

MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CÁLCULO

TRABAJO DE GRADO

WILMAR ÁNDRES BOTÍA DIAZ

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL
BOGOTA D.C. MAYO DE 2015**

MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CÁLCULO

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL Tutor: ING. JOSE GERLEY CORTÉS – UMNG**

WILMAR ÁNDRES BOTÍA DIAZ

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL
BOGOTA D.C. MAYO DE 2015**

**Señores
COMITÉ DE OPCIÓN DE GRADO
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
Ciudad.**

Ref.: Presentación Trabajo de Grado

En cumplimiento del reglamento de la Facultad para el desarrollo de la Opción de Grado, nos permitimos presentar para los fines pertinentes el trabajo de grado titulado: "MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIAS DE CALCULO"

El Tutor es el Ingeniero Jose Gerley Cortés

Atentamente,

Wilmar Andrés Botía Díaz
Código: 1101328
Estudiante de Ingeniería Civil

APROBACIÓN

El trabajo de grado titulado “MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIAS DE CALCULO”, opción de trabajo de grado, presentado por el estudiante Wilmar Andrés Botía Díaz , en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al título de “Ingeniero Civil” fue aprobada por el tutor:

Ing. Jose Gerley Cortés
Tutor Universidad Militar Nueva Granada

AGRADECIMIENTOS

Proverbios 16:3 “Pon tus obras en manos del Señor y tus proyectos se cumplirán”

Primero agradezco a Dios por permitir que todo en el camino se aparejara para llegar a feliz término este trabajo de grado. Por poner cada día la motivación correcta y enfocarme en realizar el mismo con excelencia y poniendo a favor cada una de las capacidades y dones con los que me ha dotado.

Segundo agradezco a mis padres por tener presente este trabajo y de manera indirecta trabajar cada día por el mismo. Agradezco por el apoyo, por los recursos aportados y aún más importante por el ánimo y la seguridad que me aportaron en el proceso.

Finalmente agradezco a la empresa Geotechnical S.A.S. quienes me abrieron las puertas para trabajar en el laboratorio durante 3 meses y de esta manera poder verificar cada uno de los procedimientos y obtener la información necesaria para desarrollar el manual y los formatos de cálculo.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE
SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CÁLCULO



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	7
ÍNDICE DE TABLAS	12
ÍNDICE DE FIGURAS	13
ÍNDICE DE IMAGENES	14
INTRODUCCIÓN	16
1. GENERALIDADES	17
1.1. DEFINICIÓN DE LA MECÁNICA DE SUELOS	18
1.2. PRUEBAS DE LABORATORIO	18
1.2.1 ASPECTOS IMPORTANTES EN MUESTRAS DE ANÁLISIS	19
1.3. RELACIONES VOLUMÉTRICAS DE LOS SUELOS	20
2. PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS EN EL LABORATORIO	23
2.1 PROCEDIMIENTO ENSAYO DE HUMEDAD NATURAL	24
REFERENCIAS:	25
GENERALIDADES	25
OBJETIVO	25
EQUIPO	26
OTROS FACTORES	26
PROCEDIMIENTO	27
CÁLCULOS:	28
ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL	29
INFORME	29
FORMATO TOMA DE DATOS	30
2.2. PROCEDIMIENTO ENSAYO DE PESO UNITARIO	31
REFERENCIAS:	32
GENERALIDADES	32
OBJETIVO	32
EQUIPO	33
OTROS FACTORES	33
PROCEDIMIENTO	34



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

CÁLCULOS:	35
ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL	37
INFORME	37
FORMATO TOMA DE DATOS.....	38
2.3. PROCEDIMIENTO ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO Y LIMITE PLÁSTICO.....	39
LÍMITE LÍQUIDO	40
REFERENCIAS:	40
GENERALIDADES	40
OBJETIVO.....	41
EQUIPO.....	41
MUESTRA	43
AJUSTE DEL APARATO DE ENSAYO.....	43
PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	43
PROCEDIMIENTO.....	44
CÁLCULOS	45
ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL	46
LÍMITE PLÁSTICO	47
REFERENCIAS:	47
GENERALIDADES	47
OBJETIVO.....	47
EQUIPO.....	48
MUESTRA	48
PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	49
PROCEDIMIENTO.....	49
CÁLCULOS	50
ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL	51
INFORME	51
FORMATO TOMA DE DATOS.....	52
2.4. PROCEDIMIENTO ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	53
REFERENCIAS:	54
GENERALIDADES	54
OBJETIVO.....	55



