo 210, Excavación de la explanación, canales y préstamos, de las presentes especificaciones. No se deben aceptar bloques de césped que hayan sido obtenidos de terrenos que se vean afectados por el retiro de esta protección vegetal. Se debe informar a la autoridad ambiental sobre su procedencia y contar con el correspondiente aval para su empleo.

Los bloques deben tener las raíces del pasto sanas y adheridas a la capa de tierra orgánica.

810.2.2 Tierra orgánica

La tierra orgánica debe provenir, preferiblemente, del descapote del proyecto, aunque previa autorización del interventor, se deben aceptar de áreas localizadas fuera del proyecto. Debe informarse a la autoridad ambiental sobre su procedencia y contar con el correspondiente aval para su empleo. La tierra orgánica debe conformarse por un suelo de origen superficial, con contenido orgánico, libre de piedras, ramas, restos vegetales de gran calibre, escombros, desperdicios no degradables y cualquier otro elemento extraño y nocivo para los fines de la protección. La tierra orgánica se puede preparar con tierra negra, abono orgánico, cascarilla de arroz o arena, y/o enriquecida con micorrizas.

810.2.3 Materiales para protección con hidrosiembra

810.2.3.1 Semillas

Se deben utilizar semillas de pastos o de especies propias de la zona o que se adapten con facilidad a ella, de las características indicadas en los documentos del proyecto u otras propuestas por el constructor y autorizadas por el interventor y que, en conjunto, aseguren la cobertura vegetal del talud en forma permanente.

Para determinar las semillas a utilizar se recomienda tener en cuenta la ubicación, considerando la contaminación por emisiones de vehículos y las condiciones climatológicas.

Toda partida de semillas que se utilice debe venir empacada y debidamente etiquetada por el proveedor.

Las semillas y sus proporciones deben ser las señaladas en los documentos del proyecto y deben depender del lugar y del tipo de terreno donde se coloquen. Las semillas a emplear deben cumplir con una germinación mínima de ochenta y noventa y cinco por ciento (80 % – 95 %) de pureza, lo que debe ser certificado por un laboratorio o una institución competente. Para este efecto, se debe validar la certificación externa que entregue el proveedor de las semillas. Las dosificaciones mínimas indicadas se deben referir a semillas en estado seco o de almacenamiento. Para ello el constructor debe tener en su equipo de trabajo un ingeniero forestal que debe garantizar que las semillas sean adquiridas en sitios certificados y cumplan con las especificaciones que se dispongan por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y las autoridades competentes.

En todos los casos el interventor, en función del cumplimiento de estas especificaciones, debe aprobar la aplicación de las semillas para el proceso de protección de los taludes.

810.2.3.2 Fibra o mulch hidráulico

Para proteger las semillas o la vegetación durante la germinación del efecto negativo del agua, debe emplearse un producto específico para hidrosiembra ya sea de fibra de madera, celulosa, o una combinación de ambos, en las dosis que el fabricante indique y que sea el establecido en los documentos del proyecto o aceptado por el interventor.

810.2.3.3 Fijador o aglomerante estabilizador

Se deben utilizar dos (2) clases de adherentes, cuya función debe ser la de mantener unidas las fibras de mulch con las semillas a la superficie por tratar y un floculante que haga el efecto dispersante en la solución.

La formulación para el aglomerante estabilizador debe estar de acuerdo con las dosis establecidas por los fabricantes y debe ser la definida en los documentos del proyecto.

810.2.3.4 Agua de mezcla para la hidrosiembra

El agua para utilizar debe cumplir con el requisito de ser limpia, no necesariamente potable, preferiblemente agua lluvia. En ningún caso se puede utilizar agua contaminada químicamente, se debe garantizar que no

tenga elementos extraños ni suciedad evidente, y que, en todos los casos, cumpla con las recomendaciones del fabricante de acuerdo con el tipo de siembra.

810.2.4 Fertilizantes e insecticidas

Deben emplearse los fertilizantes e insecticidas adecuados para cada tipo de tratamiento, según lo estipulen los documentos técnicos del proyecto. Los fertilizantes a emplear deben aportar los elementos necesarios para el desarrollo de las especies sembradas. Pueden ser órgano-minerales o minerales y deben proporcionar los macronutrientes y micronutrientes esenciales para un buen establecimiento y óptimo desarrollo de la vegetación.

Cuando el constructor use fertilizantes e insecticidas para la protección vegetal de taludes, debe garantizar que estos no puedan llegar a las fuentes hídricas o ecosistemas estratégicos.

810.2.5 Agua para riego

Cualquiera sea el tipo de tratamiento de protección que se emplee, el agua para riego debe tener las características descritas en el numeral 810.2.3.4 del agua para hidrosiembra.

810.3 Equipo

El constructor debe disponer de los equipos y herramientas necesarios para asegurar que los trabajos de protección de los taludes tengan la calidad exigida y se garantice el cumplimiento de su programa de ejecución.

En particular, el equipo requerido para la hidrosiembra debe estar compuesto por agitadores hidráulicos y/o mecánicos que sean capaces de mantener la solución en emulsión constante y proyectarla vía aspersión sobre el terreno desnudo. Los elementos para la aplicación de los riegos periódicos deben ser de tipo aspersor u otros similares que apliquen el agua en forma de lluvia fina.

Según lo dispuesto en el artículo 102, Aspectos generales de seguridad y salud, el constructor debe disponer, además, de las herramientas, rastrillos, azadones, horcas, ganchos para formar surcos, cuerdas, cinturones de seguridad, cascos, estacas, palas, balanzas, envases calibrados y todos los demás elementos que sean necesarios para ejecutar correctamente los trabajos especificados.

810.4 Ejecución de los trabajos

810.4.1 Momento para la colocación de la protección del talud

La protección vegetal de los taludes se debe realizar lo más pronto posible, después que cada uno de los cortes o terraplenes está terminado en su fase de movimiento de tierras. Si esto ocurre en época seca, la protección del talud se puede aplazar, según lo permita el cronograma de trabajo y lo apruebe el interventor para el siguiente período de lluvias y se debe programar teniendo en cuenta el desarrollo de una protección vegetal aceptable al inicio de la temporada seca.

No obstante, el constructor debe sembrar en cualquier época, si así lo exigen el plazo de ejecución de las obras o el interventor y debe realizar los riegos necesarios con el fin de mantener la humedad adecuada para una buena germinación y la consecuente eficacia de la protección.

810.4.2 Preparación de la superficie existente

El interventor solamente debe autorizar la ejecución de los trabajos si la superficie por proteger presenta la uniformidad requerida para garantizar el éxito de ellos. Si la superficie tiene irregularidades que excedan las tolerancias determinadas en las especificaciones respectivas, de acuerdo con lo prescrito en las unidades de obra correspondientes, el constructor debe hacer los ajustes necesarios, a satisfacción del interventor.

Los taludes por tratar deben tener un adecuado encauce de las aguas, debido a las lluvias que se puedan presentar durante la instalación y causar daños al trabajo, los cuales, en caso de que se produzcan, deben ser reparados por el constructor bajo su cuenta y riesgo, previa aprobación por parte de la interventoría.

Adicionalmente, se debe realizar una limpieza previa para evitar todo material suelto o susceptible de caer sobre la zona que se va a proteger.

Si el talud no cuenta con la rugosidad apropiada para la colocación de la protección, se debe conformar mediante un procedimiento adecuado, como rastrillado paralelo a la horizontal o formación de surcos convenientemente espaciados de quince a cuarenta centímetros (15 cm – 40 cm), de acuerdo con la dureza del terreno.

Utilizando herramientas manuales, el constructor debe corregir los surcos verticales y otras marcas inconvenientes. Se debe considerar la preparación de surcos horizontales como complemento al escarificado y como una forma de mejorar el desempeño del riego, en el caso de la hidrosiembra.

En el tratamiento por hidrosiembra, se puede soltar o descompactar una delgada capa de suelo, no mayor de cinco centímetros (5 cm), con el fin de facilitar el enterramiento de las semillas y el enraizamiento inicial. En caso de que se detecten derrames de material sin compactar, zonas de baja densidad o superficies con excesiva pendiente, no se deben ejecutar trabajos de siembra hasta solucionar las deficiencias del talud. La solución debe proponerla el constructor y ejecutarla cuando cuente con la aprobación del interventor .

Se debe tratar de conservar la vegetación espontánea que pueda existir en el talud, salvo que sea perjudicial para la colocación de la protección específica. Si se considera necesario, se debe segar o cortar la vegetación espontánea; este corte se debe realizar cuando la altura de la vegetación alcance o sobrepase los treinta centímetros (30 cm).

Los residuos vegetales de la siega o del corte se deben retirar, cuando constituyan una capa perjudicial para la buena repartición de la protección sobre el terreno.

810.4.3 Protección mediante trasplante de césped

Sobre la superficie preparada se debe aplicar fertilizante del tipo y en la cantidad que lo indiquen los documentos del proyecto y, a continuación, se deben extender los bloques de césped haciéndolos coincidir en la mejor forma posible, evitando traslapos y vacíos y buscando que los extremos del área empradizada empalmen armónicamente con el terreno natural adyacente.

En las uniones de los bloques se debe colocar tierra orgánica. Una vez plantada la superficie, se debe regar de manera abundante y, en lo sucesivo, diariamente sin limitación o de acuerdo con las indicaciones del interventor ; además, se debe apisonar con frecuencia con un cilindro manual, a fin de emparejarla y detectar las irregularidades, la cuales deben ser corregidas por el constructor, a satisfacción del interventor .

810.4.4 Protección del talud con tierra orgánica (material vegetal)

Luego de la fase de preparación, se debe esparcir en forma uniforme el suelo vegetal produciendo una cobertura de cinco a veinte centímetros (5 cm – 20 cm) de espesor para césped y para la siembra de arbustos mínimo con uno a tres kilogramos (1 kg – 3 kg) de tierra negra, según se señale en los documentos del proyecto, sobre el talud por proteger. Este proceso debe realizarse manualmente.

Para disminuir el potencial de erosión, puede ser necesaria una compactación manual de esta capa.

Con el propósito de mejorar su adherencia con la superficie del talud, este se debe humedecer o escarificar superficialmente antes de recibir el material de protección.

El nivel de fertilización debe depender de un análisis del suelo del terreno, el cual debe realizarse antes de la puesta en marcha de la obra. Si no se ha especificado en los documentos del proyecto, el tipo de fertilizante lo debe determinar el constructor a través de su especialista; este fertilizante debe contar con la aprobación del interventor .

El tratamiento con tierra orgánica se debe emplear, de preferencia, en la protección de taludes de terraplenes.

810.4.5 Protección mediante hidrosiembra controlada

Tras el trabajo de preparación de la superficie, se debe proceder inmediatamente a la hidrosiembra que, en una (1) o dos (2) pasadas, debe aportar todos los elementos al suelo: semillas, fertilizantes, mulch y adherente.

Un buen resultado debe depender de que no llueva durante el lapso que transcurra entre el término de la preparación del suelo y el inicio de la hidrosiembra. Si la lluvia ocurre, debe repetirse el proceso.

El riego de instalación se debe hacer de forma uniforme en toda la superficie. La dosificación de la boquilla debe ser del tipo lluvia fina para no producir daños o erosión.

810.4.6 Fertilización

En todos los casos, se debe considerar al menos una fertilización principal y una de mantenimiento. La fertilización principal se debe realizar junto con la siembra de la superficie; los materiales y dosificaciones deben indicarse en los documentos del proyecto. Durante el proceso de crecimiento, se debe completar la fertilización según requerimiento del interventor. Los niveles anteriores son considerados como mínimos. De acuerdo con un plan de fertilización presentado por el constructor y aprobado por el interventor, las fertilizaciones pueden realizarse en conjunto con los riegos de agua a las protecciones instaladas.

810.4.7 Riego y conservación

El riego se debe realizar exclusivamente por el método de aspersión u otro similar, siempre que resulte en forma de lluvia fina.

Se debe aplicar a partir del día siguiente de la colocación de la protección y no debe haber límite en cuanto a su frecuencia. Solamente se debe cuidar de no provocar escurrimiento superficial, para lo cual se deben efectuar pasadas rápidas, lanzando el agua desde prudente distancia y hacia arriba, de forma tal que las gotas pierdan su energía. De preferencia, el regado debe hacerse temprano en la mañana y al atardecer.

La frecuencia de los riegos debe depender tanto de las condiciones climáticas como del sistema de protección utilizado y del estado de la cubierta vegetal y debe ser suficiente para asegurar, junto con las fertilizaciones, que durante todo el proceso se presenten los niveles adecuados de germinación y desarrollo de las plantas.

Adicionalmente, se debe requerir de poda en caso de que la vegetación sobrepase la corona de la vía, obstruya algún dispositivo de drenaje o impida una adecuada visibilidad en la vía. Esta actividad debe realizarse siempre que sea necesario, previa aprobación del interventor y, en forma permanente, hasta el recibo definitivo de los trabajos.

810.4.8 Manejo ambiental

Además de los aspectos generales dispuestos en el artículo 106, Aspectos ambientales, de estas especificaciones, todas las labores requeridas para la protección vegetal de taludes deben llevarse a cabo teniendo en cuenta lo establecido en los estudios y evaluaciones ambientales del proyecto, así como las normas y disposiciones vigentes sobre conservación del ambiente, los recursos naturales y la protección de la comunidad. Por tanto, todas las determinaciones referentes a los trabajos de protección vegetal de taludes, las técnicas de recuperación de la cobertura vegetal en taludes y la hidrosiembra, deben ser tomadas considerando la protección del medio ambiente y las disposiciones vigentes sobre el particular.

Se debe poner especial cuidado a los insumos utilizados para la hidrosiembra, al igual que a los fertilizantes e insecticidas utilizados en el trabajo y al tratamiento de las zonas de las cuales se deben extraer los bloques de césped cuando se vaya a emplear este sistema de protección.

No se debe aceptar el uso de especies transgénicas sin aprobación del interventor y sin la autorización de las autoridades ambientales competentes; para este caso, debe tenerse un concepto de la autoridad competente, en el marco del cumplimiento de las normas que reglamentan la temática y con base en los reglamentos de su uso específico, en concordancia con la suscripción de convenios que posea el país con organismos internacionales.

810.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

810.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos, se deben tener en cuenta los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y el funcionamiento del equipo utilizado por el constructor.
- Comprobar que los materiales cumplan los requisitos de calidad exigidos en el inciso que corresponda del numeral 810.2, según el tipo de protección por utilizar.
- Revisar que el trabajo se ejecute de acuerdo con los documentos del proyecto y las exigencias del presente artículo.
- Corroborar el cumplimiento de todas las medidas ambientales (artículo 106) y de seguridad (artículo 102) requeridas.
- Vigilar que se efectúe un mantenimiento adecuado del área protegida hasta su recibo definitivo.

Para efectos de pago, el interventor debe proceder con la medición del trabajo ejecutado por el constructor en concordancia con la presente especificación.

El plan de calidad y el plan de inspección, medición y ensayo, son de obligatorio cumplimiento tal como se encuentra expresado en el numeral 103.2 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor.

810.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

El interventor no debe recibir los trabajos antes de noventa días (90 d) de concluidos los trabajos de protección. En el momento del recibo definitivo, el área protegida no puede presentar irregularidades o desperfectos y debe encontrarse podada a satisfacción del interventor, cuando se hayan presentado las circunstancias citadas en el numeral 810.4.7.

En caso de que no haya germinación de las semillas en terrenos aptos para sostener vegetación en forma permanente y, por lo tanto, no quede garantizada la cobertura vegetal especificada, el constructor debe repetir los procesos de sembrado para recuperar los sectores sin prendimiento bajo su propia cuenta y riesgo.

Si por cualquier circunstancia el prendimiento de la primera siembra es deficiente a criterio del interventor, o produce daños de cualquier origen, se debe proceder a resembrar. El proceso de resiembra se debe repetir las veces que sea necesario en las áreas que lo requieran y, con base en las necesidades, puede ser parcial aportando solamente las especies cuyo prendimiento fue negativo, si el interventor así lo autoriza. No se debe considerar pago adicional por los procesos de resiembra.

810.6 Medida

La unidad de medida de la protección vegetal de taludes debe ser el metro cuadrado (m^2), aproximado al entero, de área protegida de acuerdo con los documentos del proyecto y establecidos en el plan de inspección, medición y ensayo aprobado por la interventoría. La medida se debe hacer sobre la proyección inclinada de la superficie del talud.

El resultado de la medida debe reportarse con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

No se deben incluir en la medida, áreas con protección vegetal por fuera de los límites autorizados por el interventor.

810.7 Forma de pago

El pago de la protección vegetal del talud se debe hacer al respectivo precio unitario del contrato, por todo trabajo ejecutado en observancia de esta especificación y aprobado por el interventor.

El precio unitario debe incluir todos los costos de preparación de la superficie existente, salvo que dicha labor forme parte de otra partida de trabajo del mismo contrato; el suministro en el lugar y la colocación de todos los materiales requeridos para la protección; la compactación de la superficie tratada cuando corresponda; el riego y la poda periódicos del área tratada; el suministro y la aplicación de fertilizantes, insecticidas y demás materiales requeridos para la conservación del área protegida hasta su recibo definitivo; los desperdicios y el manejo adecuado de ellos y, en general, todo costo adicional relacionado con la correcta ejecución de los trabajos especificados.

El precio unitario debe incluir, también, los costos de administración, imprevistos y la utilidad del constructor.

810.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
810.1	Protección de taludes con bloques de césped	Metro cuadrado (m^2)
810.2	Protección de taludes con tierra orgánica	Metro cuadrado (m^2)
810.3	Protección de taludes con hidrosiembra controlada	Metro cuadrado (m^2)

Protección de taludes con productos enrollados para control de erosión

Artículo 811 – 22

811.1 Descripción

Esta especificación se refiere al uso e instalación de sistemas para control de erosión que faciliten el establecimiento de la vegetación natural en taludes o laderas geotécnicamente estables, con el objetivo de controlar el proceso erosivo. Considera la instalación de Productos Enrollados para Control de Erosión (PECE).

811.1.1 Definiciones

Productos Enrollados para Control de Erosión (PECE, por sus siglas del inglés Rolled Erosion Control Products (RECP)), son materiales fabricados en rollos y diseñados para reducir la erosión del suelo y ayudar en el crecimiento, el asentamiento y la protección de la vegetación. Los PECE pueden ser de carácter temporal o permanentes.

Producto enrollado temporal para control de erosión: tiene aplicación donde la vegetación natural (por sí sola) provee suficiente protección contra la erosión. Los productos que se utilizan en estos casos tienen la duración y las propiedades necesarias para establecer la vegetación a corto plazo bajo las condiciones naturales del sitio.

El producto enrollado permanente para control de erosión se debe aplicar donde la vegetación natural (por sí sola) no es suficiente para resistir las condiciones de flujo y no provee la protección suficiente para la erosión a largo plazo. Los productos que se deben emplear en estos casos deben tener las propiedades necesarias para reforzar la vegetación bajo las condiciones del sitio a largo plazo.

Los productos enrollados para control de erosión pueden ser de los siguientes tipos:

- Malla de control de mantillo (MCM, del inglés MCN): es una fibra natural tejida plana o una malla geosintética extruida que se utiliza como un PECE degradable temporal para anclar los mantillos de fibras sueltas. Esta clase consta de fibras naturales tejidas bidimensionales o redes de proceso geosintéticas orientadas biaxialmente que se utilizan para anclar mantillos de fibras sueltas como paja o heno. Las redes de control del mantillo se extienden sobre el área sembrada con mantillo y se grapan o estacan en su lugar.
- Textil de tejido abierto (TTA, del inglés OWT): es un PECE temporal integrado por hilos naturales o sintéticos, tejidos dentro de una matriz bidimensional, utilizado para brindar control de erosión y facilitar el establecimiento de la vegetación.
- Manto para control de erosión (MCE, del inglés ECB): es un PECE temporal, degradable, compuesto de fibras naturales o sintéticas unidas mecánica, estructural o químicamente, para formar una matriz

continua que provee control de erosión y facilita el establecimiento de vegetación.

- Manto para refuerzo de la vegetación (MRV, del inglés TRM): es un PECE permanente, compuesto por fibras sintéticas no degradables estabilizadas UV, hilos y/o filamentos procesados en matrices de refuerzo tridimensionales, diseñados para aplicaciones hidráulicas críticas en donde las descargas proyectadas excedan las velocidades y los esfuerzos cortantes soportados por la vegetación natural. Los MRV deben tener el espesor, la resistencia y los vacíos suficientes para retener partículas de suelo y permitir el desarrollo de la vegetación a través de la matriz.

Para la colocación de los tejidos y mantos deben tenerse en cuenta: la preparación del sitio, la colocación de semillas, el anclaje y la instalación de los mantos sobre los taludes. Las especificaciones y el procedimiento de instalación deben depender de las características físicas del suelo para determinar el producto a instalar que permita mejorar la estructura del suelo.

Para los casos en los que el periodo de vida útil de los tejidos o mantos finaliza, el constructor se debe ceñir a las consideraciones ambientales mencionadas en el artículo 106, Aspectos ambientales.

811.2 Materiales

811.2.1 Productos enrollados temporales para control de erosión

En las Tablas 811 – 1, 811 – 2, 811 – 3 y 811 – 4 se indican los productos enrollados temporales para control de erosión que pueden ser suministrados. La descripción y el campo de utilización de los productos especificados se indican a continuación.

- Tipo 1A. Red para control de paja de degradación ultra rápida. Consiste en una malla sintética fotodegradable de rápida degradación o una red tejida de fibras naturales, biodegradable, con una longevidad funcional típica de tres (3) meses y debe estar diseñada para uso en taludes o laderas geotécnicamente estables, con inclinaciones hasta de cinco horizontal, uno vertical (5 H : 1 V).

- Tipo 1B. Manto para control de erosión sin red de degradación ultra rápida. Provee un manto para control de erosión compuesto de fibras naturales y/o poliméricas entrelazadas mecánicamente y/o adheridos químicamente para formar una matriz continua con una longevidad funcional típica de tres (3) meses y debe estar diseñada para ser usada en taludes y laderas geotécnicamente estables, con inclinaciones hasta de tres horizontal, uno vertical (3 H : 1 V).

- Tipo 1C. Textil de tejido abierto y manto para control de erosión de red simple y degradación ultra rápida. Puede ser cualquiera de los siguientes materiales:

  - Un manto para control de erosión compuesto de fibras naturales o sintéticas degradables, mecánicamente unidas por una red de fibras naturales o sintéticas de rápida degradación para formar una matriz continua.
  - Un textil de tejido abierto compuesto de hilos poliméricos o naturales de

Tabla 811 – 1. Especificaciones de productos enrollados de degradación ultra rápida (longevidad funcional de tres (3) meses)

Ultra corto plazo – Longevidad funcional típica de tres (3) meses			Factor C	Esfuerzo cortante	Resistencia a la tracción del material (MD)	Resistencia a la tracción del material (TD)	Espesor del material	Cobertura de tierra	Masa del material	Instalada en pendiente escarpada
Tipo	Descripción del producto	Composición del material	Prueba de rendimiento	Prueba de rendimiento	Caracterizado por la ASTM D6818 – NTC 5876	Caracterizado por la ASTM D6818 – NTC 5876	Caracterizado por la ASTM D6525 – NTC 5879	Caracterizado por la ASTM D6567 – NTC 5957	Caracterizado por la ASTM D6475	Máx.
1.A	Malla / Red de tejido abierto	Una malla sintética fotodegradable o una malla tejida de fibra natural biodegradable.	≤ 0,1	≥ 1 lbs/ft^2 (48 Pa)	≥ 125 lbs/ft (1,8 kN/m)	≥ 10 lbs/ft (0,1 kN/m)	≥ 0,3 pulgadas (0,76 mm)	≥ 3 %	≥ 0,2 oz/yd^2 (7 g/m^2)	5 : 1 (H : V)
1.B	Mantas de control de erosión enrolladas sin red	Fibras naturales y / o poliméricas entrelazadas mecánicamente y / o adheridos químicamente para formar un RECP.	≤ 0,1	≥ 1 lbs/ft^2 (48 Pa)	≥ 125 lbs/ft (1,8 kN/m)	≥ 10 lbs/ft (0,1 kN/m)	≥ 0,3 pulgadas (0,76 mm)	≥ 50 % – ≤ 90 %	≥ 10 oz/yd^2 (339 g/m^2)	3 : 1 (H : V)
1.C	Mantas de control de erosión de red única	Fibras naturales y / o poliméricas degradables procesadas unidas mecánicamente por una única degradación rápida, Redes de fibras sintéticas o naturales.	≤ 0,1	≥ 1,5 lbs/ft^2 (72 Pa)	≥ 60 lbs/ft (0,9 kN/m)	≥ 20 lbs/ft (0,3 kN/m)	≥ 0,25 – ≤ 0,5 pulgadas (≥ 6,4 – ≤ 12,7 mm)	≥ 50 % – ≤ 90 %	≥ 8 oz/yd^2 (271 g/m^2)	3 : 1 (H : V)
1.D	Mantas de control de erosión de doble red	Fibras naturales y / o poliméricas degradables procesadas unidas mecánicamente entre dos (2) mallas de fibras naturales, sintéticas de rápida degradación.	≤ 0,1	≥ 1,75 lbs/ft^2 (84 Pa)	≥ 75 lbs/ft (1,1 kN/m)	≥ 40 lbs/ft (0,6 kN/m)	≥ 0,25 – ≤ 0,5 pulgadas (≥ 6,4 – ≤ 12,7 mm)	≥ 50 % – ≤ 90 %	≥ 8 oz/yd^2 (271 g/m^2)	2 : 1 (H : V)

Tabla 811 – 2. Especificaciones de productos enrollados de degradación de corto plazo (longevidad funcional de doce (12) meses).

Corto plazo – Longevidad funcional típica de doce (12) meses			Factor C	Esfuerzo cortante	Resistencia a la tracción del material (MD)	Resistencia a la tracción del material (TD)	Espesor del material	Cobertura de tierra	Masa del material	Instalada en pendiente escarpada
Tipo	Descripción del producto	Composición del material	Prueba de rendimiento	Prueba de rendimiento	Caracterizado por la ASTM D6818 – NTC 5876	Caracterizado por la ASTM D6818 – NTC 5876	Caracterizado por la ASTM D6525 – NTC 5879	Caracterizado por la ASTM D6567 – NTC 5957	Caracterizado por la ASTM D6475	Máx.
2.A	Malla /Red de tejido abierto	Una malla sintética fotodegradable o una red tejida de fibra natural biodegradable	≤ 0,1	≥ 1 lbs/ft^2 (48 Pa)	≥ 125 lbs/ft (1,8 kN/m)	≥ 10 lbs/ft (0,1 kN/m)	≥ 0,3 pulgadas (0,76 mm)	≥ 3 %	≥ 0,2 oz/yd^2 (7 g/m^2)	5 : 1 (H : V)
2.B	Mantas de control de erosión enrolladas sin red	Fibras naturales y / o poliméricas entrelazadas mecánicamente y / o adheridas químicamente para formar un RECP.	≤ 0,1	≥ 1 lbs/ft^2 (48 Pa)	≥ 125 lbs/ft (1,8 kN/m)	≥ 10 lbs/ft (0,1 kN/m)	≥ 0,3 pulgadas (0,76 mm)	≥ 50 % – ≤ 90 %	≥ 10 oz/yd^2 (339 g/m^2)	3 : 1 (H : V)
2.C	Mantas de control de erosión de red única	Fibras degradables naturales o sintéticas procesadas mecánicamente para mantenerlas unidas por una red simple sintética degradable o de fibras naturales para formar una matriz continua; Un textil de tejido abierto compuesto por hilos naturales o poliméricos en una matriz continua.	≤ 0,1	≥ 1,5 lbs/ft^2 (72 Pa)	≥ 60 lbs/ft (0,9 kN/m)	≥ 20 lbs/ft (0,3 kN/m)	≥ 0,25 – ≤ 0,5 pulgadas (≥ 6,4 – ≤ 12,7 mm)	≥ 50 % – ≤ 90 %	≥ 8 oz/yd^2 (271 g/m^2)	3 : 1 (H : V)
2.D	Mantas de control de erosión de doble red	Fibras naturales y / o poliméricas degradables procesadas unidas mecánicamente entre dos (2) mallas de fibras naturales, sintéticas rápidamente degradables.	≤ 0,1	≥ 1,75 lbs/ft^2 (84 Pa)	≥ 75 lbs/ft (1,1 kN/m)	≥ 40 lbs/ft (0,6 kN/m)	≥ 0,25 – ≤ 0,5 pulgadas (≥ 6,4 – ≤ 12,7 mm)	≥ 50 % – ≤ 90 %	≥ 8 oz/yd^2 (271 g/m^2)	2 : 1 (H : V)

Tabla 811 – 3. Especificaciones de productos enrollados de degradación de plazo extendido de (longevidad funcional de veinticuatro (24) meses).