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

EQUIPO.....	56
MUESTRA	57
PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	57
PROCEDIMIENTO.....	58
CÁLCULOS	61
ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL	63
INFORME	63
FORMATO TOMA DE DATOS.....	65
2.5. PROCEDIMIENTO ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA	66
REFERENCIAS:	67
GENERALIDADES	67
OBJETIVO.....	68
EQUIPO.....	68
PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	69
CALIBRACIÓN DEL PICNÓMETRO.....	70
PROCEDIMIENTO.....	71
CALCULOS	73
INFORME	73
FORMATO TOMA DE DATOS.....	74
2.6. PROCEDIMIENTO ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL	75
REFERENCIAS:	76
GENERALIDADES	76
OBJETIVO.....	77
EQUIPO.....	77
OTROS FACTORES.....	79
PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	79
PROCEDIMIENTO.....	80
CÁLCULOS:	82
ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL	86
INFORME	86
FORMATO TOMA DE DATOS.....	87
2.7. PROCEDIMIENTO ENSAYO DE COMPRESIÓN INCONFINADA	89



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

REFERENCIAS:	90
GENERALIDADES	90
OBJETIVO	90
EQUIPO.....	91
MUESTRA	93
PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	94
PROCEDIMIENTO.....	94
CÁLCULOS	96
ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL	98
INFORME	99
FORMATO TOMA DE DATOS.....	100
2.8. PROCEDIMIENTO ENSAYO DENSIDAD- MÉTODO CONO Y ARENA	101
REFERENCIAS:	102
GENERALIDADES	102
OBJETIVO	103
MATERIAL Y EQUIPO.....	103
DETERMINACIÓN DE LA CONSTANTE DEL CONO.....	106
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE LA ARENA	107
PROCEDIMIENTO.....	108
CÁLCULOS	111
ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL	112
INFORME	112
FORMATO TOMA DE DATOS.....	114
2.9. PROCEDIMIENTO ENSAYO DE CORTE DIRECTO	115
REFERENCIAS:	116
GENERALIDADES	116
OBJETIVO.....	117
EQUIPO.....	118
MUESTRA	120
PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	120
PROCEDIMIENTO.....	122
CÁLCULOS	127



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL	129
INFORME	129
FORMATO TOMA DE DATOS.....	131
2.10. PROCEDIMIENTO ENSAYO DE CBR	132
REFERENCIAS:	133
GENERALIDADES	133
OBJETIVO	134
EQUIPO.....	134
MUESTRA	136
PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	136
PROCEDIMIENTO.....	137
CÁLCULOS	140
ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL	143
INFORME	143
FORMATO TOMA DE DATOS.....	144
2.11. PROCEDIMIENTO ENSAYO DE COMPACTACIÓN- PROCTOR MODIFICADO	145
REFERENCIAS:	146
GENERALIDADES	146
OBJETIVO	147
EQUIPO.....	147
MUESTRA	149
PROCEDIMIENTO.....	149
CÁLCULOS	152
ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL	154
INFORME	154
FORMATO TOMA DE DATOS.....	155
2.12 PROCEDIMIENTO DE CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS – SISTEMA SUCS	156
REFERENCIAS:	157
GENERALIDADES	157
PROCEDIMIENTO.....	157
ESTIMACIÓN DE SÍMBOLOS FRONTERIZOS PARA SUELOS CON DOS IDENTIFICACIONES POSIBLES.....	162
BIBLIOGRAFÍA.....	164



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Masas recomendadas por INVIAS para las muestras de ensayo de Humedad.....	27
Tabla 2 Datos para determinar porcentaje de humedad.....	28
Tabla 3 Serie de tamices para análisis granulométrico	56
Tabla 4 Rangos de gravedad específica propuestos por Bowels.....	68
Tabla 5 Masa recomendada para especímenes de prueba.....	69
Tabla 6 Tabla de densidades del agua a diferentes temperaturas	71
Tabla 7 Volumen mínimo para hueco del ensayo.....	109
Tabla 8 Clasificación de suelos según CBR.....	133
Tabla 9 Tiempos de curado.....	150
Tabla 10 Datos necesarios para clasificación de suelos por sistema SUCS	157
Tabla 11 Clasificación de suelos de grava	158
Tabla 12 Diagrama de flujo para nombre de grupo de suelos tipo grava.....	159
Tabla 13 Clasificación de suelos arenosos	160
Tabla 14 Diagrama de flujo para nombre de grupo de suelos arenosos.....	161
Tabla 15 Clasificación de suelos finos con LL menor a 50%	162
Tabla 16 Clasificación de suelos finos con LL mayor a 50 %	162



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de fases principales del Suelo	20
Figura 2 Estados del Suelo. Límites de Plasticidad	40
Figura 3 Grafico para determinar el Limite Liquido	46
Figura 4 Grafica de Análisis Granulométrico	55
Figura 5 Curva Granulométrica	63
Figura 6 Deformación Unitaria Axial vs Esfuerzo Axial Efectivo	85
Figura 7 Grafica Deformación vs Esfuerzo	98
Figura 8 Grafico de aparato Cono y Arena	104
Figura 9 Esfuerzo Normal VS Esfuerzo de Corte	129
Figura 10 Equipo para ensayo de Compactación	135
Figura 11 Curva de presiones de penetración	142
Figura 12 Tabla de datos de muestra patrón de CBR	142
Figura 13 Curva de Compactación	153
Figura 14 Carta de Plasticidad	158