Plazo extendido – Longevidad funcional típica de veinticuatro (24) meses			Factor C	Esfuerzo cortante	Resistencia a la tracción del material (MD)	Resistencia a la tracción del material (TD)	Espesor del material	Cobertura de tierra	Masa del material	Instalada en pendiente escarpada
Tipo	Descripción del producto	Composición del material	Prueba de rendimiento	Prueba de rendimiento	Caracterizado por la ASTM D6818 – NTC 5876	Caracterizado por la ASTM D6818 – NTC 5876	Caracterizado por la ASTM D6525 – NTC 5879	Caracterizado por la ASTM D6567 – NTC 5957	Caracterizado por la ASTM D6475	Máx.
3.A	Textiles de tejido abierto	Red de tejido abierto, red sintética de degradación lenta o una red tejida de fibras naturales	≤ 0,05	≥ 2 lbs/ft^2 (96 Pa)	≥ 100 lbs/ft (1,5 kN/m)	≥ 40 lbs/ft (0,6 kN/m)	≥ 0,2 – ≤ 0,4 pulgadas (≥ 5,1 – ≤ 10,1 mm)	≥ 40 %	≥ 11 oz/yd^2 (373 g/m^2)	2 : 1 (H : V)
3.B	Mantas de control de erosión	Fibras de degradación lenta, naturales o sintéticas, procesadas mecánicamente para mantenerlas unidas entre dos (2) redes sintéticas de degradación lenta o de fibras naturales para formar una matriz continua; un textil de tejido abierto compuesto por hilos naturales o poliméricos de degradación lenta en una matriz continua.	≤ 0,05	≥ 2 lbs/ft^2 (96 Pa)	≥ 100 lbs/ft (1,5 kN/m)	≥ 40 lbs/ft (0,6 kN/m)	≥ 0,25 – ≤ 0,5 pulgadas (≥ 6,4 – ≤ 12,7 mm)	≥ 50 % – ≤ 95 %	≥ 8 oz/yd^2 (271 g/m^2)	1,5 : 1 (H : V)

Tabla 811 – 4. Especificaciones de productos enrollados de degradación de largo plazo de (longevidad funcional de treinta y seis (36) meses).

Largo plazo – Longevidad funcional típica de treinta y seis (36) meses (Nota 1)			Factor C (Nota 2)	Esfuerzo cortante (Nota 3)	Resistencia a la tracción del material (MD)	Resistencia a la tracción del material (TD)	Espesor del material	Cobertura terrestre	Masa del material	Instalada en pendiente escarpada
Tipo	Descripción del producto	Composición del material	Prueba de rendimiento	Prueba de rendimiento	Caracterizado por la ASTM D6818 – NTC 5876	Caracterizado por la ASTM D6818 – NTC 5876	Caracterizado por la ASTM D6525 – NTC 5879	Caracterizado por la ASTM D6567 – NTC 5957	Caracterizado por la ASTM D6475	Máx.
4.A	Textiles de tejido abierto	Red de tejido abierto compuesto de procesado lento degradar hilos naturales o poliméricos o cordeles tejidos en una matriz continua.	≤ 0,05	≥ 2,25 lbs/ft^2 (108 Pa)	≥ 100 lbs/ft (1,5 kN/m)	≥ 40 lbs/ft (0,6 kN/m)	≥ 0,2 – ≤ 0,4 pulgadas (≥ 5,1 – ≤ 10,1 mm)	≥ 40 %	≥ 11 oz/yd^2 (373 g/m^2)	1 : 1 (H : V)
4.B	Mantas de control de erosión	Una manta de control de erosión compuesta de procesado lento degradando fibras naturales o poliméricas unidas mecánicamente juntos entre dos (2) sintéticos o naturales de degradación lenta redes de fibra para formar una matriz continua.	≤ 0,05	≥ 2,25 lbs/ft^2 (108 Pa)	≥ 100 lbs/ft (1,5 kN/m)	≥ 40 lbs/ft (0,6 kN/m)	≥ 0,2 – ≤ 0,5 pulgadas (≥ 5,1 – ≤ 12,7 mm)	≥ 50 % – ≤ 95 %	≥ 8 oz/yd^2 (271 g/m^2)	1 : 1 (H : V)

Notas para las Tablas 811 – 1, 811 – 2, 811 – 3 y 811 – 4.

Nota 1: la longevidad funcional es solo una guía. La longevidad funcional puede variar de acuerdo con las condiciones climáticas y microbiológicas del sitio del proyecto.

Nota 2: las determinaciones del factor (C) y de la resistencia al corte se deben llevar a cabo en conjunto con la paja pre-aplicada.

Nota 3: los valores numéricos de la tabla corresponden al Valor Mínimo Promedio por Rollo (VMPR) en la dirección principal. Indican el VMPR, calculado como el valor típico menos dos (2) veces la desviación estándar. Estadísticamente, corresponde al noventa y siete coma siete por ciento (97,7 %) de probabilidad de confianza; es decir, cualquier muestra tomada durante una prueba de garantía de calidad, excede el valor divulgado.

Nota 4: factor (C), calculado como la tasa de pérdida de suelo con un manto para control de erosión que está protegiendo un suelo (ensayado al gradiente especificado o mayor (H : V)) respecto de la tasa de la pérdida de suelo sin protección modelado en un ensayo a gran escala. Este valor debe ser el factor (C) máximo de las pruebas estandarizadas de rendimiento de lluvia a gran escala, de la norma ASTM D6459 o equivalente considerado aceptable por el ingeniero.

Nota 5: (C) la resistencia mínima a esfuerzo cortante que puede soportar el producto (sin vegetación), sin presentar daño físico o erosión excesiva mayor de doce coma siete milímetros (> 12,7 mm) o cero coma cinco (0,5) pulgadas de pérdida de suelo durante una prueba de flujo por treinta minutos (30 min) a escala real. ASTM D6460 o equivalente considerado aceptable por el ingeniero.

Nota 6: los niveles de esfuerzo cortante admisibles establecidos para cada categoría están basados en experiencias históricas con productos caracterizados por valores del coeficiente de rugosidad de Manning en un rango de cero coma cero uno a cero coma cero cinco (0,01 – 0,05).

Nota 7: se pueden aceptar otros métodos de ensayo con pruebas a gran escala, según lo establezcan los documentos del proyecto o lo considere el interventor.

Nota 8: para la determinación de todas las propiedades, debe tenerse en cuenta, además, directrices que sobre las pruebas y el método de ensayo establece el Erosion Control Technology Council (ECTC). Los elementos para la aplicación de los riegos periódicos deben ser de tipo aspersor u otros similares que apliquen el agua en forma de lluvia fina. El constructor debe disponer, igualmente, de las herramientas, rastrillos, azadones, horcas, ganchos para formar surcos, cuerdas, cinturones de seguridad, cascos, estacas, palas, balanzas, envases calibrados y todos los demás elementos que sean necesarios para ejecutar correctamente los trabajos especificados.

rápida degradación, formando una matriz continua. El material debe tener una longevidad funcional típica de tres (3) meses y debe estar diseñado para ser utilizado en taludes o laderas geotécnicamente estables con inclinaciones hasta de tres horizontal, uno vertical (3 H : 1 V).

- Tipo 1D. Manto para control de erosión de red doble y degradación ultra rápida. Provee un manto para control de erosión compuesto de fibras naturales o sintéticas mecánicamente unidas entre dos (2) redes de fibras naturales o sintéticas de rápida degradación, formando una matriz continua, con una longevidad funcional típica de tres (3) meses y debe estar diseñado para ser utilizado en taludes o laderas geotécnicamente estables con inclinaciones de hasta dos horizontal, uno vertical (2 H : 1 V).

- Tipo 2A. Red para control de paja de corto plazo. Consiste en una red sintética fotodegradable o una red tejida de fibras naturales biodegradables con una longevidad funcional típica de doce (12) meses y diseñada para ser utilizada en taludes o laderas geotécnicamente estables con inclinaciones hasta de cinco horizontal, uno vertical (5 H : 1 V).

- Tipo 2B. Manto para control de erosión de corto plazo sin red. Provee un manto para control de erosión compuesto por fibras naturales y/o poliméricas entrelazadas mecánicamente y/o adheridas químicamente para formar una matriz continua con una longevidad funcional típica de doce (12) meses y debe estar diseñado para ser utilizado en taludes o laderas geotécnicamente estables con inclinaciones hasta de tres horizontal, uno vertical (3 H : 1 V).

- Tipo 2C. Textil de tejido abierto o manto para control de erosión de red simple de

corta duración. Se debe suministrar uno (1) de los dos (2) materiales que se describen a continuación:

- Un manto para control de erosión compuesto por fibras degradables naturales o sintéticas procesadas mecánicamente para mantenerlas unidas por una red simple sintética degradable o de fibras naturales para formar una matriz continua.
- Un textil de tejido abierto compuesto por hilos naturales o poliméricos en una matriz continua. El material debe tener una longevidad funcional típica de doce (12) meses y debe estar diseñado para trabajar en taludes o laderas geotécnicamente estables con inclinaciones inferiores a tres horizontal, uno vertical (3 H : 1 V).

• Tipo 2D. Manto para control de erosión de doble red de corta duración. Se debe suministrar un manto para control de erosión compuesto por fibras degradables, naturales o sintéticas, procesadas mecánicamente para mantenerlas unidas entre dos (2) redes sintéticas degradables o de fibras naturales para formar una matriz continua con una longevidad funcional típica de doce (12) meses y debe estar diseñado para trabajar en taludes o laderas geotécnicamente estables con inclinacio-nes inferiores a dos horizontal, uno vertical (2 H : 1 V).

• Tipo 3A. Red para control de paja de plazo extendido. Provee una red para control de paja consistente en una red sintética de degradación lenta o una red tejida de fibras naturales con una longevidad funcional típica de veinticuatro (24) meses y diseñada para ser utilizada en taludes o laderas geotécnicamente estables con inclinaciones hasta de cinco horizontal, uno vertical (5 H : 1 V).

• Tipo 3B. Textil de tejido abierto o manto para control de erosión de plazo extendido. Se debe suministrar uno (1) de los dos (2) materiales que se describen a continuación:

- Un manto para control de erosión compuesto por fibras de degradación lenta, naturales o sintéticas, procesadas mecánicamente para mantenerlas unidas entre dos (2) redes sintéticas de degradación lenta o de fibras naturales para formar una matriz continua.
- Un textil de tejido abierto compuesto por hilos naturales o poliméricos de degradación lenta en una matriz continua. El material debe tener una longevidad funcional típica de veinticuatro (24) meses y debe estar diseñado para trabajar en taludes o laderas geotécnicamente estables con inclinaciones inferiores a uno coma cinco horizontal, uno vertical (1,5 H : 1 V).

• Tipo 4. Textil de tejido abierto o manto para control de erosión de largo plazo. Se debe suministrar uno (1) de los dos (2) materiales que se describen a continuación:

- Un manto para control de erosión compuesto por fibras de degradación lenta, naturales o sintéticas, procesadas mecánicamente para mantenerlas

unidas entre dos (2) redes sintéticas de degradación lenta o de fibras naturales para formar una matriz continua.

- Un textil de tejido abierto compuesto por hilos naturales o poliméricos de degradación lenta en una matriz continua. El material debe tener una longevidad funcional típica de treinta y seis (36) meses y debe estar diseñado para trabajar en taludes o laderas geotécnicamente estables con inclinaciones de hasta uno horizontal, uno vertical (1 H : 1 V).

El límite máximo para mantos temporales, en términos de longitud del talud, debe establecerse en los documentos del proyecto; en general, no debe ser mayor que quince metros (15 m); para longitudes mayores, la aplicación del manto debe venir acompañada de un diseño especializado. La longitud se refiere a la longitud inclinada del talud, para taludes continuos; cuando el talud presente terrazas, la longitud se refiere a la longitud inclinada entre terrazas. En estos casos, los documentos del proyecto pueden indicar la necesidad de colocar productos enrollados permanentes para control de erosión, especificados en el numeral 811.2.2, aún para aplicaciones temporales.

811.2.2 Productos enrollados permanentes para control de erosión

En la Tabla 811 – 5 se indican los productos enrollados permanentes para control de erosión que pueden suministrarse. La descripción y el campo de utilización de los productos especificados se indican a continuación.

- Tipo 5A, 5B, 5C, 5D y 5E. Manto o alfombrilla para refuerzo de la vegetación permanente o césped. Se debe suministrar un manto no degradable para refuerzo de césped con suficiente espesor, resistencia y espacios vacíos para una protección permanente de erosión y refuerzo de vegetación en taludes o laderas geotécnicamente estables con inclinaciones no superiores a cero coma cinco horizontal, uno vertical (0,5 H : 1 V).

- Tipo 5F. Alfombrilla de refuerzo para césped de alto rendimiento. Un producto compuesto por estabilizador de radiación ultravioleta (UV), sin fibras sintéticas degradables, filamentos, redes, alambre malla y/u otros elementos, para una protección permanente de erosión y refuerzo de vegetación en taludes o laderas geotécnicamente estables. Esta categoría debe ser usada especialmente cuando en el sitio existen condiciones con cargas altas y/o requerimientos de supervivencia altos, para cualquier inclinación de talud, incluso para inclinaciones mayores a cero coma cinco horizontal, uno vertical (0,5 H : 1 V).

811.3 Equipo

El constructor debe disponer de los equipos y herramientas necesarios, para asegurar que los trabajos de protección de los taludes y laderas tengan la calidad exigida y se garantice el cumplimiento de su programa de ejecución.

811.4 Ejecución de los trabajos

Para la instalación de los tejidos y mantos se deben tener en cuenta cuatro (4) especificacio-

Tabla 811 – 5. Especificaciones de productos enrollados permanentes para control de erosión (Mantos para refuerzo de la vegetación (MRV))

Permanente – Longevidad funcional típica de más de treinta y seis (36) meses			Pendiente máxima de aplicación	Prueba de rendimiento sin vegetación Esfuerzo cortante	Prueba de rendimiento Esfuerzo cortante vegetado	Valor del índice en el momento de la fabricación					
						Emergencia de plántulas	Resistencia a la tracción (MD)	Resistencia a la tracción (TD)	Masa material / Unidad de área	Espesor	Estabilidad (UV)
Tipo	Descripción del producto	Composición del material		Caracterizado por la ASTM D6460	Caracterizado por la ASTM D6460	Caracterizado por la ASTM D7322	Caracterizado por la ASTM D6818 – NTC 5876	Caracterizado por la ASTM D6818 – NTC 5876	Caracterizado por la ASTM D6566	Caracterizado por la ASTM D6525 – NTC 5879	Caracterizado por la ASTM D4355
5.A	Alfombrilla de refuerzo para césped	Un producto compuesto de fibras sintéticas, filamentos, mallas, mallas de alambre y/u otros elementos no degradables estabilizados a los rayos UV, procesados en una matriz tridimensional permanente que puede complementarse con componentes degradables.	1 : 1 (H : V)	≥ 2 lbs/ft^2 (96 Pa)	≥ 6 lbs/ft^2 (≥ 287 Pa)	≥ 250 %	≥ 150 lbs/ft (2,2 kN/m)	≥ 150 lbs/ft (22 kN/m)	≥ 8 oz/yd^2 (≥ 271 g/m^2)	≥ 0,25 pulgadas (≥ 6 35 mm)	≥ 80 % @ 500 h
5.B	Alfombrilla de refuerzo para césped		1 : 1 (H : V)	≥ 2 lbs/ft^2 (96 Pa)	≥ 8 lbs/ft^2 (≥ 383 Pa)	≥ 250 %	≥ 175 lbs/ft (2,6 kN/m)	≥ 175 lbs/ft (2,6 kN/m)	≥ 8 oz/yd^2 (≥ 271 g/m^2)	≥ 0,25 pulgadas (≥ 6,35 mm)	≥ 80 % @ 500 h
5.C	Alfombrilla de refuerzo para césped		0,5 : 1 (H : V)	≥ 2 lbs/ft^2 (96 Pa)	≥ 10 lbs/ft^2 (≥ 479 Pa)	≥ 250 %	≥ 200 lbs/ft (2,9 kN/m)	≥ 200 lbs/ft (2,9 kN/m)	≥ 8 oz/yd^2 (≥ 271 g/m^2)	≥ 0,25 pulgadas (≥ 6,35 mm)	≥ 80 % @ 1 000 h
5.D	Alfombrilla de refuerzo para césped		0,5 : 1 (H : V)	≥ 2 lbs/ft^2 (96 Pa)	≥ 12 lbs/ft^2 (≥ 575 Pa)	≥ 250 %	≥ 325 lbs/ft (4,8 kN/m)	≥ 225 lbs/ft (3,3 kN/m)	≥ 8 oz/yd^2 (≥ 271 g/m^2)	≥ 0,25 pulgadas (≥ 6,35 mm)	≥ 80 % @ 1 000 h
5.E	Alfombrilla de refuerzo para césped		0,5 : 1 (H : V)	≥ 2 lbs/ft^2 (96 Pa)	≥ 12 lbs/ft^2 (≥ 575 Pa)	≥ 250 %	≥ 1 500 lbs/ft (21,9 kN/m)	≥ 1 500 lbs/ft (21,9 kN/m)	≥ 8 oz/yd^2 (≥ 271 g/m^2)	≥ 0,25 pulgadas (≥ 6,35 mm)	≥ 90 % @ 1 000 h
5.F	Alfombrilla de refuerzo para césped de alto rendimiento	Un producto compuesto por estabilizador de radiación ultravioleta (UV), sin fibras sintéticas degradables, filamentos, redes, alambre malla y/u otros elementos, procesados en una matriz tridimensional permanente.	0,5 : 1 (H : V)	≥ 2 lbs/ft^2 (96 Pa)	≥ 14 lbs/ft^2 (≥ 670 Pa)	≥ 250 %	≥ 3 000 lbs/ft (43,8 kN/m)	≥ 3 000 lbs/ft (43,8 kN/m)	≥ 8 oz/yd^2 (≥ 271 g/m^2)	≥ 0,25 pulgadas (≥ 6,35 mm)	≥ 80 % @ 3 000 h

Nota 1: para mantos de refuerzo de la vegetación (MRV) que contengan componentes degradables, las propiedades deben ser medidas únicamente sobre el componente no degradable.

Nota 2: para los tipos de material 5.E y 5.F, los valores de propiedad probados según la norma ASTM D6818 y D6525 se informan como valores de rollo mínimo promedio (MARV). Los MARV se calculan como el típico menos dos (2) desviaciones estándar. Estadísticamente, ofrece un grado de confianza del noventa y siete por ciento (97,7 %) en que cualquier muestra tomada de las pruebas de control de calidad supera el valor informado.

Nota 3: el esfuerzo cortante mínimo requerido TRM (sin vegetación) puede soportar sin daño físico o erosión excesiva de pérdida de suelo mayor de doce coma siete milímetros (> 12,7 mm) o cero coma cinco (0,5) pulgadas durante sucesivos eventos de flujo mínimo de treinta minutos (30 min) en pruebas a gran escala.

Nota 4: el protocolo de prueba aceptable a gran escala puede incluir ASTM D6460 u otras pruebas independientes que el ingeniero considere aceptables. Las pruebas de rendimiento a gran escala generalmente involucran tipos de suelo y rodales vegetativos limitados, por lo que se recomienda que se utilice un factor de seguridad apropiado en el diseño y la selección del producto

Nota 5: los valores típicos se calculan como valor medio. Estadísticamente, proporciona un grado de confianza del cincuenta por ciento (50 %) en que cualquier muestra tomada de las pruebas de control de calidad excede el valor informado.

Nota 6: los TRM se deben utilizar típicamente en aplicaciones hidráulicas, como zanjas y canales de alto flujo, pendientes pronunciadas, riberas de arroyos y costas, donde las fuerzas erosivas pueden exceder los límites de la vegetación natural, no reforzada o en áreas donde se anticipa un establecimiento limitado de vegetación.

Nota 7: para la determinación de todas las propiedades, deben tenerse en cuenta, además, directrices que sobre las pruebas y método de ensayo establece el ECTC.

nes: preparación del sitio, colocación de semillas, anclaje, instalación de los mantos sobre los taludes.

811.4.1 Preparación de la superficie existente

Rige lo que resulte pertinente del numeral 810.4.2 del artículo 810, Protección vegetal de taludes. En especial, es necesario verificar si el suelo del sitio a revegetalizar posee las condiciones necesarias; es decir, si el talud tiene una capa de suelo orgánico que garantice la germinación de las semillas y el sostenimiento de la vegetación a largo plazo. En caso de no presentar las condiciones necesarias, se recomienda la colocación de una capa superficial de suelo y, junto con ella, mezclar los fertilizantes, las semillas y los hidrorretenedores necesarios.

Si el suelo posee las condiciones necesarias para la germinación de las semillas, se debe proceder como se indica a continuación:

- Remover todas las rocas, raíces, vegetación o cualquier tipo de obstrucción que pueda evitar el contacto del manto con la superficie del suelo.
- Nivelar el área de sembradío de las semillas según el alineamiento y la pendiente establecidos en los documentos del proyecto.
- Preparar el suelo donde se van a sembrar las semillas, escarificando entre cincuenta milímetros y setenta y cinco milímetros (50 mm – 75 mm) de profundidad en el área ya preparada.
- Con el fin de evitar derrumbes desde la cima del talud y la infiltración de agua de escorrentía entre el suelo del talud y el manto para control de erosión, el extremo superior del rollo del manto se debe enterrar en una zanja excavada únicamente con dicho propósito, asegurando el manto al extremo superior de la zanja en forma de doble faz y fijándolo al terreno con tres (3) ganchos por metro, después de lo cual se debe tapar la zanja. La zanja de anclaje debe ser de quince centímetros (15 cm) por quince centímetros (15 cm) y debe quedar a una distancia entre sesenta y noventa centímetros (60 cm – 90 cm), medida desde la corona del talud.

811.4.2 Instalación del manto para control de erosión

Una vez preparada la superficie, la instalación se debe hacer en los siguientes pasos:

- Colocar el rollo a una distancia entre sesenta y noventa centímetros (60 cm – 90 cm) de la corona del talud, asegurarlo en la zanja con los dispositivos de anclaje y rellenar y compactar con el material proveniente de la excavación o según lo indique el interventor.
- Desenrollar el manto hacia abajo del talud, traslapando siete coma cinco centímetros (7,5 cm), como mínimo, los rollos adyacentes. Extender el material libremente, manteniendo contacto directo con la superficie del talud o la ladera. En el traslapo se debe colocar una hilera de ganchos separados entre sí, con una distancia no mayor de cincuenta centímetros (50 cm).
- Asegurar el manto al talud con dispositivos de anclaje, con la frecuencia que se indica en la Tabla 811 – 6.

Como dispositivos de anclaje para la fijación del manto, pueden utilizarse elementos tipo gancho en U, metálicos, de ocho milímetros (8 mm) de diámetro, de veinte centímetros (20 cm) por diez centímetros (10 cm) por veinte centímetros (20 cm) para terrenos blandos y quince centímetros (15 cm) por cinco centímetros (5 cm) por quince centímetros (15 cm) para terrenos duros. Los ganchos se deben colocar en un ángulo aproximado de treinta grados (30°) respecto de la superficie del talud y en el sentido de la pendiente.

A discreción del interventor , puede rellenarse un MRV cuando se encuentre diseñado para tal fin, teniendo en cuenta:

- Después de sembrar, se debe esparcir sobre el manto, rastrillando ligeramente, de doce a veinte centímetros (12 cm – 20 cm) de tierra fina para llenarlo completamente.
- Esparcir semillas adicionales sobre el manto relleno y regar con agua.

811.4.3 Riego y mantenimiento

No se debe hacer corte a las áreas sembradas antes del establecimiento de una densidad del setenta por ciento (70 %) de la vegetación y con un crecimiento mínimo de las especies de siete coma cinco centímetros (7,5 cm). La altura de corte no debe ser menor de siete coma cinco centímetros (7,5 cm). Durante la etapa de ejecución, el constructor debe ser el responsable por el mantenimiento de la

Tabla 811 – 6. Frecuencia de los dispositivos de anclaje

Pendiente del talud (inclinación)	Frecuencia del anclaje (Nota)
Hasta 3 H : 1 V	1,35 anclajes/metro cuadrado
3 H : 1 V a 2 H : 1 V	2 anclajes/metro cuadrado
2 H : 1 V a 1 H : 1 V	2 a 4,1 anclajes/metro cuadrado
Mayor a 1 H : 1 V	4,1 anclajes/metro cuadrado

Nota: por indicación del interventor, se puede modificar la frecuencia del anclaje.

vegetación establecida; adicionalmente, debe regar las áreas sembradas tan frecuentemente como sea necesario para ayudar a establecer satisfactoriamente la vegetación y propiciar su crecimiento. Los elementos para la aplicación de los riegos periódicos deben ser de tipo aspersor u otros similares que apliquen el agua en forma de lluvia fina.

En caso de hacer uso de agua lluvia el PH debe ser normal entre cinco y cinco coma cinco (5 – 5,5). Por otro lado, para los rellenos se debe revisar que el material de relleno sea biodegradable y cumpla con el Análisis del Ciclo de Vida (ACV).

811.4.4 Limitaciones en la ejecución

No se deben permitir los trabajos de colocación de productos enrollados para control de erosión en momentos en que haya lluvia o fundado temor que ella ocurra; en caso de temperaturas extremas, para la instalación de los enrollados se deben seguir las especificaciones de temperatura de los fabricantes y/o proveedores del producto. Los trabajos se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que resulte satisfactorio para aquel. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir su trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

811.4.5 Manejo ambiental

En adición a los aspectos generales dispuestos en el artículo 106, de estas especificaciones, todas las labores requeridas para la instalación de los PECE deben realizarse teniendo en cuenta lo establecido en los estudios y evaluaciones ambientales del proyecto, al igual que las normas y disposiciones vigentes sobre conservación del ambiente, los recursos naturales y protección de la comunidad. De este modo, todas las labores de instalación de sistemas para control de erosión deben llevarse a cabo con base en lo establecido en los estudios o evaluaciones ambientales del proyecto y las disposiciones vigentes sobre la conservación del medio ambiente y de los recursos naturales.

811.4.6 Reparaciones

Todas las áreas que se erosionen antes de la aceptación definitiva de los trabajos, deben repararse por el constructor bajo su propia cuenta y riesgo, incluyendo el arreglo o sustitución de los PECE, la resiembra y el riego.

811.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

811.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y funcionamiento del equipo utilizado por el constructor.
- Comprobar que los materiales cumplan los requisitos de calidad exigidos en el numeral 811.2, según el tipo de protección por utilizar.

- Revisar que el trabajo se ejecute de acuerdo con los documentos del proyecto y las exigencias del presente artículo.
- Supervisar el cumplimiento de todas las medidas ambientales y de seguridad requeridas.
- Vigilar que el constructor efectúe un mantenimiento adecuado del área protegida hasta su recibo definitivo.

Para efectos de pago, el interventor debe proceder con la medición del trabajo ejecutado por el constructor, en desarrollo de la presente especificación.

El plan de calidad y el plan de inspección, medición y ensayo, son de obligatorio cumplimiento tal como se encuentra expresado en el numeral 103.2 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor.

811.5.2 Condiciones específicas para el recibo de los trabajos

El interventor no debe recibir las obras antes de noventa días (90 d) de concluidos los trabajos de protección. Igualmente, el interventor tampoco debe recibir la obra antes de que el setenta por ciento (70 %) del área sembrada se encuentre cubierta por vegetación específica y sin lugares desnudos mayores a un metro cuadrado (1 m^2). El constructor debe mantener el riego, si es necesario, para ayudar en el establecimiento de la vegetación hasta el momento del recibo definitivo de la obra; en cuyo momento, el área protegida no puede presentar irregularidades o desperfectos.

811.6 Medida

La unidad de medida del producto enrollado para control de erosión debe ser el metro cuadrado (m^2), aproximado al decímetro cuadrado, de área protegida de acuerdo con los documentos del proyecto y las indicaciones del interventor y a su plena satisfacción. La medida se debe hacer sobre la superficie del talud.

El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

No se deben incorporar en la medida áreas con protección vegetal por fuera de los límites autorizados por el interventor.

811.7 Pago

El pago se debe realizar al respectivo precio unitario del contrato por toda obra ejecutada, de acuerdo con los documentos del proyecto y esta especificación y aprobada por el interventor.