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

ÍNDICE DE IMAGENES

Imagen 1 Equipo para ensayo de Humedad	26
Imagen 2 Peso de muestra húmeda	28
Imagen 3 Cazuela o Aparato de Casa Grande.....	42
Imagen 4 Equipo de Laboratorio para Ensayo	42
Imagen 5 Muestra después de accionar la cazuela.....	44
Imagen 6 Muestra antes de accionar la cazuela	44
Imagen 7 Recolección de Muestra para determinar Porcentaje de Humedad	45
Imagen 8 Equipo para Limite Plástico	48
Imagen 9 Diámetro Requerido del Rollo de Suelo.....	49
Imagen 10 Peso de Muestra de Suelo más Recipiente.....	50
Imagen 11 Preparación de la muestra	58
Imagen 12 Proceso de Tamizado	58
Imagen 13 Peso de porcentaje retenido.....	59
Imagen 14 Mezcla de suelo con agua y hexametáfosfato	60
Imagen 15 Lavado sobre tamiz N.200.....	60
Imagen 16 Consolidómetro para ensayo de Consolidación Unidimensional.....	77
Imagen 17 Equipo de Consolidómetro.	78
Imagen 18 Preparación de la Muestra	79
Imagen 19 Ensamble de la Muestra.....	80
Imagen 20 Ejecución del ensayo	81
Imagen 21 Equipo de compresión inconfiada.....	92
Imagen 22 Equipo para ensayo	93
Imagen 23 Dimensiones de la muestra. Relación altura-diámetro.....	93
Imagen 24 Peso de la muestra	95
Imagen 25 Etapa inicial del ensayo.....	95
Imagen 26 Proceso de falla.....	96
Imagen 27 Equipo para Ensayo Densidad Cono y Arena.....	106
Imagen 28 Excavación para ensayo	109
Imagen 29 Finalización de ensayo en campo	110
Imagen 30 Determinación de Humedad Natural.....	111
Imagen 31 -Equipo de corte directo	118
Imagen 32 Caja de corte y partes de la misma	119
Imagen 33 Preparación de muestra para ensayo Corte Directo	122
Imagen 34 Montaje de la muestra en la caja de corte	124
Imagen 35 Ensamble de caja de en máquina de corte directo	124
Imagen 36 Aplicación de cargas normales.....	125
Imagen 37 Inundación de caja de corte	126
Imagen 38 Muestra Fallada.....	127
Imagen 39 Disco espaciador y papel de filtro dentro del molde.....	137
Imagen 40 Peso de molde mas suelo compactado	138
Imagen 41 Inmersión de molde y colocación de trípode con deformímetro	139
Imagen 42 Penetración de CBR.....	140
Imagen 43 Moldes de Compactación	148



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

Imagen 44 Tamizado y selección de la muestra.....	149
Imagen 45 Muestras y equipos para ensayo de Compactación	150
Imagen 46 Amasado del suelo para buscar humedad esecifica.....	151
Imagen 47 Compactación de la muestra y puntos de orden de compactación.	151
Imagen 48 Enrasado de muestra compactada.....	152



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la Mecánica de Suelos y así mismo el desarrollo de la infraestructura que se esta teniendo, hace que cada día se preste mayor atención a cada uno de los procedimientos de Ingeniería Civil con el fin de desarrollar proyectos que cumplan con las necesidades de los usuarios y presten servicios óptimos, seguros y confiables.

Las características geológicas, topográficas y geomorfológicas del territorio Colombiano, lo convierten en un reto diario para el Ingeniero Civil. La variedad de suelos y rocas que existen en el país, las fuertes olas invernales que se vienen presentado en los últimos años, los fallamientos que con el tiempo se han venido desarrollando y que hoy son procesos activos, hacen del campo de la Geotecnia un lugar donde el factor error es muy reducido y obligan a que cada parte del proceso de los análisis de estabilidad, de los diseños de cimentaciones, de los estudios de remoción en masa, de las obras de infraestructura y por supuesto la exploración del subsuelo, se hagan con la mayor precisión, profesionalismo y bajo metodologías comprobadas y aprobadas.

Este Manual de Procedimientos de Ensayos de Suelos, ha sido desarrollado tomando como referencia principal la normatividad INVIAS del año 2013 para Colombia, se ha recopilado información sobre los ensayos que se desarrollan en la empresa Geotechnical S.A.S estableciendo un procedimiento detallado del método a desarrollar en el laboratorio, así como el desarrollo de hojas de cálculo que permite con base a los datos obtenidos en laboratorio determinar propiedades físicas y mecánicas de los suelos en estudio.

El manual presenta un primer capítulo correspondiente a generalidades sobre la Mecánica de Suelos, pruebas de laboratorio, relaciones volumétricas de los suelos, un segundo capítulo que presenta el desarrollo para cada uno de los ensayos a trabajar, partiendo de una explicación breve sobre el ensayo, los materiales y equipos a utilizar, la preparación de las muestras, los procedimientos, cálculos a realizar, elementos de protección personal y los componentes que debe llevar el informe. Por último se presenta un tercer capítulo que contiene formatos guías para la toma de datos dentro del proceso de laboratorio.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

1. GENERALIDADES



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

1.1. DEFINICIÓN DE LA MECÁNICA DE SUELOS

Los suelos han sido y serán por todos los tiempos la base fundamental para llevar a cabo sobre los mismos, obras de infraestructura que permitan proporcionar las condiciones óptimas para dar paso al desarrollo mundial. Con el objetivo de obtener un mejor aprovechamiento y conocimiento del mismo, se creó la necesidad de tratar los suelos desde un punto de vista científico, empezando por realizar estudios de manera sistemática y organizada (1913 Por la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles 1) y años más tarde (1925-1929) gracias a los estudios realizados por el Ingeniero Estadounidense Karl Von Terzaghi, se crea lo que hoy se conoce como la Mecánica de Suelos y quien la define como la “aplicación de las leyes de la mecánica y la hidráulica a los problemas de ingeniería que tratan con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, producidas por la desintegración mecánica o descomposición química de las rocas, independientemente de que tengan o no contenido de materia orgánica”.

La mecánica de suelos se define como la ciencia que estudia y determina las propiedades físicas y mecánicas de una determinada masa de suelo, dando así datos y herramientas al Ingeniero Civil para conocer y predecir el comportamiento de dicha masa de suelo. Propiedades importantes como la capacidad portante de los suelos, permeabilidad, los asentamientos, la presión de poros, resistencia a la compresión, ángulo de fricción y cohesión, son determinadas gracias a los estudios en laboratorio e In-situ a muestras tomadas y cuyos valores se convierten en el insumo de diseños ingenieriles que garantizan seguridad, durabilidad y estabilidad. La mecánica de suelos no desconoce el alto impacto que causa el agua sobre el terreno y los suelos, es por eso que estudia también el flujo del agua hacia su interior, hacia su exterior y dentro de la misma masa del terreno y permitiendo así conocer que tan factible resulta hacer uso del suelo en estudio en una construcción.

El suelo se puede definir como aquel material terroso, de naturaleza variable y cuyo tamaño de partículas se encuentra por debajo de 7,5 cm (3”). Se consideran suelos gruesos cuando más del 50% de las partículas de la muestra en estudio, son de tamaño mayor a 0,075 mm. Por el contrario se consideran suelos finos cuando más del 50% de las partículas de la muestra en estudio, son de tamaño menor a 0,075 mm. Los suelos gruesos pueden ser gravas o arenas y los suelos finos pueden ser limos, arcillas o suelos altamente orgánicos (turba).

1.2. PRUEBAS DE LABORATORIO

La caracterización y clasificación de los suelos es posible gracias a procedimientos efectuados a los mismos en las pruebas de laboratorio. Con el objetivo de garantizar que los resultados en los estudios de suelos tengan la menor variabilidad posible entre laboratorios, se han



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

constituido normas estándar para la realización de dichos ensayos y que para el caso de Colombia, el Instituto Nacional de Vías “INVIAS” ha propuesto estas normas.

La precisión en los resultados de los ensayos de laboratorio no solamente depende del seguimiento estricto de los pasos recomendados por las normas existentes, sino también de la calidad y buen estado de los equipos que se utilicen en el proceso. Así como de la preparación de las personas encargadas y del conocimientos que estos tengan acerca del tema, de las condiciones de los lugares destinados a los laboratorios, de los procedimientos de extracción y manejo de muestras y de otros tantos factores.

Con el fin de clasificar un suelo mediante la caracterización del mismo en el laboratorio, se debe contar con muestras o porciones del mismo. cuando los objetivos son generales y no se requiere conocer propiedades específicas, se manejaran muestras de inspección, de las cuales solo se pide que manejen masas representativas. Por el contrario si los datos a conocer son específicos se manejaran muestras de laboratorio que deben cumplir con condiciones de tamaño, procesos de obtención, manejo en el traslado, ambiente de almacenamiento, entre otras. Según sean las propiedades que se deseen conocer acerca de los suelos en estudio se podrán manejar muestras alteradas e inalteradas:

Se consideran muestras alteradas aquellas una vez son extraídas del terreno pierden la condición de su estructura original. Normalmente son recolectadas por medios de perforación y son almacenadas de manera tal que se conserve su humedad natural o contenido de agua.

Se consideran muestras inalteradas aquella que son extraídas por métodos que hacen posible que se mantenga la estructura natural de los suelos, como son la humedad natural, composición mineralógica y la relación de poros o vacíos. De igual manera son almacenadas y recubiertas con material impermeabilizante para mantener sus propiedades. Es necesario aclarar que la palabra inalterada no se maneja de manera totalmente literal, pues se considera poco posible el mantener el 100 % de las propiedades del suelo, una vez este haya sido extraído y trasladado a laboratorio.