El precio unitario debe abarcar todos los costos de preparación de la superficie existente, salvo que dicha labor forme parte de otra partida de trabajo del mismo contrato; el suministro en el lugar y la colocación de todos los materiales requeridos para la protección, incluidos los anclajes; la compactación o escarificación de la superficie tratada, cuando corresponda; la excavación y el relleno de las zanjas requeridas para asegurar los mantos para control de erosión; el suministro del agua y aplicación del riego periódico del área tratada; la poda periódica; el suministro y la aplicación de fertilizantes, insecticidas y demás materiales

requeridos para la conservación del área protegida hasta su recibo definitivo. Debe comprender, igualmente, los costos de la señalización preventiva y el control del tránsito público durante la ejecución de los trabajos; los desperdicios y el manejo adecuado de ellos y, en general, todo costo adicional relacionado con la correcta ejecución de los trabajos especificados.

El precio unitario debe incluir, también, los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

811.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
811.1	Protección de taludes con producto enrollado para control de erosión del tipo _____	Metro cuadrado (m^2)

Nota: se debe elaborar un ítem de pago para cada producto enrollado de control de erosión que se especifique en el proyecto.

Recubrimiento de taludes con malla y mortero

Artículo 812 – 22

812.1 Descripción

Este trabajo se refiere a la protección de taludes utilizando malla de alambres de acero y mortero de cemento hidráulico, en concordancia con los documentos del proyecto y lo aprobado por el interventor.

812.2 Materiales

812.2.1 Malla de alambres de acero

El tipo y las características de la malla deben ser los indicados en los documentos del proyecto. El tipo de malla puede ser alguno de los indicados en la Tabla 812 – 1.

Tabla 812 – 1. Tipos generales de mallas de acero para protección de taludes

Tipo de malla	Especificación Técnica
Malla electrosoldada	NTC 5806 (ASTM A1064)
Malla de acero con recubrimiento metálico para gaviones	NTC 5333 (ASTM A975)
Malla de gallinero	NTC 3313 (ASTM A390)

812.2.2 Cemento hidráulico

El cemento hidráulico debe cumplir lo especificado en el artículo 501, Suministro de cemento hidráulico, de estas especificaciones. Si los documentos del proyecto no señalan algo diferente, se debe emplear cemento hidráulico de uso general UG (NTC 121 (ASTM C1157)).

812.2.3 Agregado

El agregado para el mortero debe provenir de una arena natural en su totalidad o parcialmente de la trituración de rocas, gravas, escorias siderúrgicas, residuos de concreto hidráulico u otro producto que cumpla los requisitos de la presente especificación y que sea aceptado por el interventor.

El agregado debe cumplir con los requisitos contenidos en los numerales 812.2.3.1, 812.2.3.2 y 812.2.3.3.

812.2.3.1 Granulometría

La curva granulométrica del agregado para mortero se debe encontrar dentro de los límites que se señalan en la Tabla 812 – 2.

812.2.3.2 Calidad

El agregado debe cumplir los requisitos indicados en la Tabla 812 – 3.

Tabla 812 – 2. Requisitos granulométricos del agregado para mortero de recubrimiento de taludes

Tipo de gradación	Tamiz (mm / U.S. *Standard*)							
	9,5	4,75	2,36	1,18	0,600	0,300	0,150	0,075
	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 8	Nro. 16	Nro. 30	Nro. 50	Nro. 100	Nro. 200
	Porcentaje que pasa (%)							
Única	100	95 – 100	80 – 100	50 – 85	25 – 60	10 – 30	2 – 10	0 – 5
Requisitos adicionales	Porcentaje retenido entre dos (2) tamices consecutivos ≤ 45 %							

Tabla 812 – 3. Requisitos de calidad del agregado para mortero de recubrimiento de taludes

Característica	Norma de ensayo	Requisito
Durabilidad (O)		
Pérdidas en el ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%) (Nota 1) - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	 INV E-220 NTC 126 (ASTM C88)	 10 15
Limpieza (F)		
Límite líquido, máximo (%)	INV E-125 NTC 4630 (ASTM D4318)	-
Índice de plasticidad, máximo (%)	INV E-126 NTC 4630 (ASTM D4318)	No Plástico (NP)
Equivalente de arena, mínimo (%)	INV E-133 NTC 6179 (ASTM D2419)	60
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%)	INV E-211 NTC 589 (ASTM C142)	1
Partículas livianas, máximo (%)	INV E 221 NTC 130 (ASTM C123)	0,5
Contenido de materia orgánica (F)		
Color más oscuro permisible	INV E-212 NTC 127 (ASTM C40)	Igual a muestra patrón
Características químicas (O)		
Contenido de sulfatos, expresado como $SO_4^=$ máximo	INV E-233	1,2
Reactividad Álcali-Agregado (%)	NTC 6222 (ASTM C1260)	< 0,1
Absorción		
Absorción de agua, máximo (%)	INV E-222 NTC 237 (ASTM C128)	4,0 (Nota 2)

Nota 1: se puede validar el requisito de durabilidad, empleando cualquiera de los dos (2) sulfatos indicados.

Nota 2: este valor se debe considerar solo para el uso de arenas naturales.

812.2.4 Agua

El agua para fabricar el mortero debe cumplir los requisitos establecidos en el numeral 630.2.1.4 del artículo 630, Concreto estructural.

812.3 Equipo

Los principales elementos requeridos para la elaboración del mortero y la aplicación de dicho material en el talud son los siguientes:

812.3.1 Equipo para la fabricación y transporte del mortero

El mortero se debe preparar en una planta de producción de premezclados y se debe transportar al sitio de los trabajos en camiones mezcladores o agitadores provistos de tambor giratorio cerrado con paletas internas, los cuales deben estar equipados con cuentarrevoluciones. Se debe permitir el empleo de mezcladoras estacionarias en el lugar de la obra, previa aprobación del interventor, cuya capacidad no debe exceder de un metro cubico ($1\ m^3$).

812.3.2 Formaleta y obra falsa

El constructor debe suministrar e instalar todos los andamios y elementos necesarios para la colocación de la malla y para revestir con el mortero la cara del talud.

812.3.3 Elementos para la colocación del mortero

El constructor debe disponer de los medios de colocación del mortero que permitan la adecuada regulación de la cantidad de mortero aplicado. El tipo y capacidad del equipo para colocar el mortero, debe contar con la aprobación previa del interventor.

Además, debe disponer de herramientas varias, entre ellas las necesarias para la construcción de juntas, la corrección superficial del mortero terminado, su curado y elementos de limpieza.

812.4 Ejecución de los trabajos

812.4.1 Explotación de materiales y elaboración de agregados

Al respecto, resulta aplicable lo descrito en el numeral 105.13.3 del artículo 105, Desarrollo de los trabajos.

812.4.2 Formaletas y obra falsa

Todos los andamios y elementos necesarios para la instalación de la malla, la colocación de los bastones de anclaje y el revestimiento con el mortero, deben ser diseñados por el constructor y aprobados por interventor. Los andamios deben ser diseñados de tal manera que permitan la colocación y terminación del mortero en su posición final y su fácil inspección de manera adecuada y segura para el personal.

La aprobación del diseño de la obra falsa por parte del interventor no debe eximir al constructor de su responsabilidad respecto a la seguridad, calidad del trabajo y cumplimiento de todos los requerimientos de esta especificación.

812.4.3 Colocación de la malla

Inicialmente, se debe proceder con la remoción de material suelto del talud, así como del material orgánico presente en el área a intervenir.

A continuación, se debe instalar la malla, anclándola según la distribución especificada

en los documentos del proyecto, en los que deben estar contemplados: los tipos de anclaje, la distribución horizontal y vertical, la profundidad y el método de protección contra la corrosión que se les debe aplicar. En caso de que no sea definido un tipo específico de protección contra la corrosión, se debe aplicar un recubrimiento en zinc por galvanizado en caliente, según lo establecido en la NTC 4013 (ASTM A767).

La malla debe disponerse de tal manera que no quede en contacto con el terreno natural, para lo cual el constructor debe proveer los elementos para garantizar el recubrimiento mínimo establecido en los documentos del proyecto.

Las juntas de dilatación deben estar definidas en los documentos del proyecto y contar con la aprobación del interventor.

812.4.4 Fabricación del mortero

812.4.4.1 Almacenamiento de los materiales

Los materiales necesarios para la producción del mortero deben ser almacenados en las condiciones establecidas en el numeral 630.4.3, del artículo 630.

812.4.4.2 Elaboración del mortero

El constructor debe presentar las pruebas de laboratorio que sustenten las proporciones para la de mezcla del mortero, la cual debe garantizar una resistencia a la compresión a veintiocho días (28 d) de doce coma cuatro megapascales (12,4 MPa), determinada mediante el método de ensayo descrito en la NTC 220 (ASTM C109).

Si ha sido autorizada por el interventor la fabricación del mortero con mezcladora estacionaria en el lugar de la obra, salvo su indicación contraria, la mezcladora se debe cargar primero con una parte no superior a la mitad del agua requerida para la cochada; a continuación, se deben añadir simultáneamente el agregado fino y el cemento, completándose luego la dosificación de agua durante un lapso que no debe ser inferior a cinco segundos (5 s), ni superior a la tercera parte del tiempo total de mezclado, contado a partir del instante de introducir el cemento y los agregados. El tiempo máximo para mezclado de una cochada debe estar comprendido entre tres y cinco minutos (3 min – 5 min).

Antes de cargar nuevamente la mezcladora, se debe vaciar totalmente su contenido. En ningún caso se debe permitir el remezclado de morteros que hayan fraguado parcialmente, aunque se añadan nuevas cantidades de cemento, agregados y agua.

Cuando la mezcladora haya estado detenida por más de treinta minutos (30 min), debe limpiarse completamente antes de verter materiales en ella. Así mismo, se requiere su limpieza total antes de comenzar la fabricación de mortero con otro tipo de cemento.

El constructor, con la supervisión del interventor, debe transformar las cantidades correspondientes de las proporciones de mezcla a unidades volumétricas. El interventor debe verificar que existan los elementos de dosificación precisos para obtener una mezcla de la calidad deseada.

812.4.5 Descarga, transporte y aplicación del mortero

El mortero, al ser descargado de la mezcladora, debe tener la consistencia, trabajabilidad y uniformidad requeridas para la obra. Los procesos comprendidos desde el inicio de la mezcla hasta la colocación del mortero, deben realizarse en un tiempo máximo de uno coma cinco horas (1,5 h), considerando el inicio de la mezcla al momento en que se debe incorporar la primera cantidad de agua, salvo que el interventor fije un plazo diferente según las condiciones climáticas.

No se debe permitir la aplicación en el talud de ningún mortero que haya desarrollado algún fraguado inicial o que no sea colocado dentro del límite de tiempo aprobado.

El mortero, que por cualquier causa haya sido rechazado por el interventor, se debe retirar de la obra en su totalidad y debe ser reemplazado por el constructor bajo su propia cuenta y riesgo, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), por un mortero satisfactorio. El material retirado debe ser manejado según lo dispuesto en el numeral 106.5.8 del artículo 106, Aspectos ambientales.

812.4.6 Juntas

Se deben construir juntas de dilatación con las características y en los sitios indicados en los documentos del proyecto de acuerdo con los procedimientos aceptados por el interventor. El constructor no puede introducir juntas adicionales o modificar el diseño de localización de las indicadas en los documentos del proyecto o aprobadas por el interventor, sin la autorización de éste. En superficies expuestas, las juntas deben ser horizontales o verticales, rectas y continuas, a menos que se indique lo contrario.

En general, se debe dar un acabado pulido a las superficies del mortero.

812.4.7 Drenaje

Los agujeros para drenaje o alivio deben ser construidos de la manera y en los lugares señalados en los documentos del proyecto de acuerdo con los procedimientos aceptados por el interventor. Los moldes para practicar agujeros a través del mortero deben ser de tubería de PVC con un diámetro comercial inmediatamente superior al definido para los drenes del talud, los cuales deben tener diámetro mínimo de cinco coma cero ocho centímetros (5,08 cm).

Los tubos de PVC utilizados para el drenaje, deben cumplir con la distribución y tamaño de las perforaciones, también deben ir envueltos en geotextil no tejido, según lo dispuesto en los documentos del proyecto.

812.4.8 Curado

En general, los tratamientos de curado deben mantenerse por un período no menor de siete días (7 d) después de terminada la colocación del mortero. El proceso de curado se debe realizar acorde con el numeral 630.4.12. del artículo 630, el documento ACI 308.1 y las recomendaciones presentadas en el documento ACI 308R.

812.4.9 Limpieza final

Al terminar la obra y antes de la aceptación final del trabajo, el constructor debe retirar del lugar toda obra falsa, materiales no utilizados, desechos, basuras y construcciones temporales, restaurando los sitios donde se produjo afectación durante la ejecución de los trabajos, sean estos públicos o privados, dejando el lugar limpio y presentable y realizando separación adecuada de los residuos generados, para lo cual se requiere constancia escrita por parte del interventor.

812.4.10 Limitaciones en la ejecución

No se debe permitir adelantar los trabajos objeto del presente artículo, cuando la temperatura ambiente a la sombra y la de la superficie sean inferiores a dos grados Celsius (2 °C) o haya lluvia o fundado temor de que ella ocurra.

Los trabajos de construcción se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que sea aprobado por este. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

812.4.11 Reparaciones

La inspección y evaluación del mortero se debe efectuar siguiendo las especificaciones de la NTC 3546 (ASTM C780).

Todo mortero defectuoso o deteriorado debe ser reparado o reemplazado por el constructor bajo su propia cuenta y riesgo, según lo requerido por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS.

812.4.12 Manejo ambiental

Adicional a los aspectos generales indicados en el artículo 106, todas las labores necesarias para la construcción de recubrimiento de taludes con malla y mortero deben ejecutarse teniendo en cuenta lo establecido en los estudios y evaluaciones ambientales del proyecto, así como en las normas y disposiciones vigentes sobre conservación del ambiente, los recursos naturales y protección de la comunidad.

Todas las actividades que se desarrollen en cumplimiento a esta especificación, deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades deben incluirse en los costos del proyecto; por tanto, no son objeto de reconocimiento directo en el contrato.

812.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

812.5.1 Controles

El plan de calidad y el plan de inspección, medición y ensayo, son de obligatorio cumplimiento tal como se encuentra expresado en el

numeral 103.2 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor.

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y funcionamiento de todo el equipo de construcción.
- Constatar el cumplimiento de las disposiciones existentes en el artículo 102, Aspectos generales de seguridad y salud.
- Comprobar que los materiales por utilizar cumplan los requisitos de calidad exigidos por la presente especificación.
- Supervisar la correcta aplicación del método aceptado previamente en cuanto a la colocación y anclaje de la malla, a la elaboración y manejo de los agregados, a la fabricación, transporte y colocación del mortero, a la ejecución de juntas, al acabado y al curado del mortero.
- Efectuar los ensayos necesarios para el control de la mezcla de mortero.
- Vigilar la regularidad en la producción de los agregados y mezcla del mortero durante el período de ejecución de las obras.
- Realizar medidas para determinar las dimensiones de la protección y comprobar la uniformidad de la superficie.

El interventor debe medir, para efectos de pago, el trabajo correctamente ejecutado.

812.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

812.5.2.1 Calidad del cemento

Se debe realizar siguiendo lo establecido en el numeral 501.5.2 del artículo 501.

812.5.2.2 Calidad del agua

Siempre que se tenga alguna sospecha sobre su calidad, se debe proceder en concordancia con el numeral 630.5.1.3 del artículo 630.

812.5.2.3 Calidad de los agregados

La calidad de los agregados se debe verificar mediante la realización de las mismas pruebas especificadas en el numeral 812.2.3 del presente artículo. A su vez, la frecuencia de los ensayos de control durante la etapa de ejecución de los trabajos debe ser a criterio del interventor, de acuerdo con la magnitud de la obra. De dicha decisión, se debe dejar constancia escrita.

812.5.2.4 Calidad de la mezcla

812.5.2.4.1 Dosificación

La mezcla se debe efectuar en las proporciones definidas durante su diseño, admitiéndose las variaciones en el peso de sus componentes que se indican en la Tabla 812 – 4.

Tabla 812 – 4. Tolerancias en puntos de porcentaje sobre la dosificación en masa de la mezcla de mortero

Componente de la mezcla	Tolerancia
Agua, cemento y aditivos (%)	± 1
Agregado fino (%)	± 2

812.5.2.4.2 Resistencia

Las muestras de ensayo para control de resistencia se deben tomar al menos una (1) vez al día. La preparación se realiza de acuerdo con el procedimiento establecido en el anexo A.7 de la NTC 3546 (ASTM C780). Se deben emplear cubos de cincuenta milímetros (50 mm) de lado.

Los especímenes se deben almacenar, curar y ensayar de acuerdo con el anexo A.7 de la NTC 3546 (ASTM C780). Estos deben haber alcanzado el fraguado final antes de ser transportados de la obra al laboratorio y tener al menos cuatro días (4 d) de edad. Los especímenes se almacenan en una cámara húmeda durante un periodo no inferior a veinte horas (20 h) antes de desmoldarlos y deben permanecer en condiciones adecuadas de temperatura y humedad hasta el momento de su ensayo.

Los especímenes, además, se deben ensayar en condición húmeda para determinar la resistencia a la compresión a los veintiocho días (28 d) después de su elaboración.

La resistencia a la compresión del mortero se considera satisfactoria si el promedio de todos los especímenes, por lo menos tres (3) por bachada, es igual o mayor que doce coma cuatro megapascales (12,4 MPa).

Los especímenes defectuosos y aquellos cuya resistencia individual presenten una diferencia mayor al diez por ciento (10 %) del promedio, no se deben incluir en el cálculo de la resistencia a la compresión informada para una misma muestra ensayada a igual edad.

Después de descartar tanto los especímenes defectuosos como los valores de resistencia que no cumplan el criterio expresado en el párrafo anterior, deben quedar un mínimo de dos (2) especímenes o dos (2) valores de resistencia para el cálculo.

812.5.2.5 Calidad del producto terminado

La capa de mortero no debe presentar defectos de colocación, tales como vacíos e irregularidades que impidan el normal escurrimiento de las aguas superficiales. Tampoco se deben admitir sitios en los cuales sea visible el acero de refuerzo.

812.5.2.5.1 Tamaño del lote

Se debe considerar como lote, que se acepta o se rechaza en conjunto, la obra ejecutada en una jornada de trabajo.

812.5.2.5.2 Espesor

Los sitios para la determinación del espesor de la capa de mortero terminada se deben elegir al azar, según la norma de ensayo INV E-730, pero de manera que el número de puntos no sea menor de cinco (5) sitios por lote.

Se debe determinar el espesor promedio de la capa terminada (e_m), el cual no puede ser inferior al espesor de diseño (e_d).

$$e_m \geq e_d \qquad [812.1]$$

Además, el valor obtenido en cada determinación individual (e_i) debe cumplir con lo establecido en el numeral 630.5.3.3 del artículo 630.

812.6 Medida

812.6.1 Mortero de recubrimiento

La unidad de medida debe ser el metro cúbico (m^3), aproximado a la décima (0,1), de mortero para recubrimiento de talud con malla y mortero ejecutado de conformidad con los documentos del proyecto y aceptado por el interventor. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

El área se debe determinar multiplicando la longitud de talud tratada, medida a lo largo del eje de la vía, en su proyección horizontal, por el ancho, medido sobre la superficie del talud, especificado en los documentos del proyecto y aprobado por el interventor, y el espesor determinado en el diseño y aprobado por el interventor. De los volúmenes calculados deben deducirse los correspondientes a las tuberías de drenaje.

No se debe medir, para fines de pago, ninguna obra ejecutada por fuera de las dimensiones o líneas establecidas en los documentos del proyecto aprobados por el interventor.

812.6.2 Malla de refuerzo

La unidad de medida debe ser el kilogramo (kg), aproximado al entero, de malla para recubrimiento de talud con malla y mortero ejecutado de conformidad con los documentos del proyecto y aceptado por el interventor. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

El área se debe determinar multiplicando la longitud de talud tratada, medida a lo largo del eje de la vía, en su proyección horizontal, por el ancho, medido sobre la superficie del talud, especificado en los documentos del proyecto y aprobados por el interventor.

No se debe medir, para fines de pago, ninguna obra ejecutada por fuera de las dimensiones o líneas dispuestas en los documentos del proyecto u ordenadas por el interventor.

812.7 Forma de pago

El pago se debe efectuar al precio unitario del contrato por toda obra ejecutada de acuerdo con los documentos del proyecto, la presente especificación y según lo que sea aprobado por el interventor.

El precio unitario debe cobijar los costos del suministro y colocación de la malla y los anclajes; el suministro de los agregados, del cemento y del agua; del diseño de la mezcla de mortero; de la elaboración de la mezcla de mortero, su transporte y colocación sobre el talud; el diseño, suministro de los materiales requeridos y la elaboración de la obra falsa necesaria; la ejecución de juntas; el suministro y la colocación de las tuberías de drenaje; el curado del mortero terminado; la limpieza final de la zona de las obras. Debe incluir, también, los costos de la señalización preventiva y el control del tránsito público durante la ejecución de los trabajos y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución de los trabajos especificados.

El precio unitario debe adicionar, también, los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

812.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
812.1	Mortero f'm = 12,4 MPa de e = _____cm para recubrimiento de taludes con malla electrosoldada y mortero	Metro cúbico (m^3)
812.2	Malla electrosoldada para recubrimiento de taludes y mortero	Kilogramo (kg)
812.3	Malla de acero con recubrimiento metálico para gaviones para recubrimiento de taludes y mortero	Kilogramo (kg)
812.4	Malla de gallinero para recubrimiento de taludes y mortero	Kilogramo (kg)

Plantación de árboles

Artículo 820 – 22

820.1 Descripción

Este trabajo radica en el suministro y la plantación de árboles, en los sitios indicados en los documentos del proyecto o determinados por el interventor. El trabajo debe incluir la conservación de árboles plantados hasta el recibo definitivo de los trabajos y que cumplan lo establecido en la normativa específica vigente para el país, entre ellas las obligaciones que deriven de los permisos y licencias emanadas por la autoridad ambiental competente; siendo, de gran importancia, el manejo y la protección de la fauna silvestre contenidos en la guía ambiental, además de los temas generales dispuestos en el artículo 106, Aspectos ambientales.

Por tanto, deben verificarse los parámetros técnicos en el momento de establecer los procesos de plantación, en cumplimiento de la resolución establecida por la autoridad ambiental.

820.2 Materiales

820.2.1 Plantones

Las especies de árboles por plantar son las indicadas en los documentos del proyecto; deben ser nativas y deben ser concertadas con la autoridad ambiental competente; en lo posible, deben provenir de los viveros existentes de la región. Salvo que los documentos del proyecto indiquen algo diferente, se deben utilizar plantones (pequeños árboles) que, al momento de su plantación, tengan una altura entre cero coma cinco y uno coma cinco metros (0,5 m – 1,5 m). Los plantones deben estar lo suficientemente lignificados; es decir, que los tallos se muestren duros y resistentes y, además, resistan a ser doblados.

820.2.2 Material para relleno de las excavaciones

El material para el relleno de las excavaciones para la plantación de árboles debe ser el indicado en los documentos del proyecto; de igual forma, puede ser el material de excavación, tierra orgánica suministrada para tal fin, o una mezcla de ambos (tierra orgánica – tierra producto de la excavación). En cualquiera de los casos, los documentos pueden indicar la necesidad de añadir fertilizantes, abonos (humus de lombriz de tierra, cascarilla de arroz u otros), insecticidas u otros componentes al material de relleno.

La tierra orgánica debe provenir de áreas localizadas fuera del proyecto o, preferiblemente, del descapote del proyecto. Debe consistir en un suelo de origen superficial, con contenido orgánico, libre de piedras, ramas, restos vegetales de gran calibre, escombros, desperdicios no degradables y cualquier otro elemento extraño y nocivo para los fines de la plantación de árboles.

820.2.3 Fertilizantes, abonos e insecticidas

Se deben emplear los fertilizantes, abonos e insecticidas adecuados para cada especie vegetal, según lo establezcan los documentos técnicos del proyecto.

Para los suelos que presenten carencia de nutrientes o que estén erosionados, es necesario aplicar algún tipo de abono que aporte nutrientes en el área donde se va a sembrar. Este se debe mezclar con la tierra en el fondo del hoyo antes de sembrar la plántula.

Los fertilizantes pueden ser órgano-minerales o minerales y deben proporcionar los macronutrientes y micronutrientes esenciales para un buen establecimiento y óptimo desarrollo de los individuos.

820.2.4 Otros insumos

Se pueden requerir otros insumos como hormonas para enraizar, hidro-retenedores, etc., que deben cumplir los requerimientos definidos en los documentos del proyecto.

820.2.5 Tutores y cercos

Los tutores y cercos que se requieran, deben cumplir con los requisitos especificados en los documentos del proyecto o indicados por el interventor.

820.2.6 Agua para riego

El agua para utilizar debe estar limpia, no necesariamente potable, preferiblemente agua lluvia. En ningún caso se puede utilizar agua contaminada químicamente.

820.3 Equipo

El constructor debe disponer de los equipos y herramientas necesarios, tales como rastrillos, azadones, horcas, ganchos para formar surcos y demás implementos para asegurar que los trabajos de plantación de árboles tengan la calidad exigida y se garantice el cumplimiento de su programa de ejecución. Debe usarse un vehículo con canastilla para transporte del material vegetal. Toda la maquinaria a ser utilizada debe cumplir con los controles seguridad (artículo 102, Aspectos generales de seguridad y salud).

820.4 Ejecución de los trabajos

820.4.1 Aspectos generales

La ejecución de los trabajos de trasplante de árboles se debe llevar a cabo en observancia de las indicaciones y procedimientos definidos de los documentos del proyecto y aprobados del plan de ejecución, teniendo en cuenta los lineamientos establecidos en la Guía de Manejo Ambiental del Proyectos de Infraestructura – Sector Vial, del Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), por la autoridad ambiental y por entidades especializadas en lo forestal. En caso de que se requiera, se deben tener en cuenta los correspondientes permisos de aprovechamiento forestal, tramitados ante la respectiva autoridad ambiental regional, según las disposiciones de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA).

En lo posible, la plantación debe realizarse con el inicio del período de lluvias.

820.4.2 Supervisión técnica

Para la planeación y la dirección de los trabajos de plantación de árboles, es obligatorio que el constructor tenga dentro de su equipo a un profesional del área forestal, con suficiente experiencia en este tipo de trabajos.

El plan de ejecución de la plantación de árboles y todos los informes de seguimiento de estos trabajos deben ser firmados por este profesional, junto con el director de obra.

820.4.3 Planeación y seguimiento

El constructor, por intermedio de su especialista forestal, debe presentar y suscribir el plan detallado de ejecución de los trabajos (similar al indicado en el artículo 203, Trasplante de árboles, de estas especificaciones), acompañado de los informes, soportes y planos exigidos para tal propósito, el cual debe contar con la aprobación de la autoridad ambiental competente y del interventor antes de iniciar los trabajos de plantación de árboles. Así mismo, el plan de ejecución debe incluir un plano de ubicación general de los árboles por plantar para que cualquier entidad de control pueda delimitar la zona y ubicarse en el terreno. El plan de ejecución debe incorporar un programa detallado de las actividades a ejecutar para el establecimiento y mantenimiento de los árboles, señalando en el mismo y de manera secuencial, todos los procedimientos a implementar y la clase de materiales o insumos requeridos. Este plan debe estar hecho en general para un tiempo mínimo de tres (3) años, si los documentos del proyecto no disponen algo diferente.

Este plan debe incluir, también, un sistema de evaluación y seguimiento que permita verificar el desarrollo de la actividad en cada una de las fases, así: establecimiento, reposición y mantenimiento.

Se deben realizar visitas que, en lo posible, cuenten con la participación de la autoridad ambiental competente; el constructor debe elaborar informes de estas visitas que incluyan fichas de seguimiento con el respectivo registro fotográfico. A no ser que los documentos del proyecto indiquen algo distinto, los informes son bimestrales durante el primer año; cuando el tiempo transcurrido a partir de la plantación del último árbol del proyecto sea mayor de un (1) año, los informes de seguimiento pueden ser semestrales.

A la terminación del proyecto, el constructor debe presentar un informe final de la actividad de plantación de árboles que incluya la versión final de las fichas de seguimiento. Además, en este informe se deben indicar cuáles individuos tienen menos de tres (3) años de plantados o no han completado el plan de mantenimiento establecido para el proyecto.

820.4.4 Suministro de plantones

El constructor debe informar al interventor, con una anticipación no menor a quince días (15 d), sobre el envío de los plantones al proyecto, de manera que tengan la oportunidad de inspeccionarlos en el vivero.

820.4.5 Transporte y almacenamiento temporal

Los plantones se deben empacar adecuadamente para prevenir daños por efectos del clima y del transporte. El constructor debe usar

unos sistemas de empaque y transporte adecuados para prevenir daños en la corteza, ramas y raíces.

Cada plantón debe tener una etiqueta, a prueba de agua, que indique el nombre del árbol y la fecha de despacho. Los plantones que lleguen a la obra, pero no vayan a ser instalados inmediatamente, se deben almacenar temporalmente en un sitio acondicionado especialmente por el constructor para ese propósito, que permita mantener la alimentación y la humedad de los individuos hasta su plantación.