1.2.1 ASPECTOS IMPORTANTES EN MUESTRAS DE ANÁLISIS

Dentro de los ensayos de laboratorio se debe considerar un alto porcentaje de error, por lo cual la masa de suelo que llega al laboratorio debe por lo menos ser suficiente para realizar un ensayo extra, esto en caso que los resultados obtenidos en el primer ensayo diverjan de la realidad y que por criterio, conocimiento y experiencia del ingeniero a cargo se consideren no reales.

Una vez se hayan realizado los ensayos correspondientes, cumpliendo así con las ordenes de ensayo emitidas, es importante que las muestras testigo sean almacenadas por un tiempo que se considere apropiado dependiendo el tipo de proyecto en el que se trabaje. El lugar de



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

almacenamiento debe contar con condiciones y humedad específicas, de tal manera que no se afecten las propiedades de la muestra.

1.3. RELACIONES VOLUMÉTRICAS DE LOS SUELOS

Las fases que constituyen una muestra de suelo son: Fase Gaseosa (aire), Fase Líquida (agua) y Fase Sólida (suelo). La fase Líquida y Gaseosa del suelo conforman el total de vacíos presente en la muestra, la cual se representa en peso o en volumen. El suelo puede presentar condición saturada o condición seca, casos que se explican a continuación.

Suelo Saturado: Se dice que un suelo es saturado cuando el total de sus vacíos están ocupados por agua, de tal forma que se presente solamente fase líquida y fase sólida. Los suelos que se encuentran bajo el nivel freático normalmente presentan esta condición.

Suelo Seco: Se dice que un suelo es seco cuando el total de su volumen está constituido por suelo y hay ausencia de agua en su estructura.

En la Figura 1 se presentan las fases principales del suelo:

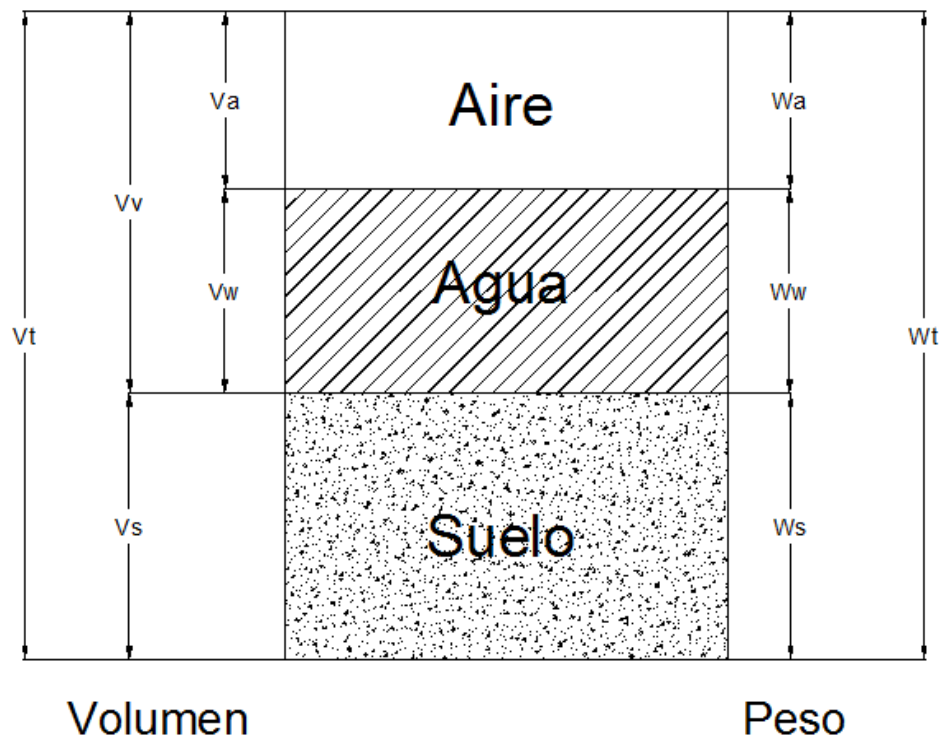


Figura 1 Diagrama de fases principales del Suelo



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

El significado de los símbolos es el siguiente:

Va: Volumen de aire presente en la masa de suelo

Vw: Volumen de agua presente en la masa de suelo

Vv: Volumen de vacíos presente en la masa de suelo

Vs: Volumen de sólidos presente en la masa de suelo

Vt: Volumen total de la masa de suelo

Wa: Peso del aire presente en la masa de suelo, (Se considera igual a cero).

Ww: Peso de agua presente en la masa de suelo

Ws: Peso seco de los sólidos

Wt: Peso total de la masa de suelo

La mecánica de suelos maneja las siguientes relaciones fundamentales y en base a las mismas determina propiedades físicas y mecánicas de los suelos.

Relación de Vacíos (e): Relación que existe entre el volumen de los vacíos (Vv) y el volumen de los sólidos (Vs).

$$e = \frac{Vv}{Vs}$$

Juarez Badillo- Rico Rodríguez (2005) expone que “no es común encontrar valores menores a 0.25 (arenas muy compactadas con finos) y mayores a 15 (arcillas con altos grados de compresibilidad)”.

Porosidad (n): Relación que existe entre el volumen de vacíos y el volumen de su masa (Vt). La porosidad presentara valores de cero en suelos de solo fase sólida y valores de cien (100) es espacios vacíos. Valores entre el 20 y 95 % son los normalmente obtenidos.

$$n = \frac{Vv}{Vt}$$

La relación de vacíos (e) se halla también a partir de la porosidad como sigue a continuación:

$$e = \frac{n}{1 - n}$$

Grado de Saturación (S): Relación que existe entre el volumen de agua (Vw) y el volumen de vacíos. Su valor se presenta en porcentaje.

- S= 0 % → Suelos Secos



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

- S=100 % → Suelos Saturados

$$S(\%) = \frac{V_w}{V_v} * 100$$

Peso Unitario (γ): Relación que existe entre el peso total de la masa de suelo (W_t) y el volumen total de la masa de suelo.

$$\gamma = \frac{W_t}{V_t}$$

Volumen de Sólidos (V_s):

$$V_s = \frac{W_s}{G_s * \gamma_w}$$

Donde:

G_s : Gravedad Especifica de los Sólidos del Suelo

γ_w : Peso Unitario del Agua

Volumen del Agua (V_w):

$$V_w = \frac{W_w}{G_w * \gamma_w} = W_w$$

Donde:

G_w : Gravedad Especifica del Agua

γ_w : Peso Unitario del Agua

Contenido de Humedad (w): Relación que existe entre el peso del agua presente en la muestra de suelo y el peso seco de los sólidos. Su valor se presenta en porcentaje.

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_s} * 100$$



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

2. PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS EN EL LABORATORIO



**MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE
SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO**

2.1 PROCEDIMIENTO ENSAYO DE HUMEDAD NATURAL



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

REFERENCIAS:

I.N.V. E – 122 – 13.

ASTM D2216-71.

J. Bowles. (1981), Manual De Laboratorio De Suelos En Ingeniería Civil (Pág. 11-12). (México): Mc GRAW-HILL.

J. Badillo, R. Rodríguez. (2005), Mecánica De Suelos, Tomo 1, Fundamentos De La Mecánica De Suelos (Pág. 61). (México): Limusa.

GENERALIDADES

El comportamiento el suelo se puede comparar con el de una esponja por su capacidad para retener agua dentro de su estructura y cuya cantidad depende de las características de sus partículas (textura y estructura). El contenido de humedad de un suelo es la relación existente entre la masa de agua que logra alojarse dentro de la estructura porosa del suelo, y la masa propia de las partículas de suelo. También se define el contenido de humedad de un suelo como la suma del agua libre, capilar e higroscópica.

Existen diversos métodos para determinar el contenido de agua en un suelo como son la sonda de neutrones, el método TDR, método de la aguja proctor, método del Speedy, método nuclear, método del picnómetro al aire diferencial, método del alcohol metílico, a través del tacto, de manera indirecta con tensiómetro y la más utilizada en la ingeniería civil y geotecnia el método por secado al horno.

La determinación del contenido de agua en un suelo es de vital importancia en el momento de tratar propiedades del mismo como la cohesión, consistencia, cambios de volumen y estabilidad mecánica.

OBJETIVO

Este ensayo tiene como objetivo determinar el contenido de agua presente en una muestra de suelo.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

EQUIPO

El equipo necesario para llevar a cabo la determinación del contenido de humedad del suelo es el siguiente:

- Horno de secado: con capacidad para mantener temperaturas constantes de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Recipientes de muestreo: los recipientes deben tener características especiales como son: su material preferiblemente aluminio o porcelana, que soporte altas temperaturas y sea resistente a la corrosión por el contacto con la humedad de las muestras. Deben estar marcados con un código que facilite su identificación.



Imagen 1 Equipo para ensayo de Humedad

- Guantes contra altas temperaturas o herramientas para manejar los recipientes.
- Balanza de precisión: con precisión de 0,01 g, previamente calibradas.
- Herramientas menores: herramientas menores como son espátulas, trapos de limpieza, seguetas, entre otros.

OTROS FACTORES

- Temperatura: para mantener inalterada la humedad de la muestra los sitios en donde se realizan los ensayos no deben tener variaciones de temperatura mayores a $\pm 4^{\circ}\text{C}$, ni tampoco tener un contacto directo con la luz solar.
- Muestreo y Almacenamiento: El muestreo de un suelo es la etapa previa al análisis y determinación de propiedades. Es probablemente la fase más importante para la



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

obtención de datos analíticos que puedan considerarse seguros y poder hacer un dictamen verídico sobre el suelo en análisis. Su almacenamiento debe garantizar que la muestra conserve su humedad natural.