Los plantones deben ser plantados en un tiempo no mayor a treinta días (30 d).

820.4.6 Preparación del terreno

El sitio donde se va a plantar el árbol, debe prepararse mediante la remoción de todo material inadecuado, como césped, piedras, raíces y semillas.

820.4.7 Excavación

La excavación para la plantación del árbol, debe tener el tamaño adecuado para alojar el plantón.

En general, la excavación tiene las dimensiones mínimas indicadas en la Tabla 820 – 1, salvo que los documentos del proyecto indiquen otra cosa.

Tabla 820 – 1. Tamaño mínimo de la excavación para la plantación de árboles

Características del plantón	Diámetro (en exceso del diámetro del sistema radicular)	Profundidad (en exceso de la profundidad de las raíces)
Altura		
- Hasta 1,5 m	-	0,2 m
- Más de 1,5 m	-	0,3 m
Diámetro del sistema radicular		
- Hasta 1 m	0,5 m	-
- Más de 1 m	50 % más que el diámetro del sistema radicular	-

El suelo que queda en el fondo y a los lados de la excavación, debe aflojarse en un espesor de quince centímetros (15 cm) antes de colocar el plantón. Cabe anotar que las excavaciones para la plantación de árboles, no deben quedar abiertas de un día para otro.

820.4.8 Instalación de los plantones

El interventor debe inspeccionar los plantones antes de ser instalados en la excavación. Se deben rechazar los individuos que no cumplan los requisitos establecidos en el numeral 820.2.1, que estén en condiciones no satisfactorias o que presenten signos de manejo inapropiado; estos individuos deben retirarse y disponerse en sitios aprobados por el interventor y deben ser reemplazados por individuos en buen estado, bajo cuenta y riesgo exclusiva del constructor.

Para la plantación, se debe retirar la bolsa que contiene el sistema radicular del plantón, teniendo cuidado de que no se desbarate el

bloque de tierra que viene adherido a él. Luego, se debe colocar el plantón en el hoyo abierto y se debe rellenar la excavación con el material especificado en el numeral 820.2.2, apisonando el material para eliminar vacíos y para que el plantón quede sujeto firmemente al suelo. Si los documentos del proyecto así lo contemplan o lo indica el interventor, se deben instalar tutores para apoyar el crecimiento adecuado y vertical de los plantones; también, se puede requerir la instalación de cercos de postes de madera y alambre de púas para proteger la plantación de semovientes.

El perímetro del bloque se debe rellenar con tierra preparada con abono orgánico, la cual debe ser compactada levemente.

El árbol plantado debe quedar estable y en posición vertical; su nivel, respecto del terreno, debe ser igual al que tenía en su posición original. Si es necesario, se deben colocar estacas y elementos de sujeción temporal para corregir y mantener la posición adecuada del árbol.

Es primordial verificar la densidad de siembra mínima de la especie a plantar, con el fin de evitar la pérdida del ejemplar por invasión de su propio terreno en las raíces o cambios considerables en la calidad del suelo. Así mismo, es importante tener en cuenta el crecimiento de la especie, de tal forma que se deba calcular el tamaño que lleguen a alcanzar las raíces y las ramas en la edad adulta del árbol.

Se puede hacer uso de mulch para evitar o controlar la erosión por el proceso de plantación. El mulch o mantillo hace referencia a cualquier tipo de vegetación inorgánica u orgánica como roca triturada, agregado grueso, guijarros de río o grava, se deben esparcir como medida de protección de la superficie del suelo. Los materiales de mantillo deben estar limpios de malezas, estolones de césped, semillas y otras materias extrañas y libre de toda materia y sustancias tóxicas para el crecimiento de las plantas.

820.4.9 Fertilización

Debe considerarse al menos una fertilización principal y una de mantenimiento. La fertilización principal se debe realizar junto con la plantación del árbol. Los materiales y dosificaciones se deben señalar en los documentos del proyecto. Durante el proceso de crecimiento, se debe completar la fertilización, según lo indicado en los documentos del proyecto o lo establecido por el interventor.

Los niveles anteriores deben ser considerados como mínimos. Las fertilizaciones se pueden realizar en conjunto con los riegos de agua.

820.4.10 Riego y conservación

El riego se debe aplicar a partir del día siguiente de la plantación y no debe haber límite en cuanto a su frecuencia. De preferencia, debe hacerse el riego temprano en la mañana y al atardecer.

La frecuencia de los riegos debe depender tanto de las condiciones climáticas como de las especies sembradas y debe ser suficiente para asegurar, junto con las fertilizaciones, que durante todo el proceso se presenten los niveles adecuados de desarrollo de los árboles.

Adicionalmente, se debe requerir de poda en caso de que la vegetación sobrepase la corona de la vía, obstruya algún dispositivo de drenaje o impida una adecuada visibilidad en la vía.

Esta actividad debe realizarse siempre que sea necesario, con aprobación del interventor y, en forma permanente, hasta el recibo definitivo de los trabajos.

820.4.11 Manejo ambiental

Adicional a los temas generales expresados en el artículo 106, de estas especificaciones, todas las labores requeridas para la plantación de árboles se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en los estudios y evaluaciones ambientales del proyecto, así como las normas y disposiciones vigentes sobre conservación del ambiente, los recursos naturales y la protección de la comunidad. De esta forma, en todas las determinaciones referentes a los trabajos de plantación de árboles, se deben considerar la protección del medio ambiente y las disposiciones vigentes sobre el particular.

Se deben adelantar previamente los trámites requeridos ante la autoridad ambiental competente para obtener los respectivos permisos; también, que la actividad se ejecute bajo las directrices ambientales vigentes para estos fines.

El constructor debe gestionar ante la autoridad ambiental competente estos permisos. La autoridad ambiental, después de visitar, analizar particularidades y conceptuar, debe otorgar el permiso (resolución) donde se especifican las medidas a emprender de corte, poda, traslado, erradicación, de acuerdo con la especificidad del proyecto.

En caso de hacer uso de agua lluvia el pH debe ser normal entre cinco y cinco coma cinco (5 – 5,5). Por otro lado, para los rellenos, se debe revisar que el material de relleno sea biodegradable y cumpla con el Análisis del Ciclo de Vida (ACV).

Se sugiere evitar el uso de insecticidas ya que se trata de compuestos químicos que pueden afectar a nivel ambiental, como efectos en la flora, fauna, el suelo, el sistema hídrico y la atmosfera.

820.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

820.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos, deben adelantarse los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y el funcionamiento del equipo utilizado por el constructor.
- Comprobar que los materiales cumplan los requisitos de calidad exigidos en el numeral 820.2.
- Vigilar el cumplimiento del plan de establecimiento y mantenimiento aprobados.
- Evaluar, periódicamente, el porcentaje de prendimiento y tomar las acciones preventivas y/o de control para garantizar la supervivencia de los individuos.
- Revisar el cumplimiento de todas las medidas ambientales requeridas (artículo 106 y artículo 102).
- Cuidar que el constructor efectúe la conservación adecuada de los árboles sembrados, hasta su recibo definitivo.

El interventor debe supervisar el cumplimiento, por parte del constructor, de la presentación del plan de ejecución, así como de los informes de evaluación y seguimiento solicitados en el numeral 820.4.3.

Para efectos de pago, el interventor debe proceder con la medición del trabajo ejecutado por el constructor de acuerdo con la presente

especificación. Así mismo, el plan de calidad y el plan de inspección, medición y ensayo son de obligatorio cumplimiento tal como se encuentra expresado en el numeral 103.2 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor.

Para la conservación de los trabajos realizados el contratista debe de realizar: riegos, podas, escardas y binas, mantenimiento de alcorques, instalación de vientos y tutores, abonados y tratamientos fitosanitarios.

820.5.2 Condiciones específicas para el recibo

Los trabajos de plantación de árboles deben ser recibidos cuando los árboles han prendido adecuadamente, si los árboles plantados cumplen con las condiciones funcionales, paisajísticas y técnicas contempladas en los documentos del proyecto, si se ha realizado de forma apropiada el plan de ejecución aprobado, si los insumos empleados cumplen los requisitos de calidad correspondientes y si el área de plantación se encuentra bien mantenida y libre del material sobrante. En caso de ser necesario, el constructor debe presentar al interventor la certificación expedida por parte de la autoridad ambiental competente que acredite el cumplimiento de la obligación que se le haya impuesto para la plantación de árboles en el proyecto.

820.6 Medida

La unidad de medida de la plantación de árboles debe ser la unidad (u) de árbol sembrado de acuerdo con los documentos del proyecto y las indicaciones del interventor y a su plena satisfacción.

820.7 Forma de pago

El pago de la plantación de árboles se debe hacer al respectivo precio unitario del contrato, por todo trabajo ejecutado en concordancia con esta especificación y aceptado a satisfacción por el interventor. El precio unitario debe incorporar todos los costos de preparación del terreno; el suministro en el lugar, el almacenamiento temporal y la colocación de todos los materiales requeridos para plantación; la excavación; la plantación; el relleno de la excavación; los tutores y cercos; el riego, incluyendo el suministro del agua, y poda periódicas de los árboles plantados, si se requieren; el suministro y la aplicación de fertilizantes, insecticidas y demás materiales necesarios para la conservación de los árboles hasta su recibo definitivo; los desperdicios y el manejo adecuado de ellos; la señalización y el control de tránsito; el plan de ejecución y seguimiento y, en general, todo costo adicional relacionado con la correcta ejecución de los trabajos especificados. El precio unitario debe contemplar los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

820.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
820.1	Plantación de árboles	Unidad (u)

Nota: se debe elaborar un ítem de pago por separado para cada especie de árbol contemplada en el contrato.

Obras de ingeniería verde

Artículo 840 - 22

840.1 Descripción

Las obras de ingeniería verde consisten en una serie de procesos o estructuras que contribuyen a la retención de material suelto, mejoran el drenaje de la zona intervenida y disminuyen la energía de escorrentía superficial y subsuperficial, mitigando así los procesos erosivos. La característica principal de estas estructuras es que son construidas con materiales biodegradables, lo que las hace amigables con el medio ambiente al generar impactos positivos.

La revegetalización influye sobre la velocidad y el volumen del flujo del agua hacia y sobre una superficie de talud mediante los procesos de intercepción, retención y acumulación de agua, evaporación de gotas en las hojas, evapotranspiración e infiltración. Mecánicamente, la vegetación puede llegar a aumentar la resistencia al corte del suelo en el cual está creciendo y por lo tanto, puede llegar a contribuir a su estabilidad geotécnica.

Los estudios de consultoría de ingeniería verde deben ser desarrollados por personal experimentado en ingeniería ambiental y geotécnica.

Es importante resaltar que esta técnica de mejoría está basada en procedimientos subjetivos con uso de materiales biodegradables.

Cuando sean aplicados a procesos de remoción en masa activos, deben tener acompañamiento continuo por medio de métodos de control como son: inspección visual, ensayos de laboratorio y monitoreo con instrumentación geotécnica. Hasta garantizar su eficiencia.

Los filtros vivos, las zanjas de drenaje y los gusanillos, son utilizados para controlar y evacuar rápidamente el flujo de escorrentía superficial y subsuperficial (ver Figura 840-1).

Figura 840-1. a) Filtros vivos, b) Zanjas de drenaje y c) Gusanillos. Navarro Wolf, Jorge (2015) II seminario de bioingeniería de Bogotá.

Hay 3 tipos de Filtros:

- Filtro tipo uno (1) o Principal: es un filtro de capas de guadua superpuestas, interconectado en el sentido de la pendiente, el cual recoge todas las aguas provenientes de los filtros tipo dos (2) para conducirlas fuera del talud.

- Filtros tipo dos (2) o Secundarios: son filtros de capas de guadua superpuestas, interconectados en sentido oblicuo a favor de la pendiente, a manera de espina de pescado, los cuales se conectan al filtro principal u otra estructura de drenaje, en ángulos iguales o menores de cuarenta y cinco grados (45°). Su objetivo es sacar el agua de sitios específicos en donde no es necesario un filtro tipo uno (1), también se puede dar el caso que el filtro se inicie como tipo dos (2) y posteriormente, a medida que aumenta el área de captación y el volumen de agua, se convierta en uno de tipo uno (1), esto estará definido en el diseño.

- Filtros especiales: corresponde al mismo filtro tipo uno (1), con alteraciones en sus dimensiones dependiendo de las condiciones intrínsecas del proyecto y según lo que se establezca por el consultor en su diseño. Si en obra se requiere hacer modificaciones al diseño se definen entre el constructor experto, el consultor y el interventor.

Las zanjas de drenaje son excavaciones superficiales en forma de canal elaboradas manualmente con ayuda de herramientas como pica y pala. Se realizan con el objetivo de dirigir una escorrentía de agua o flujo superficial fuera de una zona, para evitar que la saturación de la misma genere algún problema o riesgo.

El gusanillo o bordillo cumple la función de conducir el agua de escorrentía y la conducen a sito seguro de drenajes adecuados, evitando que fluya sobre la cara del talud externo; consiste en un amontonamiento de suelo a manera de montículo con el fin de evitar la entrada de agua de escorrentía a un sitio determinado. El amontonamiento de suelo se realiza en empacado de sacos de fique, yute y/o material biodegradable que no genere impactos ambientales.

Los trinchos vivos, tiene dimensiones diferentes definidas en el diseño si se utilizan escalonados para dar soporte a los filtros vivos o como estructuras construidas escalonadamente de abajo hacia arriba en sentido de la pendiente, para disipar la energía cinética del agua y reconformar laderas (perfil más suave), finalmente, este conjunto de elementos forma terrazas con pendiente promedio acorde a la inclinación del terreno o para el manejo de drenajes y cauces naturales con vertedero y cresta para controlar el arrastre de materiales, (ver Figura 840 - 2).

Figura 840 - 2. a) vista frontal y b) vista lateral de los Trinchos vivos. Navarro Wolf, Jorge (2015) II seminario de bioingeniería de Bogotá.

El taponamiento de grietas consiste en rellenar las mismas con material presente en la zona donde se presenta el deslizamiento, de preferencia arcilla. Luego se compacta con un pisón en capas sucesivas compactadas manualmente en capas de veinte a veinte cinco centímetros (20 a 25 cm), hasta llegar al nivel y pendiente del suelo original.

Esta acción evita que el agua se infiltre con facilidad en el suelo impidiendo la saturación del material. Si la grieta no es intervenida, va a aumentar su longitud, profundidad y anchura con el tiempo.

Finalmente, la revegetalización, ayuda a mitigar la erosión provocada por el viento y las lluvias gracias a la cobertura vegetal generada, la cual también ayuda a retener el material más superficial.

840.2 Materiales

Los materiales empleados en cada uno de los ítems que hacen parte de las obras de ingeniería verde, son:

840.2.1 Guadua rolliza o madera

Aunque las obras de ingeniería verde se pueden realizar con madera de diferentes especies, el insumo principal es la guadua rolliza o tolete de longitudes variables. Esto depende de la longitud de cada elemento, según sea las necesidades del proyecto. Los tamaños comúnmente usados son de dos metros (2 m) a seis metros (6 m) y con un diámetro promedio entre diez centímetros (10 cm) a catorce centímetros (14 cm). Debido a su estructura recta, resistencia, flexibilidad, peso liviano, facilidad de transporte y manejo dentro de la obra, dejándose acomodar fácilmente. Las guaduas deben ir selladas en sus extremos con sus tabiques naturales y no se deben rajar ni perforar internamente.

En general, el número de guaduas necesarias en la construcción de un tramo de filtros tipo uno (1), oscila entre dieciséis (16) y veinte (20) unidades o toletes de igual longitud, y entre ocho (8) a doce (12) unidades para los filtros tipo dos (2), variando según el diseño, la presencia de agua y el volumen necesario a evacuar. En el caso de los trinchos vivos cuando son utilizados para soportar al filtro biodegradable, el número promedio de guaduas oscila entre ocho (8) y catorce (14) unidades y cuando se construyen como vertedero, son utilizadas entre doce (12) y dieciséis (16) unidades dependiendo del diseño, del tipo de cauce y profundidad del mismo.

El número de guaduas usadas como travesaños en los trinchos vivos, oscila entre cuatro (4) y siete (7) unidades o toletes dependiendo del diseño y la longitud total del trincho.

Las cantidades exactas de guadua van a depender de la magnitud del área o longitud a ser tratada.

840.2.2 Material vegetal

Especies arbóreas de porte alto, arbustivas de porte medio y especies bajas, herbáceas o de cobertura, son el tipo de vegetación utilizada para revegetar. Este material va a ser seleccionado de acuerdo con las necesidades de uso del suelo, utilizando preferiblemente vegetación nativa y multiestrato. Y que no afecten la vegetación existente en la zona de intervención.

840.2.3 Materiales varios

Sacos en fique, yute u otro material biodegradable para formar los gusanillos.

El sellamiento o taponamiento de grietas, consiste en rellenar las mismas con material presente en la zona donde se presentó el deslizamiento, de preferencia arcilla.

Otros materiales que pueden ser necesarios en el proceso de revegetalización, son los abonos orgánicos y fertilizantes.

840.3 Equipo

El equipo a usar en la realización de implementaciones de las obras de ingeniería verde es básico y se refiere principalmente a herramientas manuales tales como: pica, pala, azadón, palín, barras metálicas, ahoyadores manuales o motorizadas, machetes, serruchos o sierras, motosierra, pisones de diámetro pequeño de cinco a seis centímetros (5 a 6 cm), pisones de diámetro grande de veinte a veinte cinco centímetros (20 a 25 cm), apisonador motorizado (canguro), manila de diez milímetros (10 mm) y herramienta manual menor como martillo, alicate, llaves fijas, etc.
En caso de zonas de alta pendiente, el equipo de seguridad para trabajo en alturas puede ser requerido.

Solo se utiliza maquinaria y volquetas cuando sea necesario retirar material que este depositado en los sitios tratados.

840.4 Ejecución de los trabajos

Los ítems que hacen parte de las obras de ingeniera verde pueden ejecutarse en zonas geotécnicamente estables cuando, a partir de un análisis visual previo, se identifique que el talud presenta escaza o nula presencia de vegetación, el material superficial es fácilmente erodable en época de lluvias, presenta evidencia de formación de surcos o cárcavas debido a la escorrentía superficial, así como agrietamientos pequeños y superficiales. Se recomienda que este tipo de intervención sea tomado como medida de mitigación con el fin de disminuir posibles desplazamientos del terreno ante procesos de remoción en masa. Si el movimiento persiste en la zona de intervención, esta debe someterse reevaluación.

Antes del inicio de los trabajos, el proyecto debe ser confrontado con una inspección visual y levantamiento topográfico en el terreno. Se debe verificar entre el constructor y el interventor para no deslegitimar el diseño que se toma de referencia. Si se disponen, se recomienda el uso de herramientas fotogramétricas como material de apoyo para este labor. Esto con el fin de definir la ubicación final de cada de los elementos necesarios a ejecutar, bien sean los filtros vivos, trinchos vivos, zanjas de drenaje, taponamiento de grietas o todos en conjunto.

El proyecto debe ser configurado y diseñado en concordancia con el levantamiento topográfico y la condición vulnerable del terreno a controlar, debiendo ser confrontado durante el proceso constructivo para realizar el debido replanteo, informando previamente al interventor para su aprobación así, por ejemplo, en el caso de los trinchos vivos, la profundidad de excavación se obtiene al momento de encontrar un suelo de rechazo no saturado.

Si el suelo no se soporta por sí solo durante las excavaciones, se debe proceder a entibar convencionalmente con materiales accesibles y que permitan ajustarse a las geometrías variables de las excavaciones. Para realizar esta labor, se recomienda el uso de madera.

El profesional encargado debe realizar el diseño del entibado de acuerdo con las necesidades propias del proyecto, con previa aprobación del interventor.

Terminados los trabajos, el constructor debe remover y disponer todos los materiales sobrantes, en lugares aprobados por el interventor. Adicionalmente, debe tener en cuenta las medidas de manejo y protección ambiental propias del proyecto, al igual que las disposiciones vigentes, en especial las referentes a la explotación y uso de la guadua u otras especies, de tal forma que todo el material de guadua o madera usado debe contar con su respectivo salvoconducto al momento de ingresar al sitio de obra.

Como fue mencionado anteriormente, los ítems que conforman las obras de ingeniería verde trabajan en conjunto para el control de la erosión, manejo de escorrentía superficial y aguas subterráneas, a partir de eso,

su instalación y proceso constructivo es el siguiente:

840.4.1 Filtros vivos

Para estructurar el proyecto de filtros vivos y definir su localización debe llevarse a cabo una inspección de la zona a ser intervenida para identificar las cárcavas, drenajes naturales, afloramiento de agua en la superficie, terreno saturado y demás características que indiquen por donde se da el flujo preferencial del agua; permitiendo definir la configuración, inicio y culminación de los filtros que pretenden ser instalados. Con lo anterior, se busca abatir correctamente el nivel freático, controlar el flujo de agua en su área de influencia.

La construcción de los filtros, se realiza en el sentido de la pendiente, para evacuación rápida de las aguas subsuperficiales (Rivera, 2011), preferiblemente haciéndolos de arriba hacia abajo. De esta manera permiten la evacuación rápida de las aguas subterráneas que saturan el terreno, facilitando la ejecución de las obras. Si se presenta dificultades en el procedimiento por la presencia de cantidades considerables de agua, se debe iniciar zanjeando desde abajo para lograr drenar la zona.

La longitud de cada uno de los tramos del filtro se especifica en el diseño y está determinada por varios factores, siendo la pendiente y el volumen de agua a drenar, las dos variables más importantes. La separación de los filtros está definida en el diseño por el profesional encargado y puede variar dependiendo de la cantidad de agua que se encuentre en el sitio, si hay necesidad de modificaciones, estas deben ser definidas por el constructor con aval de interventoría.

Es factible que en el diseño se considere la colocación de pequeños tabiques entre cada piso de guaduas, los cuales se realizan con esterilla de la misma guadua, de tal manera que no superan los uno coma cinco centímetros (1,5 cm), colocando tres esterillas, una hacia cada una de las puntas y una en el centro de la guadua.

El filtro tipo uno (1) o Principal debe descolar o terminar siempre en un sitio seguro, pues debe conducir el agua hasta la quebrada, rio, cuneta o zanja de drenaje natural o construido. En todo caso siempre se debe procurar que el agua llegue hasta un sitio donde no haya probabilidad de infiltración o inicio de un proceso erosivo.

Para la construcción de los filtros vivos, debe realizarse en orden descendente, se lleva a cabo el siguiente procedimiento:

1. Desmontar y limpiar el área requerida, la cual tendrá un ancho mínimo de un metro (1 m) a cada lado del eje del filtro.

2. Trazar el eje del filtro con un cordel bien templado, marcando los dos laterales con un palín.

3. Retirar el cordel y excavar una zanja en sentido de la pendiente. Se recomienda que la zanja tenga un ancho promedio de cero coma seis metros (0,6 m) y una profundidad entre uno coma dos metros (1,2 m) a uno coma seis metros (1,6 m) para los filtros tipo uno (1) y entre cero coma ocho metros (0,8 m) a uno coma dos metros (1,2 m) para los filtros tipo dos (2). Estas profundidades pueden llegar a tener variaciones dependiendo de las características intrínsecas del proyecto. Si el suelo no tiene auto sustentación durante la excavación, se debe hacer entibado. La inclinación final de la zanja debe ser uniforme.

4. Instalar trinchos vivos cada tres metros (3 m) a cuatro metros (4 m) a lo largo de la zanja con el objetivo de soportar los filtros vivos principales y secundarios. Los trinchos son construidos perpendicularmente

a la zanja y en forma escalonada, actuando de esta manera como sistema de confinamiento de cada tramo del filtro, evitando el desplazamiento de los mismos y/o el socavamiento de la base por parte de las aguas colectadas. La profundidad del trincho debe superar la del filtro.

5. Apilar las guaduas al interior de la zanja en forma organizada y en pisos sucesivos, según el diseño, la presencia de agua y el volumen necesario a evacuar. Las guaduas deben quedar bien apretadas entre ellas y contra los bordes de la excavación.

6. Colocar una capa de material vegetal sobre la última capa de guadua para evitar el taponamiento del filtro. El material que conforma esa "tapa" debe ser de fácil rebrote como ramas de árboles, pasto, maleza etc. En caso de que en el sitio sea difícil su consecución puede usarse una tela de fique, yute, lona o geotextil no tejido, según el diseño, la disponibilidad y el acuerdo con el interventor.

7. Rellenar con el propio material de excavación en capas sucesivas compactadas manualmente con un pisón ancho de veinte a veinticinco centímetros (20 a 25 cm), hasta llegar al nivel y pendiente del suelo original. El suelo no debe hundirse, es decir, después de compactado debe quedar bien firme.

teniendo en cuenta la conservación del nivel del trincho, lo cual se garantiza intercalando la parte delgada (punta) con la parte gruesa de la guadua (base), tal como se ilustra en la Figura 840 - 3. El número de guaduas necesarias para este proceso en los filtros tipo uno (1), oscila entre dieciséis (16) y veinte (20) unidades o toletes de igual longitud, y entre ocho (8) a doce (12) unidades para los filtros tipo dos (2), variando

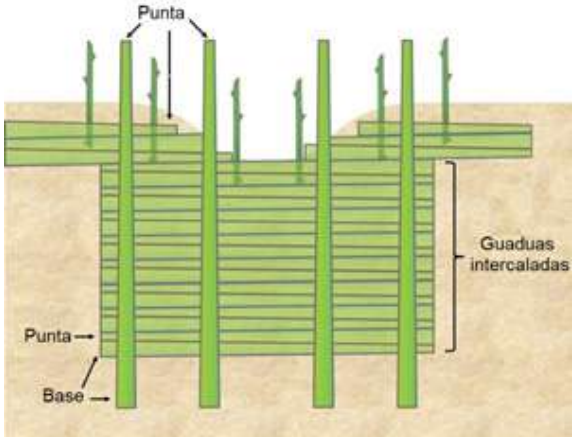


Figura 840-3. Esquema de la instalación de guaduas para trinchos con función de vertederos, intercalando base y punta.

En el caso de construir una zanja de drenaje en la superficie del filtro, esta superficie debe ser compactada un poco más con un apisonador mecánico tipo canguro, en los sitios donde la pendiente lo permita.

840.4.2 Trinchos vivos

Los trinchos vivos son construidos principalmente en guadua, siendo la madera rolliza otra alternativa.

Para definir una aproximación de la distancia entre trinchos (DT), basta multiplicar la altura total del trincho (h) por cien (100) y dividir el resultado por la pendiente de la zanja en porcentaje (s).

$$DT = \frac{h}{s} * 100 \qquad [840.1]$$

DT: tentativa de la distancia entre trinchos
s: pendiente de la zanja en porcentaje
h: altura total del trincho

Este valor debe ser definido en el proyecto y confrontado a partir de lo encontrado en campo, así como también su ubicación.

Dentro de las obras de ingeniería verde, los trinchos pueden desempeñar las siguientes funciones:

- Soporte de los filtros vivos principales y secundarios: actúa como sistema de confinamiento de cada tramo del filtro.

- Control de la erosión: los trinchos permiten disminuir el impacto producido por las aguas de escorrentía en drenajes o causes de quebradas.

- Vertedero: los trinchos construidos a lo largo de una quebrada, cauce natural o artificial permiten reducir el impacto de la erosión sobre los lechos y las márgenes mediante la regulación del caudal en circulación.

- Trinchos escalonados: son estructuras biomecánicas establecidas en forma escalonada a lo largo de la pendiente longitudinal del terreno, pueden llegar a disipar la energía cinética del agua, controlar el arrastre de materiales, atenuar posibles inestabilidades del terreno y favorecer la recuperación de la vegetación. No son obras de contención.

- Estructuras disipadoras: Son estructuras biomecánicas establecidas en forma escalonada a lo largo del eje longitudinal de las cárcavas, surcos, zanjas, taludes, etc, pueden llegar a disipar la energía cinética del agua, controlar el arrastre de materiales, atenuar posibles inestabilidades del terreno y favorecer la recuperación de la vegetación. No son obras de contención.

La longitud de las guaduas utilizadas para construir los trinchos vivos puede variar debido a la diferencia en profundidad a la que son enterradas, de tal manera que al cortarlas debe haber un exceso en la superficie. Su longitud de corte o emparejado se define al culminar la obra, pues según el relleno puede variar el número de guaduas que conforman el trincho.

En los lugares que se requieran interrupciones o variación de la distancia entre estacones o pilotes, debe efectuarse un ajuste en el espaciamiento, variándolo gradualmente para que exista concordancia con los requisitos de resistencia, uniformidad y estética de los trinchos. En la medida que exista posibilidad de anclarlos lateralmente a algún elemento como rocas o incluso árboles, se debe aprovechar para un mejor funcionamiento de los mismos.

El hincado como sistema de instalación de los parales o pilotes es aceptado únicamente si se hace como complemento para darle mayor profundidad a lo especificado, en este caso se puede golpear de manera manual o mecánica los estacones hasta la profundidad deseada, teniendo en cuenta de no estallar la cabeza de la guadua al momento de golpearla.

Los pasos para la instalación de los trinchos vivos son los siguientes:

1. Limpiar el talud, removiendo obstáculos y demás materiales que dificulten la ejecución de los trabajos. Debe tenerse en cuenta la existencia de árboles u otras especies vegetales valiosas que puedan ser de interés conservar.

2. Trazar el eje del trincho con un cordel bien templado. En el caso de ser construidos para soportar los filtros vivos o como vertederos, se marcan los dos bordes o laterales del filtro, cauce o quebrada con un palín y se retira el cordel.

3. Excavar con pico y pala una zanja dejando el material excavado a los dos costados,

de preferencia un mayor volumen en la parte inferior para evitar sobrecarga y su consecuente derrumbe.

Para trinchos que soportan filtros vivos, la zanja excavada debe ser perpendicular al eje longitudinal del filtro, tener un ancho igual a cero coma seis metros (0,6 m) y una profundidad mayor a la profundidad de desplante del filtro, aproximadamente unos diez centímetros (10 cm) a quince centímetros (15 cm) adicionales. Se recomienda construir un trincho cada tres metros (3 m) a cuatro metros (4 m) para evitar el desplazamiento de los filtros y/o el socavamiento de la base por parte de las aguas colectadas.

Para trinchos disipadores de energía de escorrentía, la excavación se hace de manera nivelada con una amplitud de cero coma seis metros (0,6 m) y con una profundidad media de cero coma cuatro metros (0,4 m).

En el caso de los trinchos construidos como vertederos para cauces o quebradas, la zanja excavada debe ser perpendicular al eje longitudinal de la quebrada, además de tener un ancho de cero coma seis metros (0,6 m) y una profundidad que ultrapase en treinta centímetros (30 cm) a cincuenta centímetros (50 cm) la base del cauce, evitando con ello futuras socavaciones. Si el suelo no tiene auto sustentación durante la excavación se debe entibar.

4. Realizada la excavación de la zanja, se procede a hacer perforaciones de un metro (1 m) a dos metros (2 m) de profundidad, en el caso de que los trinchos sean utilizados como vertederos o para soportar los filtros vivos. Si los trinchos son construidos para disminuir la energía de escorrentía, la profundidad de las perforaciones debe ser entre cero coma ocho metros (0,8 m) a uno coma dos metros (1,2 m); siendo estas profundidades dependientes de la dureza del material, estas perforaciones deben tener un ancho igual al ciento cincuenta por ciento (150%) del diámetro de la guadua o estacón que va a ser instalado, esto con el fin de facilitar el posterior llenado y compactación de la perforación (ver Figura 840-4).

La profundidad mínima es de un metro (1 m), si los planos no indican otra cosa, pero siempre teniendo en cuenta que, a mayor profundidad, mayor es la estabilidad de la construcción.

5. Instalar verticalmente los estacones al interior de la perforación, manteniendo el alineamiento y la rasante establecida, aceptándose como máximo una desviación

Figura 840 - 4. Perforación para instalación de las guaduas/estacones al interior de una zanja. Navarro Wolf, Jorge (2015) II seminario de bioingeniería de Bogotá.

de cincuenta milímetros (50 mm) respecto a la vertical, hacia los lados o hacia la parte alta de la pendiente, nunca hacia la parte de abajo. La separación entre las guaduas debe ser entre cero coma ocho metros (0,8 m) a un metro (1 m), con una tolerancia de más o menos diez por ciento (±10%).

La longitud total del trincho como soporte de filtros puede variar según el diseño, tipo de filtro y profundidad del mismo, siendo la más típica la de tres metros (3 m) de longitud y la mínima de dos coma cuatro metros (2,4 m), garantizando un distanciamiento mínimo de ochenta centímetros (80 cm) entre estacones y un sobrante al final de la guadua de diez centímetros (10 cm) para evitar desacomodos en los laterales. Cuando sea el momento de armar los trinchos se debe asegurar que las guaduas travesaños de estos, queden contra las puntas de las guaduas de los tramos de los filtros, eso asegura la continuidad de los últimos y por tanto la facilidad en la evacuación del agua.

Los trinchos con disipación para drenajes y cauces naturales con vertedero y cresta no deben tener una altura superior a un metro (1 m) y deben ir empotrados para evitar la socavación del fondo o lateral. En zonas de laderas deben llevar crestas y un vertedero (Figura 840 - 5), el cual debe tener una altura máxima por encima del cauce de la cárcava o quebrada igual a veinte centímetros (20 cm) y el ancho debe ser del ochenta por ciento (80%) del ancho de la amplitud de la zanja, de manera que permita el libre flujo del agua. Cuando sea necesario que la altura del vertedero por encima del cauce sea mayor a lo especificado, es necesario colocar un disipador de energía en la base del mismo (puede construirse en guadua o en piedra) para impedir el impacto del agua directamente sobre el lecho.

Cuando es construido como vertedero, la longitud total del trincho puede variar según el ancho del cauce o corriente. El vertedero debe ser del ochenta por ciento (80%) del ancho del cauce y la dirección de instalación

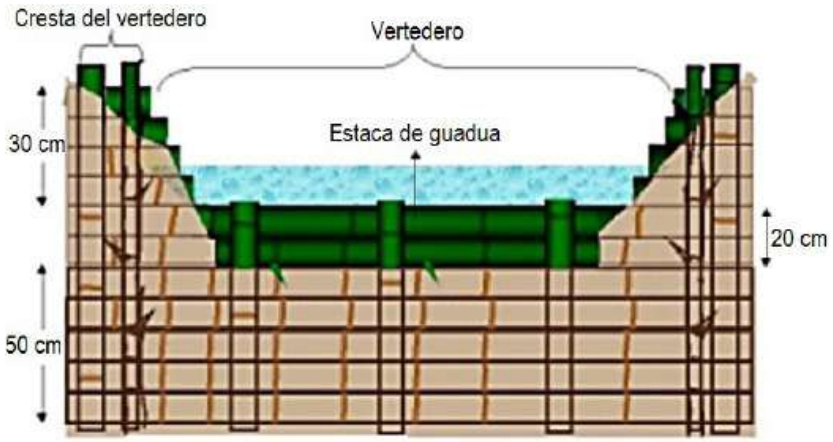


Figura 840 - 5. Detalle construcción vertedero con Trinchos Vivos. Rivera Posada, José Horacio (2002) Avances técnicos CENICAFÉ 296.

de los trinchos debe ser de arriba para abajo, siguiendo la dirección del agua. Es importante que los trinchos vayan escalonados de tal manera que la altura del vertedero aguas abajo proteja la base de la estructura anterior (ver Figura 840 - 6).

6. Rellenar la perforación en capas sucesivas de máximo cinco centímetros (5 cm), compactadas manualmente con pisón metálico o de madera de diámetro pequeño de cinco a siete centímetros (5 a 7 cm), lo que garantiza el perfecto empotramiento

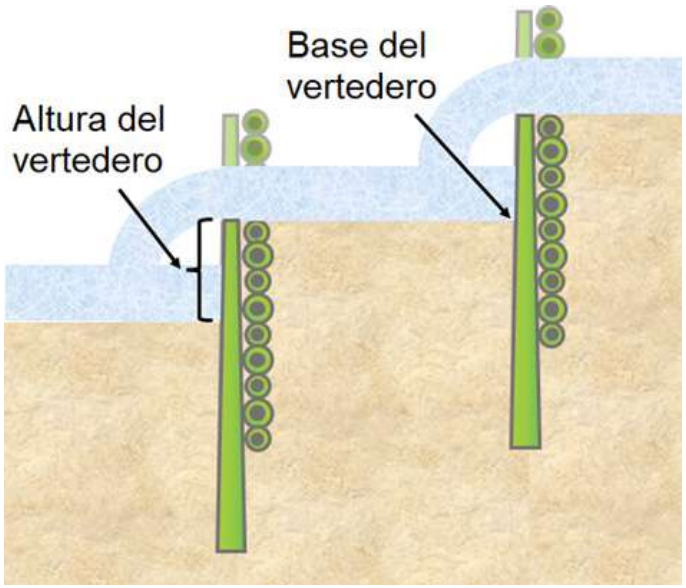


Figura 840 - 6. Esquema de la instalación escalonada de trinchos con la función de vertederos.

del estacón/pilote, quedando completamente inamovible. Debe utilizarse material seco, de fácil compactación y evitar excesos de agua o rocas de gran tamaño. Los pilotes también pueden ser hincados para dar mayor profundidad que lo especificado, siempre que no estalle la cabeza de la guadua al momento de golpearla.

7. El trincho se arma colocando una guadua a la vez y apilándolas una sobre otra desde la base hasta la superficie en una sola línea, conservando a nivel, lo cual se garantiza intercalando la parte delgada (punta) con la parte gruesa de la guadua (base), tal como se mostró en la Figura 840 - 3. Se realiza el relleno con el mismo material excavado y la respectiva compactación del mismo con pisón manual metálico o de madera, asegurando que no queden espacios libres o bolsas de aire entre cada dos (2) guaduas instaladas.

En el caso del vertedero, se van recortando gradualmente las guaduas laterales, dejándolas empotradas en las crestas y formando el vertedero. Las crestas al lado y lado del vertedero deben tener una altura entre treinta centímetros (30 cm) y cincuenta centímetros (50 cm) a partir del lecho e ir empotradas en el talud del cauce con la ayuda de al menos dos (2) parales o pilotes adicionales. El trincho debe enterrarse entre treinta centímetros (30 cm) a cincuenta centímetros (50 cm) por debajo del cauce.

8. Para finalizar el trincho, se compacta el suelo de la superficie con un pisón de mayor diámetro de veinte a veintidós centímetros (20 a 22 cm), metálico o de madera, dejando el terreno apto para la posterior siembra del material vegetal (revegetalización). En el caso de realizar en la superficie una zanja de drenaje, se deben cortar las dos (2) últimas guaduas usadas como travesaños a manera de vertedera con el propósito de asegurar la funcionalidad y permanencia del trincho. La Figura 840 - 7 muestra el corte lateral de esta estructura.

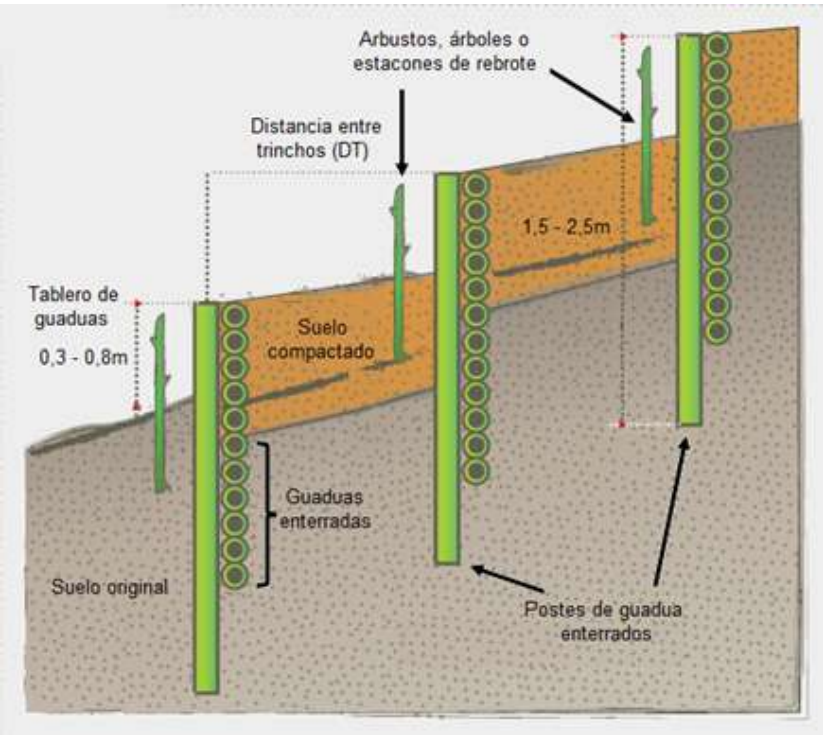


Figura 840 - 7. Modificado - Vista en perfil de trinchos instalados. Rivera Posada, José Horacio (2015), Manual de procedimientos para el manejo de procesos denudativos con obras de Bioingeniería.

840.4.3 Zanjas de drenaje

Para la elaboración de una Zanja de drenaje se realiza el siguiente procedimiento:

1. Se realiza la marcación del punto inicial y final de la zanja, previendo algunos cambios en la alineación para controlar la velocidad del flujo del agua, evitando con ello la erosión. El ancho y profundidad de las zanjas varía y va a depender principalmente de la cantidad de agua a evacuar. Una medida común es cero coma seis metros (0,6 m) de ancho y cero coma dos metros (0,2 m) de alto. No requieren preparación previa de la superficie.

2. Ejecución de la excavación y deposición del material excavado a manera de montículo en ambos costados de la zanja, aumentando la profundidad y dando mayor consistencia a la misma.

A lo largo de la zanja de drenaje es conveniente que se construyan disipadores simples en guadua o madera con el fin de disipar la energía del agua, evitando socavación y por supuesto profundización excesiva, a mayor pendiente menor distancia debe haber entre los disipadores.

En todos los casos, las zanjas deben tener un perfil redondeado a manera de medio circulo y no uno cuadrado (bordes rectos), eso garantiza que persistan por más tiempo, permitiendo su revegetalización más rápidamente y que se vean afectadas en menor medida por pisoteo de ganado. En ningún caso se reciben zanjas de taludes verticales.

840.4.4 Gusanillo o montículo

Los gusanillos son formados a partir de un amontonamiento de tierra en forma de montículo de aproximadamente un metro (1 m)

de ancho y cero coma cuatro metros (0,4 m) de alto. Para la ejecución de este proceso no se requiere preparación previa de la zona. El material puede extraerse del mismo local del proyecto, de excavaciones previas, realizando acopiamiento de material superficial o de excavaciones provenientes de alguna zona cercana, siendo amontonando de manera gradual y paulatina, formando el montículo o medio círculo con el ancho y altura recomendados. Posteriormente se compacta con un pisón de base ancho. Normalmente se realiza una zanja en el lateral para ayudar en la conducción del agua.

Otra manera de formar el gusanillo o montículo es llenando bolsas de fique u otro material con suelo de la zona, para luego acomodarlas a lo largo con un ligero traslapo entre ellas, dándole continuidad y consistencia al mismo. Esté método tiene mayor rendimiento y se usa generalmente cuando el gusanillo es provisional.

Cuando el gusanillo es permanente, debe buscarse la revegetalización del mismo, para lo cual es necesario adicionar semillas de pastos o arvenses e incluso estolones de especies rastreras de rápido desarrollo; una vez cubierto se incorpora al paisaje, cumpliendo permanentemente con su función.

840.4.5 Taponamiento de grietas

En caso de la existencia de grietas en la zona del proyecto, debe procederse al taponamiento de las mismas de manera manual y paulatina, marcando con estacas el inicio y fin de cada una de las grietas.

Se retira la vegetación adyacente y se coloca material de relleno, preferiblemente de tipo arcilloso o con la característica de baja permeabilidad, por capas desde el fondo de cada grieta, compactando adecuadamente con un pisón metálico o de madera hasta llegar al borde o superficie deseada. El diámetro del pisón debe ser aproximado al tamaño de la grieta.

840.4.6 Revegetalización

La revegetalización de la zona se realiza una vez culminada las labores constructivas con la guadua, es decir los filtros vivos, trinchos vivos, disipadores, etc, para revegetar pueden ser utilizadas especies arbóreas de porte alto, arbustivas de porte medio y especies bajas, rastreras o de cobertura, todas ellas preferiblemente nativas y definidas en el diseño del proyecto. Estas plantas pueden ser obtenidas en viveros o por estacas.

En el caso de árboles superiores se procede a sembrarlos según especificación general INV-820 Plantación de árboles. En cuanto que, para la siembra de estacas, la elección de la especie y la definición de la distancia de siembra están sujetas a lo establecido en el proyecto, previa confrontación en el sitio de los trabajos por parte del constructor y el interventor. La vegetación de porte bajo o rastrera puede ser sembrada esparcida al voleo, siembra de plántulas o con cespedones.

En el caso que se decida sembrar árboles provenientes de viveros, también se aplica la especificación general INV-820 Plantación de árboles. Se pueden sembrar árboles de vivero en tres bolillos, a cada tres metros (3 m).

Se recomienda conformar un bosque primario alrededor de los filtros principales con especies arbóreas de porte alto o medio. Para esto se siembran, a una distancia de un metro (1 m), estacas vivas a lo largo de los filtros y/o al pie de los trinchos, para lo cual se seleccionan especies que se multipliquen fácilmente mediante esta técnica. Las estacas vegetales que mejor rebrotan son aquellas con diámetro superior a cinco centímetros (5 cm). En la Tabla 840 - 1 se muestra el desarrollo biológico de material vegetativo sembrado por estacas.

El abono orgánico, el fertilizante y demás enmiendas, pueden ser aplicados al momento de la siembra y ser usados durante la etapa de mantenimiento.

Deben ser programados dos (2) mantenimientos en un período de tres (3) meses al terminar la obra, para garantizar el crecimiento de las especies arbóreas en la fase inicial. Durante este periodo se deben realizar riegos periódicos y aplicar el "plateo" de los alrededores de los árboles, con el fin de evitar la "competencia" entre las especies herbáceas con las arbóreas y arbustivas, evitando que las "asfixie" al impedir su crecimiento.

Tabla 840 - 1. Desarrollo biológico de material vegetativo sembrado por estacas.

Especie	Meses de siembra	Rebrote de estacas (% promedio)	Crecimiento promedio (cm)
Guadua angustiofilia (Guadua)	1	10	2
	10	8,7	51
Gliricedia sepium (Matarratón)	1	70	2
	2	90	8
	3	50	50
Gynerium saggitatum (Caña brava)	1	30	2
	10	80	250
Trichanthera gigantea (Nacedeo)	1	52,6	5
	1,5	80	15
	4	80	65
	6	96	210
		10	90

Rivera Posada, José Horacio (1998) Avances técnicos CENICAFÉ 256.

840.4.7 Manejo ambiental

Este tipo de procesos constructivos se caracteriza por utilizar materiales compatibles con el medio ambiente, por lo cual se consideran impactos ambientales mínimos o nulos, sin embargo, cualquier procedimiento que se requiera para el diseño, locación y ejecución de trabajos y/o entrega y abandono de obras; debe tener en cuenta lo expuesto en el artículo 106, Aspectos ambientales.

840.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

Las condiciones para el recibo de los trabajos de las obras de ingeniería verde son las siguientes:

- Constatar que se cuente con los permisos prediales para la intervención antes de iniciar las obras.
- Verificar el estado y el funcionamiento del equipo empleado por el constructor.
- Verificar el cumplimiento de todas las medidas requeridas sobre seguridad y medio ambiente.
- Verificar las excavaciones, el armado de los Filtros y Trinchos Vivos, el relleno y compactación del material al momento de la construcción del filtro, instalación de los estacones y travesaños del trincho.
- Específicamente para los trinchos vivos, revisar que este se encuentre a nivel y que los pilotes estén inamovibles manualmente con fuerza humana.
- En el caso de las zanjas y gusanillos, verificar que el agua sea dirigida fuera del talud o zona que se desea drenar.

- En el caso del taponamiento de grietas, verificar que todo el material vegetal fue retirado del fondo de la grieta para la correcta compactación del material y garantía del trabajo.

- La revegetalización debe ser verificada a los tres (3) meses de haber terminado la obra, como garantía del establecimiento de la vegetación.

- Verificar que todos los procedimientos se construyan de acuerdo con el diseño planteado (planos) o de acuerdo a las necesidades de modificación definidos a partir del comportamiento y existencia de agua en el terreno.

- Comprobar que los trabajos se ajusten a las exigencias de esta especificación.

- El interventor debe medir, para efectos de pago, la cantidad de obra correctamente ejecutada.

- Verificar que durante la instalación de las guaduas, no se excedan los cincuenta milímetros (50 mm) de desviación respecto a la vertical, hacia los lados o hacia la parte alta de la pendiente, nunca hacia la parte de abajo de la misma.

840.6 Medida

Las unidades de medidas establecidas para los ítems que componen las obras de ingeniería verde son metro (m) para los filtros vivos, trinchos vivos, zanjas de drenaje, gusanillos y taponamiento de grietas, la unidad (u) para las especies arbóreas y arbustivas sembradas y metros cuadrados (m^2) para las especies rastreras. En el caso en que sea necesario entibar, el valor de esta actividad será adicionada en metro cuadrado (m^2), y se debe obtener como resultado de la multiplicación del alto por el largo de cada una de las caras de la zanja debidamente soportada o entibada. Cuando se presentan excavaciones con profundidades mayores a uno coma ocho metros (1,8 m), es necesaria la inclusión de una actividad denominada excavación especial en metro cúbico (m^3).

840.7 Forma de pago

El pago debe hacerse al respectivo precio unitario, teniendo en cuenta las unidades establecidas y las dimensiones según planos en planta del proyecto, contrastando con las cantidades en obra ejecutadas. El precio debe cubrir todos los costos correspondientes al suministro de materiales, desmonte y limpieza del área de construcción, replanteo, excavaciones, entibados, transporte de la guadua, instalación de la guadua o armado de los filtros y/o trinchos vivos, tapado del filtro, relleno y compactación del material de relleno, limpieza final del área de trabajo, desperdicios y en general todo costo relacionado con la correcta ejecución del trabajo especificado. Todos los costos de las actividades incluyen administración, imprevistos y utilidades del contratista.

En el caso específico de la revegetalización, el precio unitario debe incluir el mantenimiento a realizar en los tres (3) meses de soporte, posterior a la culminación del proyecto.

840.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
840.1	Construcción filtro vivo Tipo 1 o principal	Metro (m)
840.2	Construcción filtro vivo Tipo 2 o secundario	Metro (m)
840.3	Trinchos vivos	Metro (m)
840.4	Zanja de drenaje	Metro (m)
840.5	Gusanillo o montículo	Metro (m)
840.6	Taponamiento de grietas	Metro (m)
840.7	Revegetalización multiestrato con especies arbóreas y arbustivas sembradas	Unidad (u)
840.8	Revegetalización multiestrato con especies rastreras	Metro cuadrado (m^2)
840.9	Entibado (opcional)	Metro cuadrado (m^2)
840.10	Excavación especial H>1,8 m	Metro cúbico (m^3)
840.11	Pago de guadua a distancias mayores a 100 m	Metro (m)

Nota: Plantación de especies arbóreas no incluidas en el numeral 840.7 y 840.8 se deben pagar de acuerdo a la especificación general INV-820. Plantación de árboles.

Geobioingeniería

Artículo 850 - 22

850.1 Descripción

La geobioingeniería hace referencia a aquellas tecnologías que pueden ser ejecutadas como medidas de protección y control de erosión. La característica principal de estos sistemas es el de combinar materiales orgánicos (semillas, material orgánico, etc.) e inertes (tela de alta densidad, cables de polipropileno, grapas, etc.).

Dentro de los sistemas de geobioingeniería se encuentran los siguientes:

850.1.1 Biorrollos

Utilizados para controlar la erosión superficial en terrenos inclinados, ya que disminuyen la energía de escorrentía, permitiendo el paso del agua y la retención de los sólidos en suspensión, también contribuyen con la recuperación de la cobertura vegetal.

Gracias a su configuración tubular no rígida, pueden ser adaptados a la topográfica superficial del terreno donde es ejecutado el proyecto.

850.1.2 Biobarreras

Sistema de tres (3) líneas verticales de biorrollos fijados con estacas, para controlar la erosión, disminuir la energía de escorrentía del agua y retener sólidos disueltos. Las biobarreras permiten un filtrado y retención superior al noventa y cinco por ciento (95%) de sólidos y contaminantes.

850.1.3 Geobiomallas

Deben cubrir la superficie del suelo protegiéndolo contra la erosión, esta tecnología confina en su interior un sustrato biótico para garantizar la regeneración de la cobertura vegetal.

850.1.4 Mantos

Utilizados para reducir la erosión del suelo, retener detritos y ayudar en el crecimiento de la vegetación. Dependiendo del material pueden ser de uso temporal o permanente.

Deben cumplir con las especificaciones de mantos clase uno (1) y clase dos (2) del artículo 811 correspondiente a protección de taludes con productos enrollados para control de erosión.

850.1.5 Hidrosiembra

Mezcla específica de productos degradables proyectados hidráulicamente de manera uniforme sobre una superficie que necesita ser revegetada, evitando con ello que se desencadene algún proceso erosivo.

Otras opciones de protección aplicadas en zonas planas o en taludes con inclinación menor a los treinta grados (< 30°) son el trasplante de césped y la colocación de tierra orgánica (material de descapote).

850.1.6 Anclaje

Herramienta utilizada para fijar mecánicamente diferentes tipos de mantos, redes y mallas metálicas o sintéticas, de igual forma contribuyen a la estabilización superficial de taludes y canales en suelo.

850.1.7 Sistema compuesto para control de erosión

Se construye para controlar la erosión de taludes y canales, mediante la instalación de geotextiles no tejidos o mantos, mallas biaxiales coextruidas o mallas metálicas y pines poliméricos o pernos/anclajes. La combinación de tales elementos depende de las condiciones y características de la zona del proyecto.

850.2 Materiales

850.2.1 Biorrollos

Los materiales necesarios para la construcción de los biorrollos son:

850.2.1.1 Manto retráctil

Se pueden utilizar materiales con las prestaciones indicadas en el articulo 231, Separación de suelos de subrasante y capas granulares con geotextil y en el artículo 811, Protección de taludes con productos enrollados para control de erosión, de acuerdo con los diseños de ingeniería del proyecto.

850.2.1.2 Sustrato orgánico

Compuesto por tierra fértil o material orgánico, preferiblemente proveniente de las actividades de descapote, dicho material consiste en suelo superficial con contenido orgánico, libre de elementos como rocas, trozos de concreto, escombros, ramas y todo material nocivo para los procesos de germinación de las semillas de pasto. Se debe informar a la autoridad ambiental sobre la procedencia de este material, así mismo, debe contar con el aval de uso según su licencia o permiso ambiental, conforme al artículo 106, Aspectos ambientales del Instituto Nacional de Vías (INVIAS), en especial el apartado 106.5, Recuperación de la vegetación.

850.2.1.3 Semillas

Las semillas utilizadas deben ser de pastos o de especies propias de la zona o que se adapten con facilidad a ella, estas cumplen con las características indicadas en los documentos del proyecto o las propuestas por el constructor, previa autorización emitida por interventoría. Todas las semillas que se utilicen deben venir empacadas y debidamente etiquetadas por el proveedor.

850.2.1.4 Fertilizantes

Se deben utilizar fertilizantes adecuados para cada tipo de tratamiento según lo establezca los documentos del proyecto, buscando siempre que estos aporten en el correcto desarrollo y crecimiento de las especies sembradas.

Los fertilizantes utilizados pueden ser de tipo orgánico o mineral, siempre y cuando estén bajo la supervisión del profesional idóneo del proyecto y tengan como resultado aportar los macro y micro nutrientes necesarios para el buen desarrollo de la vegetación.

850.2.1.5 Ganchos de fijación

Corresponden a los elementos de fijación del sistema, su detalle definitivo debe estar sustentado en el diseño, estos pueden ser de varilla de acero, alambre galvanizado, pines metálicos y/o poliméricos, entre otros materiales.

850.2.2 Biobarreras

Para la construcción de las biobarreras, adicional al manto retráctil y sustrato orgánico utilizados en los biorrollos, es necesario el uso de:

850.2.2.1 Madera rolliza y/o guadua

La madera rolliza y/o guadua deben estar inmunizadas, tener una longitud de dos coma

cinco metros (2,5 m) de largo y un diámetro promedio de diez centímetros (10 cm).

850.2.2.2. Cable en poliéster

El cable para la fijación vertical de los tres (3) biorrollos, debe estar conformado por multifilamentos en poliéster de alta tenacidad.

850.2.3 Geobiomallas

Para la construcción de las geobiomallas, adicional al cable en poliéster y a los materiales utilizados para la ejecución de los biorrollos, se requiere el uso de:

850.2.3.1 Hidroretenedores

Polímero insoluble en agua que tiene la propiedad de absorber por hinchamiento hasta doscientas (200) veces el tamaño por partícula, para proteger el sustrato, con el potencial de permanecer en la tierra largos periodos de tiempo (al menos un (1) año) en proceso de hidratación reversible, es decir tiene un comportamiento de deshidratación e hinchamiento dependiendo de las condiciones de humedad, su utilización depende de las condiciones climáticas del territorio de implementación de la tecnología.

850.2.3.2 Mallas biaxiales

Estas mallas están desarrolladas para interactuar con suelos y agregados pétreos, proporcionando soporte, retención de bloques u otros materiales que se puedan desprender de la superficie a tratar, alta resistencia a la tensión y alto módulo de deformación a las estructuras que conforman. En la Tabla 850-1, se muestran la normativa recomendada para medir la eficiencia de la malla biaxial.

Tabla 850-1. Normativa vigente para medir las características físicas y mecánica de la malla biaxial.

Propiedades mecánicas	Norma de ensayo	Unidad
Resistencia @ 2% elongación (MD/TD)	ASTM D6637	kN/m
Resistencia @ 5% elongación (MD/TD)		
Resistencia (MD)		
Resistencia (TD)		
Elongación (MD)		(%)
Elongación (TD)		
Resistencia disponible por plastodeformación (creep) RFCR a 75 años	ASTM D5262 ASTM D6992	kN/m
Propiedades físicas		
Tamaño nominal de abertura (MD) (Nota 1)	Medido	mm
Tamaño nominal de abertura (TD)	Medido	mm

Propiedades mecánicas	Norma de ensayo	Unidad
Presentación del rollo		
Ancho (Nota 1) x largo (Nota 2)	Medido	m
Área		m^2
Ancho (Nota 1) x largo		m
Área		m^2

NOTAS:
Nota 1 MD: Dirección de la máquina, a lo largo de los rollos; TD: dirección transversal a lo largo de los rollos.
Nota 2: El ancho puede variar en un rango de +/- uno por ciento (1%).
La normativa presentada vigente a la fecha declarada en este documento y está sujeto a cambios por actualización frente a la veracidad y mejora continua de los productos de acuerdo al comportamiento estadístico de la producción.

850.2.3.3 Elementos de fijación

Su uso va a depender de las características del talud en lo referente a la pendiente y la consistencia del suelo. En este sentido para pendientes bajas y/o consistencias de suelo blandas los elementos de fijación corresponden a ganchos de acero corrugado; por otra parte, para pendientes altas y suelos de consistencia dura, los elementos de fijación corresponden a sistemas de anclaje, los cuales están compuesto por un cable de acero galvanizado (de longitud variable, de acuerdo a las condiciones propias del terreno), ancla en acero galvanizado y un tope abierto en el mismo material, que permite el crecimiento de la vegetación.

850.2.3.4 Agua

El agua que se requiera para el riego y mantenimiento del producto vegetal, puede ser obtenida de captación de aguas lluvia, ríos, lagos, u otros cuerpos de agua, siempre y cuando no contenga elementos extraños ni suciedad (como hojas, residuos sólidos orgánicos o inorgánicos) evidente que afecten de forma perjudicial la materia orgánica del producto. Se puede ejecutar la Norma Técnica Colombiana NTC 3651, Calidad del agua determinación del pH, para verificar que el agua a utilizar tenga pH neutro.

850.2.4 Mantos

Utilizados para reducir la erosión del suelo, retener detritos y ayudar en el crecimiento de la vegetación, dependiendo del material pueden ser de uso temporal o permanente. Se requiere cumplir con las especificaciones de mantos clase uno (1) y clase dos (2) del artículo 811 correspondiente a protección de taludes con productos enrollados para control de erosión.

850.2.4.1 Elementos de fijación para mantos

Los mantos pueden ser asegurados mediante el uso de anclajes primarios o secundarios. Los anclajes primarios son aquellos de guaya hincados por percusión, los cuales presentan una cabeza de anclaje, la guaya y el plato de carga; por otra parte, los anclajes secundarios como grapas en forma de U o pines metálicos para anclaje, son formados a partir de una varilla de acero. Se pueden requerir anclajes más largos en los suelos más sueltos, al igual que para suelos rocosos se pueden requerir pines de mayor diámetro, más cortos y de mayor resistencia.

En la Tabla 850-2 se presenta una recomen-

dación del número de anclajes por metro cuadrado según la pendiente del talud.

Tabla 850-2. Número de anclajes según la pendiente.

Pendiente del talud	Número de anclajes
Hasta 3H:1V	1,5 anclajes/m^2
3H:1V a 2H:1V	2 anclajes/m^2
2H:1V a 1H:1V	2 a 5 anclajes/m^2
Mayor a 1H:1V	5 anclajes/m^2

Los anclajes de percusión en suelo deben instalarse como anclajes primarios o principales cuando se usen mantos permanentes tipo 2B, 2C y 2D, debiendo cumplir o exceder las siguientes especificaciones presentadas en la Tabla 850-3.

Tabla 850-3. Especificaciones de desempeño de los anclajes para mantos tipo 2B, 2C y 2D.

Propiedad de desempeño	Valor
Carga última del tendón del anclaje, valor mínimo en lbs	1 800
Carga última del anclaje ensamblado, valor mínimo en lbs	1 100
Carga de trabajo típica del anclaje, valor en lbs (Nota 1)	200 - 800
Rango de profundidades del anclaje (Nota 2)	0,91 m (2 ft.) – 2,74 m (9 ft.)

Notas:
Nota 1: El rendimiento del anclaje es una función de la resistencia del suelo in situ y, por lo tanto, el rango de carga en esta especificación debe considerarse sólo como una guía. Las condiciones específicas del suelo in situ serán evaluadas por un ingeniero especialista o ingeniero geotécnico para determinar el tipo de anclaje, la profundidad y el patrón adecuado para resistir la inestabilidad de la pendiente. Se pueden recomendar ensayos de tracción previos a la construcción.
Nota 2: La profundidad mínima de trabajo es de treinta y seis pulgadas (36 pulgadas) o noventa centímetros (90 cm) aproximadamente. Los anclajes deben tener cuarenta y ocho pulgadas (48 pulgadas) o ciento veinte centímetros (120 cm) de largo, de modo que después de que se fijen, tengan una profundidad mínima de treinta y seis pulgadas (36 pulgadas).
El anclaje debe producir un mínimo de doscientas libras fuerza (200 lb) de resistencia al arrancamiento y estar hecho de material resistente a la corrosión y a los rayos UV. Su cabeza debe tener formas angulares.
Los elementos tipo gancho en “U” deben ser metálicos, de mínimo ocho milímetros (8 mm) de diámetro, de treinta por diez por treinta centímetros (30 x 10 x 30 cm) para terrenos blandos y veinte por cinco por veinte centímetros (20 x 5 x 20 cm) para terrenos duros.

850.2.5 Hidrosiembra

Los materiales necesarios para la ejecución de la hidrosiembra son:

850.2.5.1 Semillas

Las semillas utilizadas en la hidrosiembra deben ser de pastos, de especies propias de la zona o que se adapten con facilidad a ella, que cumplan las características indicadas en el proyecto, confrontando en el sitio su adaptabilidad, estas deben ser verificadas por el constructor y autorizadas por el interventor.

Las semillas deben estar empacadas y debidamente etiquetadas por el proveedor, cuando se trate de semilla certificada. Las semillas recolectadas en la zona o semillas nativas deben ser supervisadas por un agrónomo o por parte del departamento ambiental del proyecto.

Las semillas y sus proporciones deben ser las señaladas en los documentos del proyecto y dependen del lugar y del tipo de terreno donde se vayan a colocar. Las semillas certificadas, dependiendo de la especie o variedad, deben cumplir con una germinación mínima del ochenta por ciento (80%) y una pureza del noventa y cinco por ciento (95%), lo que debe ser certificado por un laboratorio o una institución competente, a este efecto, debe ser válida la certificación externa que entregue el proveedor de las semillas. Las dosificaciones mínimas indicadas se deben referir a semillas en estado seco o de almacenamiento. Cuando se utilicen semillas nativas o recolectadas en la zona de influencia del proyecto, deben contar con la autorización de un ingeniero agrónomo en conjunto con el departamento ambiental y el interventor del proyecto.

850.2.5.2 Fibra o Mulch hidráulico

Pueden ser fibras de madera refinadas térmicamente, cien por ciento (100%) biodegradable, con fibras fitosanitarias y seguras para formas de vida acuática y terrestre. La dosis es indicada por el fabricante y debe estar establecida en los documentos del proyecto o aceptado por el interventor.

850.2.5.3 Fijador o aglomerante estabilizador

La función del fijador es la de mantener unidas las fibras de mulch y las semillas, a la superficie a ser tratada. Se utilizan dos clases de adherentes y un floculante que haga el efecto dispersante en la solución.

La formulación para el aglomerante estabilizador debe estar de acuerdo con las dosis establecidas por los fabricantes y será la definida en los documentos del proyecto.

850.2.5.4 Agua

No es necesario que el agua para la mezcla sea potable. Sólo tiene que ser agua limpia, apta para agricultura, no contaminada químicamente, sin elementos extraños ni suciedad evidente, que cumpla con las recomendaciones del fabricante de acuerdo al tipo de siembra.

En las Tabla 850-4 y Tabla 850-5 se presentan los valores recomendables de algunas propiedades que deben ser consideradas, cuando la hidrosiembra es aplicada en taludes con inclinación inferior y superior a sesenta grados (60°) respectivamente.

Tabla 850-4. Valores de propiedades recomendadas cuando la hidrosiembra es aplicada en taludes con inclinación inferior a 60°.

Propiedad	Método de prueba	Valor recomendado
Físico		
Masa por unidad de área	ASTM D6566 (Nota 1)	≥ 390 g/m^2
Grosor	ASTM D6525 (Nota 1)	≥ 4,0 mm

Propiedad	Método de prueba	Valor recomendado
Cobertura del suelo	ASTM D6567 (Nota 1)	≥ 98%
Capacidad de retención de agua	ASTM D6567 (Nota 1)	≥ 98%
Color Material	Observado	Verde
Desempeño		
Factor De Cobertura (Nota 2)	Prueba a gran escala (Nota 4)	≤ 0,05
% De Efectividad (Nota 3)	Prueba a gran escala (Nota 4)	≥ 95%
Tiempo De Curado	ASTM D7322 (Nota 1)	≥ 600%
Establecimiento De Vegetación	ASTM D7322 (Nota 1)	≥ 600%
Longevidad Funcional (Nota 5)	ASTM D5338	≤ 12 meses
Ambiental		
Ecotoxicidad	EPA 2021,0	48 hr LC_{50} > 100%
Biodegradabilidad	ASTM D5338	Si

Notas:
Nota 1: Métodos de prueba ASTM desarrollados para productos enrollados de control de erosión han sido modificados para acomodar productos de control de erosión aplicados hidráulicamente (hidrosiembra).
Nota 2: El factor de cobertura se calcula como la relación de pérdida de suelo de la superficie tratada frente a una superficie de control no tratada. Fc = At / Ant (At= Área tratada, Atn= Área no tratada)
Nota 3: % de efectividad = uno menos factor de cobertura multiplicado por 100%. E (%) = (1-Fc) * 100
Nota 4: Pruebas a gran escala realizadas en Utah Water Research Laboratory.
Nota 5: La longevidad funcional es el período de tiempo estimado, basado en las pruebas ASTM D5338 y las observaciones de campo, que se puede anticipar para un material que brinde control de la erosión y beneficios agronómicos según la composición, así como las condiciones específicas del sitio, que incluyen; temperatura, humedad, condiciones de luz, suelos, actividad biológica, establecimiento vegetativo y otros factores ambientales.

Tabla 850-5. Valores de propiedades recomendadas cuando la hidrosiembra es aplicada en taludes con inclinación superior a 60°.

Propiedad	Método de prueba	Valor recomendado
Físico		
Masa por unidad de área	ASTM D6566 (Nota 1)	≥ 390 g/m^2
Grosor	ASTM D6525 (Nota 1)	≥ 5,6 mm
Cobertura del suelo	ASTM D6567 (Nota 1)	≥ 99%
Capacidad de retención de agua	ASTM D7367	≥ 1 700%
Color del material	Observado	Verde
Desempeño		
Factor de cobertura (Nota 2)	Prueba a gran escala (Nota 4)	≤ 0,01
% de efectividad (Nota 3)	Prueba a gran escala (Nota 4)	≥ 99%
Tiempo de curado	Observado	0 - 2 horas
Establecimiento de vegetación	ASTM D7322 (Nota 1)	≥ 800%
Longevidad funcional (Nota 5)	ASTM D5338	≤ 18 meses

Propiedad	Método de prueba	Valor recomendado
Ambiental		
Ecotoxicidad	EPA 2021,0	48 hr LC_{50} > 100%
Turbidez del efluente	Prueba a gran escala (Nota 4)	≤ 250 NTU
Biodegradabilidad	ASTM D5338	Si

Nota 1: Métodos de prueba ASTM desarrollados para productos enrollados de control de erosión han sido modificados para acomodar productos de control de erosión aplicados hidráulicamente (hidrosiembra).
Nota 2: El factor de cobertura se calcula como la relación de pérdida de suelo de la superficie tratada frente a una superficie de control no tratada. Fc = At / Ant (At= Área Tratada, Atn= Área no tratada)
Nota 3: % De efectividad = Uno menos Factor de cobertura multiplicado por 100%. E (%) = (1-Fc) * 100
Nota 4: Pruebas a gran escala realizadas en Utah Water Research Laboratory.
Nota 5: La longevidad funcional es el período de tiempo estimado, basado en las pruebas ASTM D5338 y las observaciones de campo, que se puede anticipar para un material que brinde control de la erosión y beneficios agronómicos según la composición, así como las condiciones específicas del sitio, que incluyen; temperatura, humedad, condiciones de luz, suelos, actividad biológica, establecimiento vegetativo y otros factores ambientales.

850.2.5.5 Bloques de césped

Son de forma aproximadamente rectangular y de dimensiones regulares, deben provenir de cultivos tecnificados que no generen un pasivo ambiental, cambiando el uso del suelo según la ley colombiana, a no ser que hayan sido obtenidos del descapote de la zona donde se está ejecutando el proyecto. No se aceptan bloques de césped que hayan sido obtenidos de terrenos que se vean afectados por el retiro de esta protección vegetal. Se debe informar a la autoridad ambiental sobre su procedencia y se debe contar obligatoriamente con el correspondiente aval para su empleo a partir de su licencia o permiso ambiental. Los bloques deben tener las raíces del pasto sanas y adheridas a la capa de tierra orgánica.

850.2.5.6 Suelo orgánico (material de descapote)

El suelo orgánico debe provenir del descapote del proyecto. Se debe informar a la autoridad ambiental sobre su procedencia y se debe contar obligatoriamente con el correspondiente aval para su empleo a partir de su licencia o permiso ambiental.

El suelo orgánico es un suelo de origen superficial, con contenido orgánico, libre de piedras, ramas, restos vegetales de gran calibre, escombros, desperdicios no degradables y cualquier otro elemento extraño y nocivo para los fines de la protección. La utilización de este tipo de material debe estar limitada para zonas planas y taludes de bajas pendientes menores a treinta grados (30°).

850.2.6 Anclajes

Los anclajes primarios son aquellos de tipo guaya hincados por percusión, los cuales presentan un plato de carga o tope, un cable de acero o guaya, un mecanismo de fijación y un ancla (ver Figura 850-1).

Por otro lado, los anclajes secundarios como grapas en forma de U o pines metálicos para anclaje, son formados a partir de una varilla de acero.

Estos elementos están diseñados principalmente para fijar mecánicamente diferentes tipos de mantos, redes y mallas metálicas o sintéticas, también contribuyen a la estabilización superficial de taludes y canales en suelo.

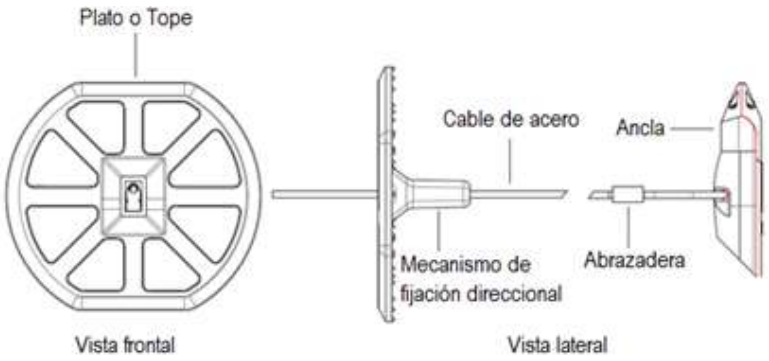


Figura 850–1. Partes de un anclaje

Los topes o platos de carga deben contar con un mecanismo de entrabe que evite su expulsión, como un elemento tipo ancla resistente a la presión, igualmente debe contar con un dispositivo de bloqueo direccional (abrazadera) que se corre y se fija fuertemente al cable de tensión en dirección a la cara del talud permitiendo que este no se suelte.

Los topes o platos de carga, deben tener la resistencia adecuada para retener el área del cono de presión invertido y debe ser liso y libre de irregularidades que puedan afectar la integridad del manto de control de erosión, malla, geocompuesto u otro material que esté siendo anclado.

Los anclajes están compuestos de aleaciones de aluminio, aleación de aluminio anodizado, hierro de grafito esferoidal galvanizado, acero inoxidable o bronce de aluminio. El tipo de material debe estar directamente relacionado con la resistencia a la tensión, cargas de trabajo, durabilidad y vida útil de los componentes frente a la corrosión y el intemperismo.

En la Tabla 850-6 se muestran los componentes y medidas de los anclajes para fijación de mantos, mallas y demás estructuras que lo requieran, por otra parte en la Tabla 850-7 se presentan las parámetros de resistencia recomendados del anclaje, sin embargo, pueden tener variaciones acorde a las propiedades intrínsecas de cada proyecto. La variación de los valores presentados debe estar aprobado por la interventoría.

Tabla 850-6. Componentes y medidas de los anclajes

Componente	Norma de ensayo	Material	Dimensiones
Ancla	ASTM B240	Aleación Zinc- Aluminio ZA-2 (Molde de presión)	Ancho: 2,36 pulgadas Longitud: 6,50 pulgadas Altura: 1,40 pulgadas Área de aplicación: 12 pulgadas
Cable de acero	ASTM A1023	Acero carbón recubierto con Zinc- Aluminio	Diámetro: 4mm 5/32 pulgadas 1x19 compuesto por multifilamentos
Plato de carga	ASTM B240	Aleación Zinc- Aluminio ZA-2 (Molde de presión) rodillo en cerámica y mecanismo de bloqueo	Diámetro min: 4,29 pulgadas Diámetro máx.: 6,29 pulgadas Espesor: 0,125 pulgadas
Abrazadera del cable	ASTM B240	Aleación Zinc- Aluminio ZA-2	1,9 pulgadas x 1,31 pulgadas espesor de pared 0,2 pulgadas

Tabla 850-7. Parámetros de resistencia recomendados del anclaje

Propiedad de desempeño	Norma de ensayo	Valor
Resistencia última a la tensión del tendón	ASTM A36	3 300 lb
Resistencia última a la tensión del sistema de anclaje activado		1 700 lb
Rango de carga de trabajo típica del sistema de anclaje		700 – 1 600 lb
Profundidad mínima de anclaje		0,30 m

850.2.7 Sistema compuesto para control de erosión

El conjunto de materiales que conforman un sistema compuesto para control de erosión son:

850.2.7.1 Geotextil

Se pueden utilizar geotextiles tejidos o no tejidos elaborados a partir de polímeros sintéticos de cadena larga, compuestos por con un porcentaje mínimo del noventa y cinco por ciento (95%) en masa de poliolefinas o poliéster y debe cumplir con los requisitos establecidos en el artículo 231, Separación de suelos de subrasante y capas granulares con geotextil, de las presentes especificaciones de construcción.

850.2.7.2 Manto

Se pueden utilizar mantos permanentes para control de erosión de acuerdo con los requisitos establecidos en el artículo 811, Protección de taludes con productos enrollados para control de erosión, numeral 811.2.2 Productos enrollados permanentes para control de erosión, de acuerdo con los diseños de ingeniería del proyecto.

850.2.7.3 Malla metálica

Las mallas metálicas son elementos bidimensionales, compuestos por alambres de alta resistencia, dispuestos en configuración hexagonal y/o romboidal, cuya flexibilidad y resistencia permiten su fácil adaptación al terreno natural en conjunto con pernos, para controlar la caída de detritos y bloques en taludes de corte.

Se recomienda que la malla metálica tenga un recubrimiento en PVC, para evitar que antexposición solar fuerte el material de la malla aumente su temperatura, causando daños en el manto por quemaduras.

Dependiendo de las condiciones del talud a proteger, se puede necesitar el uso de cables entre los pernos de anclaje, con el fin de crear un sistema más resistente ante el desprendimiento de bloques de gran tamaño.

Si el desprendimiento es considerable, se recomienda el uso de mallas eslabonadas de acero de alta resistencia. El uso de malla y cables de refuerzo debe ser restringido a actividades de mitigación y control de erosión.

En la Tabla 850-8 se presentan las propiedades mecánicas de las mallas metálicas.

Tabla 850-8. Propiedades mecánicas recomendadas para la malla metálica seleccionada

Propiedad	Norma de ensayo	Valor
Resistencia a la tracción del alambre	INV E-501	35 a 50 kg/mm^2
Resistencia a la tracción de la malla paralela	ASTM D975	42,3 kN/m
Resistencia a la tracción de la malla perpendicular	ASTM D975	20,4 kN/m
Elongación	EN 10223-3	10%
Calibre de alambre para la malla	EN 10223-3	12 (2,7 mm)
Calibre de alambre para el borde	EN 10223-3	10 (3,4 mm)
Recubrimiento mínimo de Zinc	ASTM A641	245 gr/mm^2
Abertura de la malla	Medido	8x10 cm
Recubrimiento en PVC (recomendado)	ASTM A975	0,5 mm

850.2.7.4 Elementos de fijación del sistema compuesto

Para la fijación del sistema compuesto por geotextil no tejido y manto, se pueden usar grapas en forma de U o pines metálicos.

Para asegurar la malla metálica, se requerirán pernos con longitud hasta llegar al estar estrato competente y diámetro variable, dependiendo de las condiciones del talud a proteger y según el diseño realizado por el consultor.

Para conformar el sistema de anclaje, también se requieren platinas metálicas que ajusten la malla, creando un sistema resistente ante las solicitaciones del desprendimiento de bloques. En caso de utilizar anclajes activos.

En la Tabla 850-9 se muestran las características físicas recomendadas de los anclajes.

Tabla 850-9. Propiedades físicas recomendadas de los anclajes para el sistema compuesto de control de erosión

Propiedad	Norma de ensayo	Dimensiones
Plato superior	ASTM B240	Diámetro 4,25 pulgada, espesor 0,11 pulgada
Cabeza de anclaje	ASTM B240	3,44 pulgada x 1,22 pulgada x 0,81 pulgada
Cable tendón	ASTM A1023	Diámetro 3 mm
Terminación superior	ASTM B240	Diámetro 4,25 pulgada, espesor 0,11 pulgada
Terminación inferior	ASTM B1058	Longitud 12,8 mm, espesor pared 1,5 mm

850.3 Equipo

850.3.1 Biorrollos, biobarreras y geobiomallas

Para la construcción de estas estructuras se necesita herramienta menor tal como: maquina cosedora de sacos de poliéster, rastrillos, palas, estacas, azadones, horcas, elementos de seguridad para trabajos en alturas y todo aquel adicional que sea necesario para la ejecución de los trabajos especificados.

850.3.2 Mantos

Para los mantos se requieren elementos para la aplicación de los riegos periódicos, los cuales deben ser de tipo aspersor u otros similares que apliquen el agua en forma de lluvia fina. Adicionalmente, el constructor debe disponer de rastrillos, azadones, horcas, ganchos para formar surcos, cuerdas, cinturones de seguridad, cascos, estacas, palas, balanzas, envases calibrados y todos los demás elementos que sean necesarios para ejecutar correctamente los trabajos especificados.

850.3.3 Hidrosiembra

El constructor debe disponer de máquinas hidrosembradoras, certificadas para esta actividad y herramientas necesarias para asegurar que los trabajos de protección de los taludes tengan la calidad exigida y se garantice el cumplimiento de su programa de ejecución.

En particular, la maquina hidrosembradora debe estar compuesta por agitadores hidráulicos y/o mecánicos que sean capaces de mantener la solución en emulsión constante, mangueras, boquillas para proyectarla vía aspersión sobre el terreno desnudo, asegurando la distribución homogénea de las semillas en las zonas hidrosembradas.

Los elementos para la aplicación de los riegos periódicos debe ser de tipo aspersor u otros similares que apliquen el agua en forma de lluvia fina.

El constructor debe disponer, además, de las herramientas, rastrillos, azadones, horcas, ganchos para formar surcos, cuerdas, cinturones de seguridad, cascos, estacas, palas, balanzas, envases calibrados y todos los demás elementos que sean necesarios para ejecutar correctamente los trabajos especificados.

850.3.4 Anclajes

La capacidad de los equipos debe ser compatible con el tipo de suelo y los anclajes a instalar. En términos generales se deben contemplar varillas de hincado, martillo percutor, pinzas de tensión dinamométricas, gato de extracción y corta frio.

850.3.5 Sistema compuesto para control de erosión

El constructor debe disponer de las herramientas, rastrillos, azadones, horcas, ganchos para formar surcos, cuerdas, cinturones de seguridad, cascos, estacas, palas, varillas de hincado, máquina para hacer anclajes, equipos para tensionar el anclaje, gato de extracción, corta frio y todos los demás elementos que sean necesarios para ejecutar correctamente los trabajos especificados.

850.4 Ejecución de los trabajos

Es obligación del constructor, tratar de preservar toda vegetación existente en el talud, siempre y cuando no sea perjudicial para la ejecución de las obras que hacen parte de esta especificación. En caso que por razones se tenga que incurrir en el corte de dicho material vegetal, los residuos deben ser retirados cuando constituyan una capa que pueda dificultar las labores de mantenimiento o reparación.

El constructor debe tener en cuenta las medidas de manejo y protección ambiental propias del proyecto, al igual que las disposiciones vigentes, teniendo especial cuidado con la utilización de insumos tales como semillas y fertilizantes, los cuales deben ser previamente avalados por la interventoría.

850.4.1 Biorrollos

Son construidos de forma cilíndrica en material tejido, el cual puede ser de fibras orgánicas, polietileno, polipropileno o un material retráctil en HDPE foto degradable, de alta resistencia mecánica, biológicamente inerte y resistente a ácidos, álcalis y condiciones químicas presentes naturalmente en los suelos (ver Figura 850-2).

Esta estructura se llena con material orgánico filtrante al cual se le añade por inyección, material vegetal, semillas de gramínea o leguminosa. El espaciamiento entre rollos depende del tipo de suelo y de la inclinación de la pendiente, pudiendo variar entre los tres metros (3 m) y ocho metros (8 m).

Figura 850–2 Biorrollos

Es ideal que la superficie cuente con una protección vegetal previa, aunque dicho requerimiento no es de cumplimiento obligatorio siempre que así lo establezcan los documentos del proyecto o el interventor.

Todos los materiales deben ser ubicados en una zona próxima al área de intervención. Dicha zona de intervención debe ser un lugar con una pendiente máxima de quince por ciento (15%) donde por sus condiciones se presente un flujo laminar no necesariamente canalizado. En caso de que la pendiente del talud sea mayor, el constructor debe realizar las labores de perfilamiento del talud o ladera de acuerdo a las limitaciones del terreno para el cumplimiento de dicha restricción.

Una vez se tenga lista la superficie donde se va a realizar la instalación del biorrollo, el constructor puede iniciar el procedimiento de instalación, verificando previamente que el terreno a intervenir, cuente con un adecuado encausamiento de aguas superficiales debido a las lluvias que puedan presentarse durante la instalación de este sistema.

Dispuestos los materiales en sitio, se procede a conformar con el tejido retráctil, cociéndolo por uno de sus bordes, un elemento tubular cuyo diámetro promedio sea de veinte centímetros (20 cm) y su longitud total igual a dos metros (2 m). Paralelamente se realiza la mezcla para el núcleo orgánico filtrante, incorporándole los nutrientes e hidroretenedores en las dosificaciones recomendadas por el especialista forestal del proyecto, quien a su vez debe considerar las condiciones climáticas de la zona.

Posteriormente, se procede a llenar con el material orgánico, los elementos tubulares hechos con el tejido retráctil, seguido de la instalación de dichos rollos en el suelo.

Para la fijación de los biorrollos ya conformados, se hincarán en el suelo ganchos en acero, con intervalos de máximo tres metros (3 m) de longitud.

A continuación, se presenta el paso a paso para la construcción de los biorrollos:

1. Definir y medir el área o sección donde será instalado el sistema, teniendo en cuenta la pendiente, el flujo de escorrentía y la morfología, de tal manera que los biorrollos intercepten la línea erosiva.

2. Adecuar la línea de instalación, retirando obstáculos.

3. Introducir en los extremos superior e inferior del biorrollo, un cable de poliéster de alta tenacidad y resistente a la intemperie,

para tensionamiento y fijación del mismo.

4. Excavar una zanja de diez (10) a quince centímetros (15 cm) de profundidad siguiendo la línea de instalación previamente seleccionada y marcada.

5. Colocar el biorrollo al interior de la zanja y extenderlo con ayuda de estacas o vigas de madera clavadas en el suelo a una profundidad mayor o igual a cero coma cincuenta metros (0,50 m), asegurándolas alternativamente con pies de amigo. El espaciamiento entre estacas puede variar de un metro (1 m) a tres metros (3 m). Cuando se una un biorrollo con otro, se debe verificar que queden bien asegurados.

6. En el intermedio de los soportes se debe poner un estacón adicional, en donde la sujeción se debe hacer con grapas industriales de media pulgada (½ pulgada).

7. Clavar las grapas tipo bastón en el intermedio de los estacones (cada uno coma cincuenta metros 1,50 m), en la cara vertical de la zanja realizada, asegurándose de tensionar los biorrollos.

8. Rellenar y compactar con el mismo material proveniente de la excavación, los espacios de la zanja que no fueron ocupados por el biorrollo.

9. Inyectar el biogel en cada biorrollo.

En la Figura 850-3 se resumen las medidas necesarias a considerar para la instalación de los biorrollos.

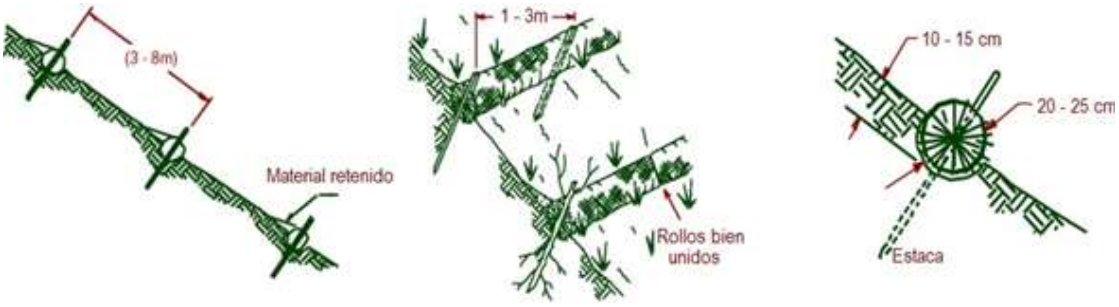


Figura 850–3. Medidas para la instalación de los biorrollos

850.4.2 Biobarreras

Al colocar verticalmente varios biorrollos se obtiene una biobarrera, por tanto, el procedimiento de instalación es similar. Una vez instalado el primer biorrollo en la zanja excavada, se disponen en forma vertical, dos (2) líneas adicionales de estera de biorrollo, los cuales se deben fijar a las estacas clavadas en el suelo y a la malla de retención, mediante torones de cable de poliéster de alta tenacidad (ver Figura 850–4).

Los postes de madera (estacas) deben ser hincados en el terreno, siendo establecida la separación entre ellos a partir del largo de las tablas. Una vez fijos y anclados al terreno, se procede a la fijación de las tablas por medio de tornillería.

Posicionada la biobarrera, se procede a cubrir el trasdós de esta con geotextil, con el fin de proteger la madera del material tipo suelo que se ira depositando y reteniendo en esta estructura.

Figura 850–4. Biobarreras

850.4.3 Geobiomallas

Son tiras de un manto retráctil, el cual incluye en su interior un núcleo de sustrato biótico junto a material vegetal de gramíneas y leguminosas. Dependiendo de la pendiente del terreno, puede también instalarse una malla biaxial. En la Figura 850–5 se observa la instalación de la geobiomalla incluyendo también dicha malla biaxial.

Figura 850–5. Instalación geobiomalla

Primero deben ubicarse todos los materiales en una zona próxima al área de intervención. Dicha zona puede tener cualquier valor de inclinación. Posteriormente se realiza el replanteo del área, seguido de un perfilamiento del talud, buscando que todo el material suelto de la superficie sea retirado. Finalizado el perfilamiento de la ladera o el corete del talud, la ejecución de los trabajos para la instalación de la geobiomalla se debe realizar lo más pronto posible, esto buscando que dicha superficie esté la menor cantidad de tiempo expuesta a las condiciones ambientales del sitio.

El constructor debe cerciorarse que el terreno a intervenir cuenta con un adecuado encausamiento de aguas superficiales debido a las lluvias que se puedan presentar durante la instalación.

Las tiras del manto retráctil se llenan con un núcleo de material filtrante totalmente orgánico. El lleno y sellado de estas tiras, puede realizarse en el sitio donde van a ser instaladas y

previo a su colocación.

Posteriormente se procede a fijar puntos de anclaje en la parte superior del talud los cuales sirven para posicionar las tiras de la geobiomalla. Dependiendo de la pendiente del talud y las características del suelo, la geobiomalla puede ser sujetada al talud con ganchos de acero cuando este tenga una pendiente menor a treinta y cinco grados (35°) y sea un suelo de consistencia blanda que permita hincar los ganchos. Por el contrario, si el talud tiene una pendiente mayor a treinta y cinco grados (35°) o el suelo es de consistencia dura, la fijación se hace con anclajes y el sistema es complementado con la instalación de una malla biaxial para refuerzo, de tal forma que esté en contacto con la superficie del talud y sobre esta sea instalada el manto que contiene el sustrato orgánico siguiendo el procedimiento de instalación descrito anteriormente. Dicha malla biaxial también se debe fijar desde la corona del talud.

El proceso anteriormente descrito se reproduce con todas las tiras, hasta cubrir toda la superficie sin dejar espacios, garantizando un traslapo de al menos diez centímetros (10 cm). Para la unión de las tiras, los operarios deben ir tanto cociéndolas entre sí desde la parte superior hasta la parte inferior del talud, como instalando una hilera de ganchos de acero sobre la franja de traslapo. La frecuencia y espaciamiento de dichos ganchos, no mayor a cincuenta centímetros (50 cm), deben ser establecidos dentro de los documentos del proyecto, aunque siempre garantizando que la instalación de los mismos sea en un ángulo aproximado de treinta grados (30º) con respecto a la superficie del talud y en sentido de la pendiente del mismo.

Con el fin de evitar posibles derrumbes desde la corona del talud, uno de los extremos del rollo de las geobiomallas debe ser enterrado y anclado a una distancia no menor a noventa centímetros (90 cm) del borde de la corona del talud, mediante la fijación de ganchos al terreno por hincado.

El proceso de anclaje debe realizarse mediante la perforación e instalación de anclajes flexibles de acero con punto de ancla, donde la distribución y longitud de los mismos depende de las características geomecánicas del talud, y por lo tanto deben estar consignadas en los estudios del proyecto.

Al ser un producto que combina elementos biológicos, es necesario que el constructor realice un riego continuo para propiciar la germinación, una vez se dé, requiere un reducido mantenimiento.

El paso a paso para la instalación de las geobiomallas es:

1. Definir y medir el área o sección donde será instalado el sistema.

2. Adecuar el área de instalación, retirando obstáculos.
3. Llenar cada estera de la geobiomalla con el sustrato y hacer el sellado de las mismas.

4. Extender los módulos o tiras de la geobiomalla sobre el talud. Cuando la pendiente o suelo así lo requieran se instalan también la malla biaxial.

5. Clavar las grapas de anclaje cada cincuenta metros (50 m).

6. Inyectar el biogel en cada estera.

850.4.4 Mantos

Es necesario verificar si el suelo del sitio a revegetar posee las condiciones necesarias; es decir, si el talud posee una capa de suelo orgánico que garantice la germinación de las semillas y el sostenimiento de la vegetación a largo plazo. En caso de no ser así, se recomienda la colocación de una capa superficial

de suelo o una biota de suelo certificada y, junto con ella, mezclar los fertilizantes, las semillas y los hidroretenedores necesarios.

Si el suelo posee las condiciones necesarias para la germinación de las semillas, se debe proceder con la preparación de la superficie, tal y como se indica a continuación:

- Remover todas las rocas, raíces, vegetación o cualquier tipo de obstrucción que pueda evitar el contacto del manto con la superficie del suelo.

- Nivelar el área de sembradío de las semillas según el alineamiento y la pendiente establecidos en los documentos del proyecto.

- Preparar el suelo donde se van a sembrar las semillas, escarificando de cincuenta de cincuenta a setenta y cinco milímetros (50 a 75 mm) de profundidad en el área ya preparada.

- Con el fin de evitar derrumbes desde la cima del talud y la infiltración de agua de escorrentía entre el suelo del talud y el manto para control de erosión, el extremo superior del rollo del manto se debe enterrar en una zanja excavada únicamente con dicho propósito, asegurando el manto al extremo superior de la zanja en forma de doble faz y fijándolo al terreno con tres (3) ganchos por metro lineal, para después tapar la zanja. La zanja de anclaje debe ser de quince por quince centímetros (15 x 15 cm) y debe quedar a una distancia entre sesenta y noventa centímetros (60 a 90 cm), medida desde la corona del talud.

Una vez preparada la superficie, el paso a paso para la instalación del manto es el siguiente:

1. Excavar una zanja de treinta por quince centímetros (30 x 15 cm) en la cresta del talud a unos sesenta a noventa centímetros (60 a 90 cm) del borde, con el fin de anclar el manto.

2. Cubrir la superficie de la zanja con el manto (paso 1), ánclelo, coloque el suelo de relleno y compáctelo (paso 2) con el material proveniente de la excavación o según lo indique el interventor. Para mayor claridad de este paso ver la Figura 850–6.

3. Desenrollar el manto hacia abajo del talud traslapando los rollos adyacentes como mínimo diez centímetros (10 cm). Extender el material libremente (sin tensionarlo) manteniendo contacto directo con la superficie del talud o la ladera. En el traslapo se coloca una hilera de anclajes separados entre sí a una distancia no mayor a cincuenta centímetros (50 cm).

4. Asegurar el manto al suelo con los elementos de fijación de acuerdo a los requisitos del proyecto. Los elementos tipo gancho en “U”, se deben colocar en un ángulo aproximado de treinta grados (30°) con respecto a la superficie del talud y en el sentido de la pendiente. A consideración del interventor o del constructor se pueden usar anclajes de mayores longitudes dependiendo del tipo de suelo e inclinación del talud (Tabla 850-6).

5. Al terminar el rollo ubique el siguiente traslapándolo veinte centímetros (20 cm) y coloque grapas cada treinta centímetros (30 cm).

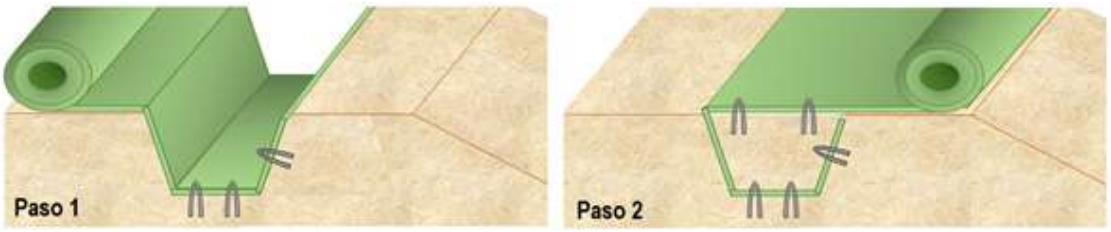


Figura 850–6 Procedimientos 1 y 2 del paso 2 de instalación del manto

A discreción del interventor, se puede rellenar o sembrar en el manto de control de erosión, cuando éste se encuentre diseñado para tal fin. Para lo anterior, se tiene en cuenta lo siguiente:

- Después de sembrar, debe esparcirse sobre el manto de doce a veinte milímetros (12 a 20 mm) de tierra fina para llenarlo completamente, rastrillando ligeramente.

- Esparcir semillas adicionales sobre el manto relleno y regar con agua.

- Se puede usar hidrosiembra controlada.

Si el manto es rellenado, no se debe hacer corte a las áreas sembradas antes del establecimiento de una densidad del setenta por ciento (70 %) de la vegetación y con un crecimiento mínimo de las especies de siete coma cinco centímetros (7,5 cm). La altura de corte no debe ser menor de siete coma cinco centímetros (7,5 cm). Durante la etapa de ejecución, el constructor es el responsable por el mantenimiento de la vegetación establecida y debe regar las áreas sembradas tan frecuentemente como sea necesario para ayudar a establecer satisfactoriamente la vegetación y propiciar su crecimiento.

El límite máximo para mantos temporales, en términos de longitud del talud, debe ser establecido en los documentos del proyecto; en general, no debe ser mayor que diez metros (10 m); para longitudes mayores, la aplicación del manto debe venir acompañada de un diseño especializado. La longitud se refiere a la longitud inclinada del talud, para taludes continuos; cuando el talud presente terrazas, la longitud se refiere a la longitud inclinada entre terrazas.

850.4.5 Hidrosiembra

La hidrosiembra debe realizarse inmediatamente después que cada uno de los cortes o terraplenes esté terminado. Si esto ocurre en época seca se deben realizar riegos periódicos según recomendación del proveedor, con el fin de mantener la humedad adecuada para una buena germinación y la consecuente eficacia de la protección. Si el plazo de ejecución de la obra lo permite y el interventor lo aprueba, la hidrosiembra puede aplazarse para el siguiente período de lluvias.

El paso a paso para ejecutar la hidrosiembra es:

1. Definir el área o sección donde va a ser aplicada la hidrosiembra. En caso de ser necesario, demarque el sitio utilizando cinta de seguridad y conos viales.

2. Inspeccionar el área de aplicación, la cual debe estar libre de todo material contaminante, tales como piedras, trozos de metales, escombros, materiales no orgánicos y cualquier otro material suelto o susceptible de caer sobre la zona que se va a proteger.

3. Si el talud no cuenta con la rugosidad adecuada para la colocación de la protección, esta debe ser mejorada mediante procedimientos de rastrillado paralelo a la horizontal o formación de surcos convenientemente espaciados de acuerdo con la dureza del terreno. Utilizando herramientas manuales, el constructor debe corregir los surcos verticales y otras marcas inconvenientes. Se debe considerar la preparación de surcos horizontales como complemento al escarificado y como una forma de mejorar el desempeño del riego.

4. Una delgada capa de suelo (no mayor a cinco centímetros (5 cm)), puede ser soltada o descompactada con el fin de facilitar el enterramiento de las semillas y el enraizamiento inicial. En caso de que se detecten derrames de material sin compactar, zonas de baja densidad o superficies con excesiva pendiente, no se deben ejecutar trabajos de siembra hasta solucionar las deficiencias del talud. La solución debe ser propuesta por el constructor y ejecutada cuando cuente con la aprobación del interventor.

5. Realizar la proyección hidráulica de manera uniforme sobre la superficie previamente definida.

Se debe tratar de conservar la vegetación espontánea que pueda existir en el talud, salvo que sea perjudicial para la colocación de la protección específica. En caso de que se requiera, el corte se realiza cuando la altura de la vegetación alcance o sobrepase los treinta centímetros (30 cm). Los residuos vegetales del corte deben retirarse cuando constituyan una capa perjudicial para la buena colocación de la hidrosiembra.

Los taludes intervenidos deben tener un adecuado encauce de las aguas, debido a las lluvias que se pueden presentar durante la instalación y que pueden causar daños al trabajo, los cuales, en caso de que se produzcan, deben ser reparados por el constructor, sin costo adicional para la entidad.

La hidrosiembra debe aportar en una o dos pasadas, todos los elementos al suelo: semillas, fertilizantes, hidromulch y adherente. El riego de instalación se debe hacer uniformemente en toda la superficie. La dosificación de la boquilla debe ser del tipo lluvia fina para no producir daños o erosión.

Un buen resultado depende de que no llueva entre el término de la preparación del suelo y el inicio de la hidrosiembra. Si la lluvia ocurre, se debe repetir el proceso.

850.4.5.1 Trasplante de césped

Sobre la superficie preparada se aplica fertilizante del tipo y en la cantidad que lo indiquen los documentos del proyecto. A continuación, se extienden los bloques de césped haciéndolos casar en la mejor forma posible, evitando traslapos y vacíos y buscando que los extremos del área empradizada empalmen armónicamente con el terreno natural adyacente.

En las uniones de los bloques se coloca tierra orgánica. Una vez plantada la superficie, se debe regar de manera abundante y, en lo sucesivo, diariamente sin limitación o de acuerdo a las indicaciones del interventor. Debe apisonarse con frecuencia con un cilindro manual, con el fin de emparejar la superficie y detectar irregularidades, la cuales deben ser corregidas por el constructor, a satisfacción del interventor. Los bloques de césped deben cumplir con condiciones fitosanitarias según Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) para que no genere propagación de plagas ni enfermedades en los diversos nichos ambientales del proyecto.

850.4.5.2 Protección con tierra orgánica (material de descapote)

Luego de la fase de preparación de la superficie, se esparce en forma uniforme el suelo de descapote produciendo una cobertura de diez a veinte centímetros (10 a 20 cm) de espesor en zonas planas, según se señale en los documentos del proyecto, sobre los taludes por proteger. Este proceso se realiza manualmente.

El nivel de fertilización depende de un análisis agronómico del suelo del terreno, el cual se debe realizar antes de la puesta en marcha del proyecto. Si en el proyecto no se ha especificado el tipo de fertilizante, el constructor lo selecciona a través de su especialista. Este fertilizante debe contar con la aprobación del interventor.

El tratamiento con tierra orgánica se debe emplear, de preferencia, en la protección de zonas planas.

850.4.5.3 Fertilización

Se debe considerar al menos una fertilización principal y una de mantenimiento. La fertilización principal se realiza junto con la siembra de la superficie. Los materiales y las dosificaciones se señalan en los documentos del proyecto.

Durante el proceso de crecimiento, se completa la fertilización según se establezca en los documentos del proyecto, verificando su adaptabilidad en el sitio de los trabajos y en caso de requerirse ajustes se debe contar con la aprobación del interventor. Los niveles anteriores serán considerados como mínimos. Las fertilizaciones se pueden realizar en conjunto con los riegos de agua.

850.4.5.4 Riego y conservación

El riego se realiza exclusivamente por el método de aspersión u otro similar, siempre que resulte en forma de lluvia fina.

El riego se aplica a partir del día siguiente de la colocación de la protección y no hay límite en cuanto a su frecuencia. Solamente se debe cuidar de no provocar escurrimiento superficial, para lo cual se deben efectuar pasadas rápidas, lanzando el agua desde prudente distancia y hacia arriba, de forma tal que las gotas pierdan su energía.

De preferencia, hacer el riego temprano en la mañana y al atardecer teniendo en cuenta las condiciones agroclimáticas de cada zona.

La frecuencia de los riegos depende de las condiciones climáticas y del estado de la cubierta vegetal y debe ser suficiente para asegurar, junto con las fertilizaciones, que durante todo el proceso se presenten los niveles adecuados de germinación y desarrollo de las plantas.

Adicionalmente, se requiere de poda en caso que la vegetación sobrepase la corona de la vía, obstruya algún dispositivo de drenaje o impida una adecuada visibilidad en la vía. Esta actividad se realiza siempre que sea necesario, a juicio del interventor, y en forma permanente hasta el recibo definitivo de los trabajos.

850.4.6 Anclajes

El constructor debe suministrar todos los elementos necesarios, con las dimensiones y características adecuadas, para la correcta instalación de los anclajes. Todas las partes constitutivas del anclaje, sin excepción, deben ser almacenadas y manipuladas en ambientes limpios y secos, cuidando de no causar deterioros, golpes, torceduras o curvaturas excesivas a los elementos, lo cual es causa de rechazo del anclaje.

Los taludes y zonas de anclaje previas a la instalación deben cumplir con las recomendaciones del diseñador en cuanto a estabilidad interna, estabilidad general, nivel de consolidación y nivel de compactación. Se recomienda hacer pruebas de anclajes con anterioridad y corroborar el proceso constructivo conforme al diseño.

El paso a paso para la instalación de los anclajes es el siguiente:

1. Definir el equipo necesario para la instalación y la cantidad necesaria de anclajes, según recomendaciones del diseñador o a partir de pruebas previas de corroboración del proceso constructivo.

2. Medir y marcar con un aerosol de color que resalte sobre el elemento que se requiere anclar: manto de control de erosión, malla biaxial, malla metálica, etc. esto ayudará a identificar claramente el patrón de anclaje y la separación horizontal y vertical.

3. Insertar de manera adecuada la varilla de hincado dentro del encastre del ancla, coloque la varilla perpendicular al plano del talud. Se debe usar la varilla de la longitud, dureza y encastre de acuerdo con el anclaje, para guiar y profundizar el ancla dentro del suelo, hasta la longitud definida en el diseño (ver Figura (a) de la Figura 850–7. Pasos para la instalación del anclaje).

4. La varilla debe ser introducida dentro del suelo del talud mediante el uso de un martillo percutor o en caso de ser hincada dentro de un suelo blando puede hacerse mediante el uso de maseta. Para suelos muy compactos, consolidados o con presencia de detritos o cabezas duras, se recomienda hacer una perforación previa por donde posteriormente se introduce la varilla de hincado (ver Figura (b) de la Figura 850–7 Pasos para la instalación del anclaje).

5. Una vez el ancla ha sobrepasado la profundidad de diseño, remueva la varilla de-hincado usando el gato de extracción, en suelos blandos la varilla puede ser extraída de forma manual (ver Figura (c) de la Figura 850–7 Pasos para la instalación del anclaje).

6. Tensionar el cable de acero usando la pinza de tensión o en su defecto nuevamente el gato de extracción hasta que el ancla gire, quede bien empotrado y en posición de trabajo (ver Figura (d) de la Figura 850–7 Pasos para la instalación del anclaje).

7. Poner en posición el equipo adecuado de aplicación de carga sobre el plato del sistema de anclaje, aplicar tensión sobre el cable de acero y asentar bien el plato sobre la estructura de protección y el terreno.

8. Cortar el exceso de cable que sobresale del plato, no se debe cortar a ras, dejar que sobresalga del plato al menos cinco milímetros (5 mm). Se deben dejar anclajes con cables completos si se requiere realizar ensayos por muestreo de la resistencia de trabajo de los anclajes instalados (ver Figura 850–7. Pasos para la instalación del anclaje).

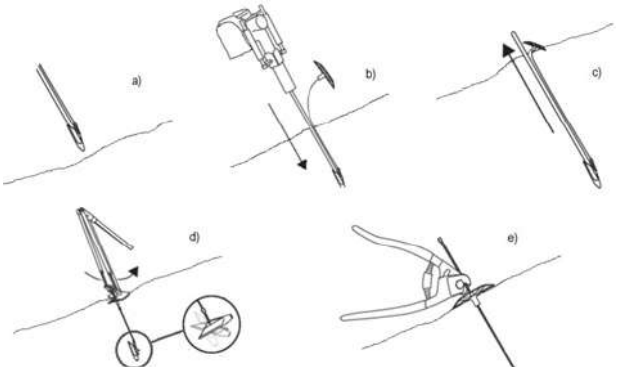


Figura 850–7. Pasos para la instalación del anclaje

850.4.7 Sistema compuesto para control de erosión

Este sistema al ser una solución multimaterial, presenta diferentes configuraciones dependiendo de las características de la zona a proteger.

Zonas con presencia de materiales principalmente arenosos y bajo contenido de finos y sin contenido de materiales superiores a cuatro pulgadas (4 pulgadas) de diámetro, son tratados inicialmente con la colocación de un geotextil no tejido en polipropileno, como elemento de filtro y control de perdida por arrastre hidráulico de las partículas tamaño arena.

Este geotextil va recubierto y protegido con un manto de control de erosión permanente en polipropileno, el cual genera una protección ante los rayos UV para el geotextil y un refuerzo para la vegetación que crezca posteriormente en la zona tratada.

La selección del geotextil no tejido depende de la granulometría del material de la zona, en la Tabla 850-10 se presentas las propiedades de los geotextiles no tejidos recomendados para granulometrías de arenas finas, medias y gruesas.

por un ingeniero especialista y autorizados por el interventor antes de la ejecución.

Tabla 850-10. Porcentajes mínimos de cobertura de áreas tratadas con hidrosiembra para el recibo de los trabajos

Propiedad	Granulometría	Fina	Media	Gruesa
	Norma de ensayo	Requisito		
Permitividad, valor mínimo (s-1). (Nota 1)	ASTM D4491	1,4	2,0	2,2
Tamaño de abertura aparente (TAA), valor máximo (mm). (Nota 2)	ASTM D4751	0,106	0,150	0,150
Estabilidad ultravioleta después de 500 h de exposición, valor mínimo (%)	ASTM D4355	50	50	50
Notas: Nota 1: La permitividad del geotextil deberá ser mayor que la permitividad del suelo (ψ g > ψs). Nota 2: : El valor del tamaño de abertura aparente (TAA) representa el valor máximo promedio por rollo.				

Las zonas donde se tenga material matriz soportado, con presencia de partículas de diámetros superiores a cuatro pulgadas (4 pulgadas) requieren el refuerzo de la primera configuración con mallas de retención, las cuales pueden ser mallas biaxiales coextruidas o mallas metálicas.

El tipo de malla de refuerzo depende del tamaño de los clastos a retener, donde materiales entre cuatro pulgadas (4 pulgadas) y diez pulgadas (10 pulgadas) pueden ser retenidos con mallas plásticas coextruidas y materiales con tamaños desde ocho pulgadas (8 pulgadas) en adelante deben ser retenidos con mallas metálicas.

Para la alternativa de utilización de la configuración sin geotextil no tejido, donde solo se requiere la utilización del manto de control de erosión permanente en polipropileno y el refuerzo con malla, se debe tener un terreno principalmente de roca meteorizada, donde la presencia de material tipo arena y materiales finos es escasa.

Antes de iniciar la instalación del sistema, es importante garantizar la estabilidad geotécnica de los taludes. Es necesario verificar si el suelo del sitio a proteger posee las condiciones necesarias para el buen establecimiento de la vegetación, en caso contrario, se recomienda la colocación de una capa de suelo con fertilizantes, semillas e hidro-retenedores.

En el caso que no se pueda realizar la zanja en la corona para la fijación del manto y la malla, es necesario hacer un doblez hacia dentro de máximo cincuenta centímetros (50 cm) e instalar anclajes continuos con el fin de garantizar una completa adherencia del sistema a la superficie, de esta manera se evita el ingreso de agua por debajo de los materiales.

No se debe permitir operar equipos con orugas ni que se realicen maniobras sobre los mantos. Si existe la condición de suelo húmedo o suelto, evite cualquier tipo de tráfico sobre el manto. No coloque ningún tipo de cobertura en los lugares ya preparados para los mantos. A discreción del diseñador se puede modificar la frecuencia de anclaje.

Se recomienda mezclar varios tipos de semillas características de la zona. Los métodos alternos de instalación deben ser aprobados aprobados por un ingeniero especialista y autorizados por el interventor antes de la ejecución.

El proceso de instalación general del sistema compuesto para el control de erosión es el siguiente:

1. Limpiar y descapotar el talud donde se va a instalar el manto, este se debe encontrar libre de todos los elementos que puedan dañarlo, tales como raíces, piedras o cualquier otro elemento que genere el punzonamiento del mismo.

2. Perforar las ubicaciones de los pernos de anclaje de la malla metálica, realizando la colocación de los pernos y llenado de las perforaciones con lechada o epóxico para la fijación del anclaje. En caso de ser anclajes activos, su instalación es bastante sencilla, basta usar una máquina de anclajes.

3. Excavar una zanja de treinta por quince centímetros (30 x 15 cm) en la cresta, a unos sesenta a noventa centímetros (60 a 90 cm) del borde con el fin de fijar el geotextil no tejido y el manto, y evitar el ingreso de agua de escorrentía por debajo del sistema. Se recomienda hacer la excavación antes de colocar el manto para no disminuir el rendimiento de instalación. Los traslapos deben hacerse en el sentido del flujo.

4. Cubra la superficie de la zanja con el manto (paso 1), y posteriormente coloque

el geotextil no tejido, ánclelos, coloque el suelo de relleno y compáctelo (paso 2).

5. En caso de que sea necesario, coloque lodo fertilizado junto con las semillas seleccionadas en toda la superficie del canal o talud y posteriormente el geotextil sin que este quede arrugado o tensionado. Para seleccionar el tipo de geotextil a utilizar, se debe considerar el material de la zona a proteger. El geotextil debe ser traslapado mínimo treinta centímetros (30 cm) o cosido para mejor comportamiento. En canales de alta pendiente se recomienda traslapar mínimo sesenta centímetros (60 cm) y utilizar un Triac para sellar por temperatura el geotextil no tejido entre sí, también se recomienda colocar un geotextil de sacrificio en la parte baja de los canales con el fin de tener un factor de seguridad adicional.

6. Encima del geotextil, desenrollar la malla por el talud. La malla debe ser traslapada y unida mediante alambre o cable de acero galvanizado de dos coma dos milímetros (2,2 mm), este alambre se debe enredar alrededor de las mallas a unir. Los traslapos se deben complementar con pines o varillas cada veintiséis centímetros (26 cm) a lo largo de todo el traslapo, colocándolos siempre en la mitad de los anclajes activos garantizando que una los mantos. El traslapo de la malla también debe realizarse conforme al flujo. En lugar de la malla también puede ser colocado un manto, el cual se asegura con grapas en forma de U o en forma de siete (7) (según criterio del diseñador). En este caso, el traslapo entre rollos adyacentes es como mínimo siete coma cinco centímetros (7,5 cm) y se debe grapar cada cuarenta y cinco centímetros (45 cm), en cuanto que el traslapo una vez finalizado el rollo, es de veinte centímetros (20 cm) grapado cada cuarenta y cinco centímetros (45 cm). Otro tipo de configuración incluye además del geotextil, tanto el manto como la malla, siendo instalado primero el geotextil, luego el manto y por último la malla.

7. En los puntos donde se encuentren los pernos instalados con anterioridad, se debe realizar un corte cuidadoso de los materiales, para realizar el paso de los pernos, los cuales serán el sistema de anclaje de la malla metálica. No se debe presionar el geotextil y el manto contra los pernos para generar una perforación de los materiales por donde pase el perno, puesto que esto causa daños y deformaciones perjudiciales para el funcionamiento y durabilidad del sistema.

8. El anclaje también puede realizarse con pines poliméricos y anclajes tipo B1. Los pines poliméricos presentan una arandela en polipropileno unida al pin en policarbonato. Son hincados en el terreno aprisionando el manto y el geotextil contra la superficie del suelo generando así una adhesión efectiva. Los anclajes activos son introducidos en el terreno con una varilla, para luego tensionar el cable de acero, provocando que el plato de carga gire, generando con ello una resistencia de anclaje.

9. Para cada proyecto se debe realizar una modulación de los geopines y de los anclajes activos con el fin de cumplir con las cuantías por metro cuadrado (m^2).

850.4.8 Limitaciones, reparación, mantenimiento en la ejecución de los trabajos

Todas las actividades deben ser realizadas en condiciones óptimas de luz solar y preferencialmente en tiempo seco. En el caso de requerir realizar trabajos en horas pico de tránsito de público, el interventor puede autorizar la realización de trabajo en horas de

oscuridad, siempre y cuando el constructor pueda garantizar el suministro y operación de sistemas de iluminación artificial adecuados para desarrollar las actividades. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra, el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

Todas las áreas donde se presente erosión o desprendimiento de los materiales instalados antes de la aceptación definitiva de los trabajos, deben ser reparadas por el constructor sin costo adicional a la entidad. Dentro de dichas labores de reparación pueden incluirse según el daño, la sustitución de los elementos.

Durante el periodo anterior a la fecha de entrega, el constructor debe proveer un mantenimiento continuo a los elementos instalados, procurando regar con la frecuencia adecuada, aquellos que cuentan con material vegetal, considerando tanto las condiciones propias de la zona, como las especies de vegetación que se promueven, esto para su arraigo, germinación y crecimiento.

Todas las labores de instalación de elementos comprendidos en la presente especificación, deben ser realizadas teniendo en cuenta lo establecido en el artículo 106 del INVIAS, así como los estudios previos, evaluaciones ambientales y disposiciones ambientales vigentes sobre la conservación del medio ambiente y conservación de los recursos naturales.

En el caso específico de la hidrosiembra, se debe poner especial cuidado a los insumos, fertilizantes e insecticidas utilizados, y al tratamiento de las zonas de las cuales se extraigan los bloques de césped cuando se vaya a emplear este sistema de protección. No se acepta el uso de especies transgénicas sin aprobación del interventor y sin la autorización de las autoridades ambientales competentes.

850.4.9. Manejo ambiental

Este tipo de procesos constructivos se caracteriza por utilizar materiales biodegradables, por lo cual se consideran impactos ambientales son mínimos o nulos. Sin embargo, cualquier procedimiento que se requiera para el diseño, locación y ejecución de trabajos y/o entrega y abandono de obras; debe tener en cuenta lo expuesto en el artículo 106, Aspectos ambientales.

850.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

El interventor y el constructor, deben adelantar controles de verificación del cumplimiento de las especificaciones de los materiales utilizados, procesos y cumplimiento de diseños, tales como:

- Verificar el cumplimiento de las especificaciones y requisitos de calidad de los materiales.
- Realizar seguimiento y comprobación de los trabajos según las especificaciones del presente documento y los diseños propuestos en el área de intervención.
- Cumplir las medidas ambientales y de seguridad y salud en el trabajo.
- El constructor debe efectuar un mantenimiento adecuado del área protegida hasta su recibo definitivo.
- Adicionalmente, en el caso específico de los anclajes, verificar que se hayan efectuado los ensayos de control necesarios a partir de ensayos de capacidad en campo; supervisar la correcta aplicación del método previamente aceptado para el proceso de instalación.

Se deben tener los certificados de calidad

expedidos por laboratorios del fabricante deL geotextil que garanticen el cumplimiento de las normas nacionales e internacionales de obligatorio cumplimiento para el material.

Queda a disposición del interventor la realización de pruebas adicionales de laboratorio para la verificación de la calidad del material a trabajar, siempre y cuando estos estudios sean certificados por laboratorios reconocidos que se rijan bajo las normas INVIAS, NTC o ASTM.

Las obras no deben ser recibidas antes que se verifique por parte del interventor que se produzca un arraigo y germinación del material vegetal. El constructor puede realizar las labores que crea pertinentes de riego y mantenimiento con el fin de ayudar al establecimiento del material biótico de los elementos instalados.

En la Tabla 850-11 se presentan los porcentajes mínimos de cobertura de áreas tratadas con hidrosiembra para el recibo de los trabajos.

Tabla 850-11. Porcentajes mínimos de cobertura de áreas tratadas con hidrosiembra para el recibo de los trabajos

Área tratada	Cobertura mínima (Nota 1)
Zona plana	>90%
3H:1V	>85%
2H:1V	>80%
1H:1V	>70%
H:1V	>60%
> 0,5H:1V	>50%

Nota 1: Esta tabla y sus valores de cobertura no aplican en taludes rocosos

En el caso de los mantos permanentes, el constructor debe presentar como documentos esenciales, los siguientes certificados de garantía:

- Acreditación GAI – LAP de todas las propiedades ensayadas de características físicas y mecánicas del manto de control de erosión.

- Certificado ISO 9001 versión 2000 para el sistema de aseguramiento de calidad, en la fabricación de mantos de control de erosión.

Nota: Estos documentos son requisitos insubsanables.

Terminada la obra, el constructor debe retirar del lugar todos los excedentes de material y equipos empleados. En cuanto a los desperdicios, estos deben ser transportados y dispuestos en lugares apropiados a plena satisfacción del interventor.

850.6 Medida

Las unidades de medidas establecidas para los diferentes sistemas son:

- Área medida en metros cuadrados (m^2) para la geobiomalla, los mantos, la hidrosiembra y el sistema compuesto para el control de erosión.

- Longitud en metros (m) para los sistemas biorrollo y biobarrera.

- Unidad (u) para los anclajes.

850.7 Forma de pago

El pago debe hacerse al respectivo precio unitario, teniendo en cuenta las unidades establecidas y las dimensiones según planos en planta del proyecto.

El precio debe cubrir el uso de herramienta menor, materiales utilizados, el aporte de mano de obra para realizar las actividades, todos los costos de preparación de la superficie existente, salvo que dicha labor forme parte de otra partida de trabajo del mismo contrato; la compactación o escarificación de la superficie tratada, cuando corresponda; el suministro en el lugar y la instalación de todos los materiales requeridos, la excavación y el relleno de las zanjas requeridas; en el caso de los anclajes, la perforación en caso de requerirse y el tensionamiento de los mismos; el suministro del agua y aplicación del riego periódico del área tratada, la poda periódica cuando se requiera, el suministro y la aplicación de fertilizantes, insecticidas y demás materiales requeridos para la conservación del área protegida hasta su recibo definitivo.

El precio unitario debe considerar la señalización preventiva de la vía y el ordenamiento del tránsito automotor y peatonal durante la ejecución de los trabajos y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución de los trabajos especificados.

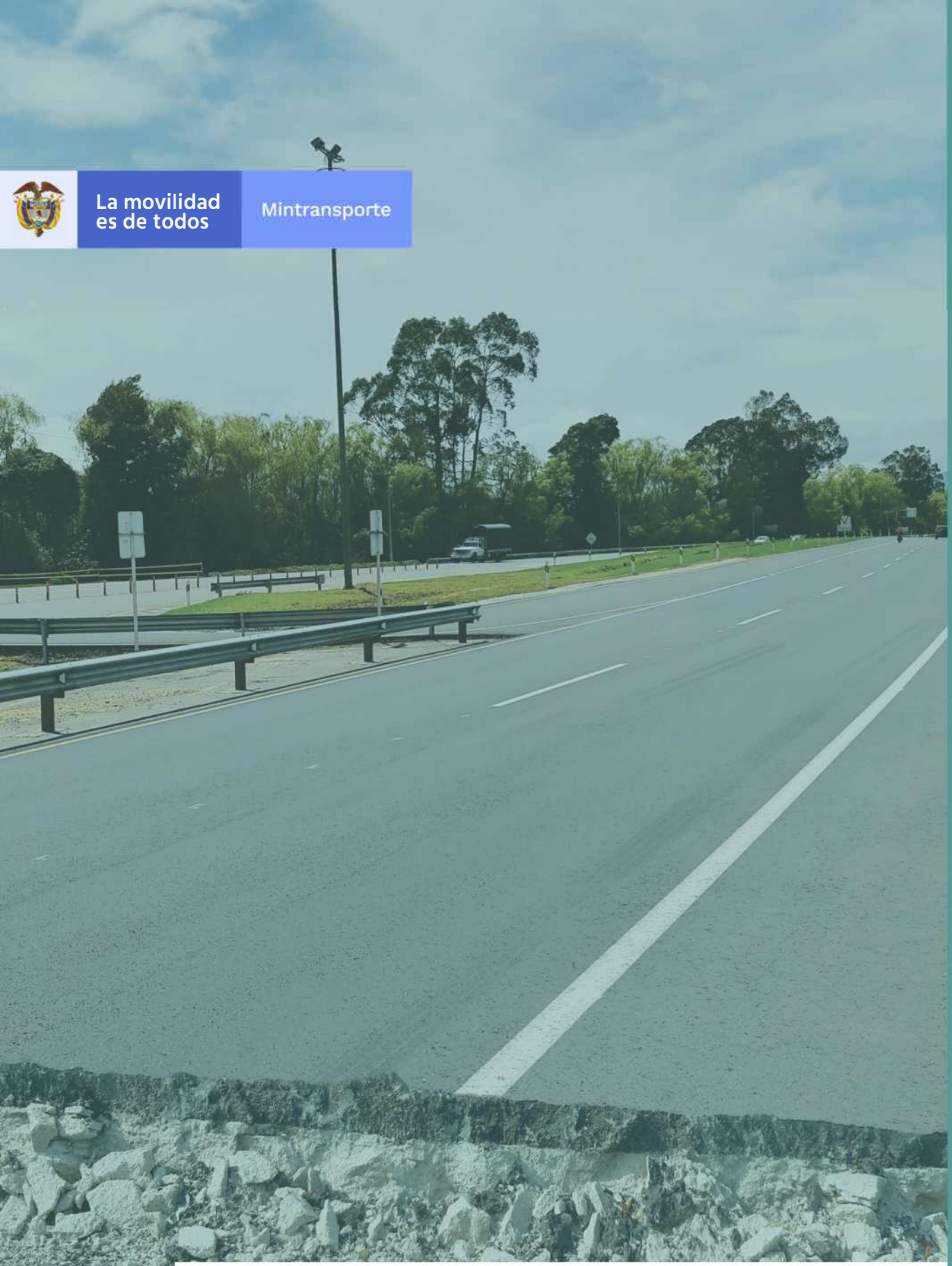
No se va a pagar el retiro y reemplazo de los anclajes que no hayan cumplido totalmente y a plena satisfacción del interventor, las pruebas de calidad.

En todos los casos, el precio unitario debe incluir la administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

850.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
850.1	Suministro e instalación biorrollo ø= 18cm revegetado tipo filter drench o similar, para control de erosión y disminución de energía del flujo en áreas de escorrentía	Metro (m)
850.2	Suministro e instalación de biobarreras de amortiguamiento filter drench o similar con fines de control de erosión, sedimentación, filtrado del flujo de escorrentía y remediación	Metro (m)
850.3	Sistema para protección, revegetar, control de erosión y estabilización superficial de taludes y laderas con geobiomalla	Metro cuadrado (m^2)
850.4	Suministro e instalación sistema de geobioestabilización combinado para control de erosión, revegetar y estabilización de taludes. Incluye geobiomalla o similar y malla biaxial 50 kN/m, anclada y arriostrada	Metro cuadrado (m^2)
850.5	Protección de taludes con manto del tipo 1A	Metro cuadrado (m^2)
850.6	Protección de taludes con manto del tipo 1B	Metro cuadrado (m^2)
850.7	Protección de taludes con manto del tipo 2A	Metro cuadrado (m^2)
850.8	Protección de taludes con manto del tipo 2B	Metro cuadrado (m^2)
850.9	Protección de taludes con manto del tipo 2C	Metro cúbico (m^3)
850.10	Protección de taludes con manto del tipo 2D	Metro cuadrado (m^2)
850.11	Protección vegetal con bloques de césped	Metro cuadrado (m^2)
850.12	Protección vegetal con tierra orgánica	Metro cuadrado (m^2)

Ítem	Descripción	Unidad
850.13	Protección vegetal con hidrosiembra controlada para pendientes mayores de 60°	Metro cuadrado (m^2)
850.14	Protección vegetal con hidrosiembra controlada para pendientes menores de 60°	Metro cuadrado (m^2)
850.15	Mantenimiento y riegos adicionales para protección vegetal	Metro cuadrado (m^2)
850.16	Anclaje superficial tipo guaya hincados por percusión	Unidad (u)
850.17	Manto para Control de Erosión	Metro cuadrado (m^2)
850.18	Geotextil no tejido	Metro cuadrado (m^2)
850.19	Malla metálica	Metro cuadrado (m^2)



La movilidad es de todos

Mintransporte

UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

INVIAS
INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

La movilidad es de todos

Mintransporte

CAPÍTULO 9

Especificaciones generales de construcción de carreteras 2022

UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

INVIAS
INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

9

Transporte

Transporte de materiales provenientes de excavaciones y derrumbes

Artículo 900 – 22

900.1 Descripción

Este trabajo estriba, única y exclusivamente, en el transporte de los materiales provenientes de la excavación de la explanación, canales y préstamos y el transporte de los materiales provenientes de derrumbes.

Esta especificación no es aplicable al transporte de líquidos, productos manufacturados, elementos industriales, ni al de agregados pétreos, mezclas asfálticas, materiales para la construcción de los pavimentos rígidos, obras de concreto hidráulico y de drenaje.

900.2 Materiales

900.2.1 Materiales provenientes de la excavación de la explanación, canales y préstamos

Hacen parte de este grupo los materiales provenientes de las excavaciones requeridas para la explanación, canales y préstamos, para su utilización o desecho, a que hace referencia el artículo 210, Excavación de la explanación, canales y préstamos, de las presentes especificaciones.

Incluye, también, los materiales provenientes de la remoción de la capa vegetal o descapote y otros materiales blandos, orgánicos y objetables, provenientes de las áreas en donde se vayan a realizar las excavaciones de la explanación, terraplenes y pedraplenes.

900.2.2 Materiales provenientes de derrumbes

Hacen parte de este grupo los materiales provenientes del desplazamiento de taludes o del terreno natural, depositados sobre una vía existente o en construcción, a que se refiere el artículo 211, Remoción de derrumbes, de las presentes especificaciones.

900.3 Equipo

Los vehículos para el transporte de materiales se encuentran sujetos a la aprobación del interventor y deben ser suficientes para garantizar el cumplimiento de las exigencias de esta especificación y del programa de trabajo. Deben estar provistos de los elementos necesarios para evitar contaminación o cualquier alteración perjudicial del material transportado y su caída sobre las vías empleadas para el transporte.

Todos los vehículos para el transporte de materiales deben cumplir con las disposiciones legales vigentes referentes al control de la

contaminación ambiental; para tal fin, deben garantizar que en sus contenedores se evite el derrame o pérdida del material transportado y, con tal fin, la estructura de sus contenedores debe encontrarse en condiciones óptimas para el almacenamiento de los materiales.

Ningún vehículo de los utilizados por el constructor para el transporte de materiales provenientes de excavaciones y derrumbes por las vías de uso público, puede exceder las dimensiones y las cargas admisibles por eje y totales fijadas por las disposiciones legales vigentes al respecto.

900.4 Ejecución de los trabajos

900.4.1 Transporte de los materiales

La actividad de la presente especificación implica solamente el transporte de los materiales a los sitios de utilización o desecho, según corresponda, de acuerdo con el proyecto y las indicaciones del interventor, quien debe determinar cuál es el recorrido más corto y seguro para efectos de medida del trabajo realizado.

La carga no debe sobrepasar el nivel de enrase del contenedor y, las puertas del mismo, deben asegurarse para evitar la pérdida y/o derrame de material durante el transporte.

Para vías pavimentadas o conexiones con las mismas, debe implementarse un sistema para el lavado de las llantas de los vehículos utilizados en el transporte de material proveniente de excavaciones de las explanaciones, derrumbes, canales y préstamos, con el objeto de evitar el arrastre de material adherido a las llantas. En caso de no poderse implementar un sistema de lavado de las llantas de los vehículos, el constructor debe garantizar la limpieza de la calzada; además, debe cumplir con las normas legales vigentes para el manejo, transporte y disposición final de residuos y material sobrante de las actividades de construcción de carreteras. En este aspecto, el constructor debe tener presente la Resolución 472 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en la cual se establecen las disposiciones para realizar la gestión integral de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) (o aquellas que las sustituyan, complementen o modifiquen).

900.4.2 Manejo ambiental

Adicional a los temas generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las labores requeridas para el transporte de materiales provenientes de excavaciones y derrumbes, deben realizarse en concordancia con lo establecido en las normas y disposiciones vigentes sobre la conservación del ambiente y los recursos naturales.

Por tanto, todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación, deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas labores deben incluirse en los costos del proyecto; por tanto, no son objeto de reconocimiento directo en el contrato.

En particular, debe prestarse atención al correcto funcionamiento del equipo de transporte en materia medioambiental y a la correcta utilización de los lugares de vertido de los desperdicios, generados por las unidades de obra a las cuales se hace referencia en este artículo.

900.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

900.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos, se deben efectuar los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y el funcionamiento de los vehículos de transporte.
- Comprobar que las ruedas del equipo de transporte que circule sobre las diferentes capas de pavimento se mantengan limpias. El interventor debe exigir, al constructor, la limpieza de la superficie en caso de contaminación atribuible a la circulación de los vehículos empleados para el transporte de los materiales. Si la limpieza no es suficiente, el constructor debe remover, a sus expensas, la capa correspondiente y reconstruirla de acuerdo con la respectiva especificación.
- Confirmar que todas las vías de acceso por donde transitan los vehículos de carga, se encuentren libres de residuos o material particulado proveniente del transporte.
- Corroborar el cumplimiento de todas las medidas requeridas sobre seguridad para el transporte de materiales.
- Determinar la ruta para el transporte al sitio de utilización o desecho de los materiales, siguiendo el recorrido más corto y seguro posible.
- Exigir el cumplimiento de las normas ambientales para el transporte de materiales.
- Garantizar el total cubrimiento de la carga transportada con material resistente, con el objeto de evitar la dispersión del mismo y emisiones fugitivas.
- Verificar y aprobar en el Plan de Manejo de Tránsito, los recorridos o las rutas por donde se transporta el material para asegurar los respectivos controles, siguiendo los parámetros y directrices establecidos en el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte.

El plan de calidad y el plan de inspección, medición y ensayo, son de obligatorio cumplimiento tal como se encuentra expresado en el numeral 103.2 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor.

900.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

El interventor solo debe medir el transporte de materiales autorizados de acuerdo con esta especificación, los documentos del proyecto y sus instrucciones. Si el constructor utiliza para el transporte una ruta diferente y más larga que la aprobada por el interventor, este solamente debe computar la distancia más corta que se haya definido previamente.

Para efectuar la medición del transporte de materiales se debe requerir, también, que se hayan efectuado las mediciones de densidad seca o peso unitario seco del material en su posición original; así mismo, si el material transportado es utilizado en la construcción, es necesario medir la densidad seca o el peso unitario seco del material compactado en su posición final.

900.6 Medida

Las unidades de medida para el transporte de materiales provenientes de excavaciones y derrumbes son las que se indican a continua-

ción. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

900.6.1 Materiales provenientes de la excavación de la explanación, canales y préstamos

Para el transporte de estos materiales a una distancia entre cien metros (100 m) y mil metros (1 000 m), la unidad de medida debe ser el metro cúbico-Estación (m^3-E). La medida corresponde al número de metros cúbicos, aproximado al entero, de material transportado medido en su posición original, multiplicado por la distancia de transporte, en estaciones de cien metros (100 m), con aproximación al décimo de estación.

Cuando los materiales deban ser transportados a una distancia mayor de mil metros (1 000 m), la unidad de medida debe ser el metro cúbico-kilómetro (m^3-km). La medida corresponde al número de metros cúbicos, aproximado al metro cúbico completo, medido en su posición original, y multiplicado por la distancia total de transporte expresada en kilómetros, con aproximación al décimo de kilómetro.

En cualesquiera de los dos (2) casos, la distancia de transporte que se computa debe ser la existente entre el centro de gravedad de las excavaciones y el centro de gravedad de los sitios de utilización o disposición, menos los primeros cien metros (100 m), los cuales se deben establecer como distancia de acarreo libre.

Para los fines de estas especificaciones, se debe entender por acarreo libre el que se efectúa desde el sitio de extracción del material hasta una distancia de cien metros (100 m), el cual se considera como parte del concepto correspondiente a la extracción del material transportado, motivo por el cual no es objeto de medida ni de pago por separado.

Para el caso de materiales que se utilicen en la construcción y deban ser compactados, su volumen se debe calcular a partir del volumen de material colocado y compactado, en su posición final, multiplicado por la relación entre las densidades secas o los pesos unitarios secos del material compactado y de la densidad seca que presente el material en el banco en el cual es explotado, razón por la cual no se puede considerar como tal la densidad seca o el peso unitario seco que presente el material en estado suelto sobre la volqueta o en acopios intermedios. Por densidad seca o peso unitario seco en su posición original se debe entender la (el) que presente el material en el banco en el cual es explotado.

900.6.2 Materiales provenientes de derrumbes

La unidad de medida para el transporte de materiales provenientes de derrumbes, debe ser el metro cúbico-kilómetro (m^3-km).

La medida debe corresponder al número de metros cúbicos completos, medidos en estado suelto según se indica en el artículo 211, Remoción de derrumbes, de estas especificaciones y multiplicado por la distancia de transporte expresada en kilómetros, con aproximación al décimo de kilómetro.

Debe tenerse en cuenta que la distancia de transporte debe ser la existente entre el centro

de gravedad del sitio de extracción del derrumbe y el centro de gravedad de los sitios de disposición final, menos cien metros (100 m) de distancia de acarreo libre.

900.7 Forma de pago

El pago de las cantidades de transporte de materiales determinadas en la forma indicada anteriormente, se debe hacer al precio unitario pactado en el contrato, por unidad de medida, conforme con lo establecido en este artículo y a las instrucciones del interventor.

El precio unitario debe cubrir todos los costos por concepto de mano de obra, equipo, herramientas, acarreo y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución de los trabajos aquí expresados.

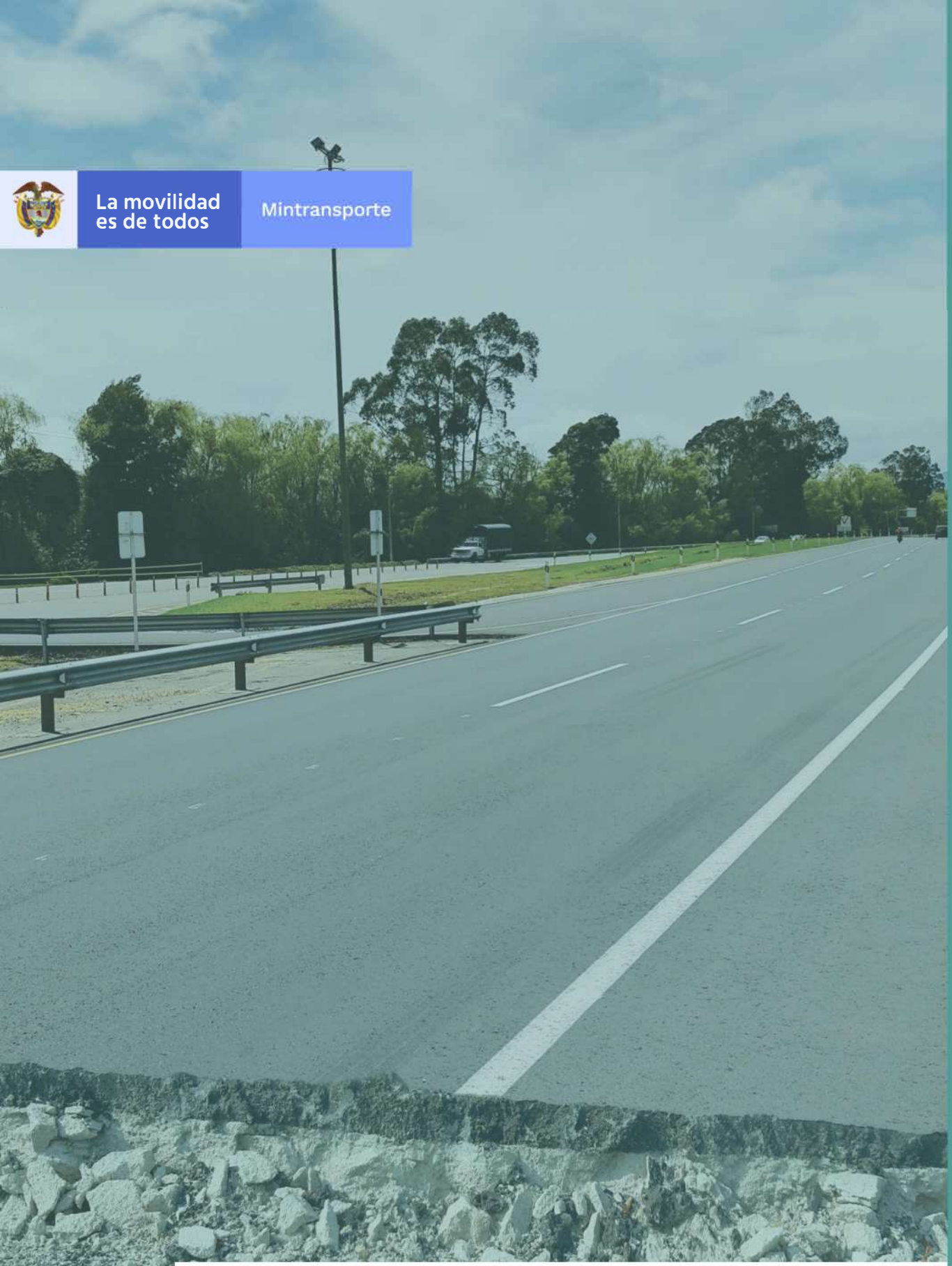
El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

El precio unitario no debe incluir los costos por concepto de los diferentes cargues, descargues y disposición del material, los cuales se encuentran incorporados en los precios unitarios de los ítems correspondientes.

Cualquier otro transporte no contemplado en este artículo, debe contemplarse en el precio unitario del ítem respectivo.

900.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
900.1	Transporte de materiales provenientes de la excavación de la explanación, canales y préstamos, entre cien metros (100 m) y mil metros (1 000 m) de distancia	Metro cúbico-estación (m^3-E)
900.2	Transporte de materiales provenientes de la excavación de la explanación, canales y préstamos para distancias mayores de mil metros (1 000 m), medido a partir de cien metros (100 m)	Metro cúbico-kilómetro (m^3-km)
900.3	Transporte de materiales provenientes de derrumbes, medido a partir de cien metros (100 m)	Metro cúbico-kilómetro (m^3-km)



La movilidad es de todos

Mintransporte

UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

INVIAS
INSTITUTO NACIONAL DE VIAS