- El tamaño de la muestra que las especificaciones recomiendan están en función del tamaño máximo de las partículas de la misma. A continuación se presenta la tabla con los tamaños recomendados por la Norma INV E-122-13.

TAMAÑO MÁXIMO DE PARTÍCULA (PASA 100 %)		MÉTODO A		MÉTODO B	
		CONTENIDO DE AGUA REGISTRADO CON APROXIMACIÓN DE ± 1 %		CONTENIDO DE AGUA REGISTRADO CON APROXIMACIÓN DE ± 0.1 %	
TAMAÑO TAMIZ (MM)	TAMAÑO TAMIZ ALTERNATIVO	MASA DEL ESPÉCIMEN	LECTURA DE LA BALANZA (g)	MASA DEL ESPÉCIMEN	LECTURA DE LA BALANZA (g)
75.0	3"	5 kg	10	50 kg	10
37.5	1½"	1 kg	10	10 kg	10
19.0	¾"	250 g	1	2.5 kg	1
9.5	3/8"	50g	0.1	500 g	0.1
4.75	No. 4	20 g	0.1	100 g	0.1
2.00	No. 10	20 g	0.1	20 g	0.01

Tabla 1 Masas recomendadas por INVIAS para las muestras de ensayo de Humedad

Fuente de tabla: INV E-122-13

Nota: Se puede presentar la situación en la que no se cuente con el suficiente material y esté presente una partícula de tamaño considerable. En este caso se recomienda descartar dicha partícula y dejar constancia del procedimiento realizado.

PROCEDIMIENTO

- Seleccionar un recipiente de referencia y masa conocida.
- Una vez seleccionada la muestra a ensayar, depositar la misma dentro del recipiente y determinar la masa del conjunto (recipiente + muestra).



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO



Imagen 2 Peso de muestra húmeda

- Se procede a dejar el recipiente con la muestra dentro del horno, a una temperatura constante de $110 \pm 5^\circ \text{C}$. Se debe dejar en el horno el tiempo suficiente para que se alcance una masa constante. Para tener seguridad de lo anterior se deben hacer mediciones de masa en intervalos de tiempo.
- Una vez se haya secado el material se retira del horno y se deja secar a temperatura constante para luego determinar su peso seco.

CÁLCULOS:

Para determinar el contenido de humedad se deben conocer los siguientes datos:

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO		
Símbolo	Descripción	Unidades
Wr	Masa del Recipiente	Gramos (g)
Wh	Masa de Recipiente + Suelo Húmedo	Gramos (g)
Ws	Masa de Recipiente + Suelo Seco	Gramos (g)
Ww	Masa del agua	Gramos (g)
Wp	Masa de Partículas de Suelo	Gramos (g)

Tabla 2 Datos para determinar porcentaje de humedad



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

El contenido de humedad del suelo se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$W(\%) = \frac{W_h - W_s}{W_s - W_r} * 100$$

ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

- Botas punta de acero
- Gafas de seguridad
- Guantes de seguridad
- Overol o bata de trabajo.

INFORME


En el informe debe presentar la siguiente información:

- Nombre del proyecto, localización, número de sondeo, apique o trinchera, número de muestra y profundidad.
- Fecha de realización del ensayo.
- Descripción y Clasificación del Suelo.
- Equipos utilizados durante el ensayo.
- Tipo de muestra (Alterada o inalterada).
- Porcentaje de Humedad Natural de la muestra.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

FORMATO TOMA DE DATOS

 UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA	FORMATO TOMA DE DATOS HUMEDAD NATURAL- INV E-122-13-LABORATORIO DE SUELOS		CODIGO																									
			EDICIÓN																									
			FECHA																									
			CSC																									
MUESTRA N°:	TIPO:	NUMERO:																										
PROFUNDIDAD (m):	ABSCISA:	TIPO DE MUESTRA:																										
FECHA:	FUENTE:	EQUIPOS:																										
LOCALIZACION:																												
DESCRIPCIÓN																												
DATOS																												
<table border="1"><thead><tr><th colspan="3">HUMEDAD NATURAL</th></tr></thead><tbody><tr><td>Muestra</td><td>N°</td><td></td></tr><tr><td>Recipiente</td><td>N°</td><td></td></tr><tr><td>Peso del Recipiente</td><td>(g)</td><td></td></tr><tr><td>Peso Recipiente + Suelo Húmedo</td><td>(g)</td><td></td></tr><tr><td>Peso Recipiente + Suelo Seco</td><td>(g)</td><td></td></tr><tr><td>Peso de Agua</td><td>(g)</td><td></td></tr><tr><td>Peso Suelo Seco</td><td>(g)</td><td></td></tr></tbody></table>					HUMEDAD NATURAL			Muestra	N°		Recipiente	N°		Peso del Recipiente	(g)		Peso Recipiente + Suelo Húmedo	(g)		Peso Recipiente + Suelo Seco	(g)		Peso de Agua	(g)		Peso Suelo Seco	(g)	
HUMEDAD NATURAL																												
Muestra	N°																											
Recipiente	N°																											
Peso del Recipiente	(g)																											
Peso Recipiente + Suelo Húmedo	(g)																											
Peso Recipiente + Suelo Seco	(g)																											
Peso de Agua	(g)																											
Peso Suelo Seco	(g)																											
OBSERVACIONES: _____ _____ _____																												
REALIZÓ		APROBÓ																										
LABORATORISTA		COORDINADOR		COPIA CONTROLADA																								
				SI																								
Bogotá, D.C. - Colombia																												



**MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE
SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO**

2.2. PROCEDIMIENTO ENSAYO DE PESO UNITARIO



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

REFERENCIAS:

ASTM D2937-71

J. Bowels. (1981), Manual De Laboratorio De Suelos En Ingeniería Civil (Pág. 211-215). (México): Mc GRAW-HILL.

J. Badillo, R. Rodríguez. (2005), Mecánica De Suelos, Tomo 1, Fundamentos De La Mecánica De Suelos (Pág. 58-61). (México): Limusa.

GENERALIDADES

El peso unitario de un suelo, se puede definir como la masa de un volumen unitario de suelo, en la cual el volumen incluye el volumen de las partículas individuales y el volumen de vacíos entre partículas, bien sea que estos vacíos estén llenos de agua para lo cual sería peso unitario saturado o que estén secos para un peso unitario seco. El valor del peso unitario del suelo además de variar por la cantidad de agua que tenga el suelo (condición seca, húmeda o saturada), también dependerá de condiciones de compactación y consolidación que este presente.

Un peso unitario saturado se define como el peso de la masa de suelo saturada por unidad de volumen, donde los vacíos están llenos de agua.

Un peso unitario húmedo se define como el peso de la masa de suelo por unidad de volumen, donde los vacíos del suelo contienen tanta agua como aire.

Un peso unitario seco se define como el peso de la masa de suelo seco por unidad de volumen, donde los vacíos no contienen agua.

La determinación del peso unitario de los suelos se puede llevar a cabo tanto en laboratorio como en campo, y existen varios métodos para cada una de estas opciones. El presente manual se ocupa de describir algunos de los procedimientos que se llevan a cabo en el laboratorio para determinar esta propiedad, siendo el primero de ellos el método de labrado de una figura geométrica regular y el segundo el método de inmersión de agua con parafina.

Los procedimientos que el presente manual se describen solo son aplicables para suelos cohesivos sin grietas considerables.

OBJETIVO



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

Este método de ensayo tiene como propósito obtener datos por medio de los cuales se puedan determinar el peso unitario del suelo, el cual será usado como insumo en cálculos posteriores para la determinación de diferentes propiedades del suelo.

EQUIPO

Método de labrado de figura geométrica regular

- Labrador de muestras: equipo para dar a la muestra una forma regular, normalmente cilíndrica. Debe garantizar la sujeción de la muestra y su cuchilla o hilo debe tener suficiente filo para dejar las superficies lo menor terminadas posible.
- Calibrador pie de rey: teniendo en cuenta que el ensayo depende en gran medida de la exactitud del volumen que se calcule, las dimensiones de diámetro y altura de deben tomar con la mayor precisión posible. Se recomienda que el calibrador de medidas por celda digital, para evitar errores del operario.
- Horno de secado: con capacidad para mantener temperaturas constantes de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Balanza de precisión: con precisión de 0,01 g, previamente calibrada
- Cuchillo y herramientas misceláneas que se puedan necesitar.

Método de inmersión en agua usando parafina

- Cuchillo para labrare hilo delgado
- Balanza de precisión: con precisión de 0,01 g, previamente calibrada
- Parafina diluida. Se debe conocer su densidad.
- Estufa
- Vaso volumétrico

OTROS FACTORES

- Temperatura: para mantener inalterada la humedad de la muestra los sitios en donde se realizan los ensayos no deben tener variaciones de temperatura mayores a $\pm 4^{\circ}\text{C}$, ni tampoco tener un contacto directo con la luz solar.
- Muestreo y Almacenamiento: El muestreo de un suelo es la etapa previa al análisis y determinación de propiedades. Es probablemente la fase más importante para la obtención de datos analíticos que puedan considerarse seguros y poder hacer un dictamen verídico sobre el suelo en análisis.
- Su almacenamiento debe garantizar que la muestra conserve su humedad natural y que no se presentes eventos de cambios de volumen en el mismo. Se debe evitar golpear las muestras y producir fisuras en las mismas



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

PROCEDIMIENTO

Método de labrado de figura geométrica regular

- De la muestra en campo, que debe ser inalterada y extraída por shelby, se corta la muestra con una geometría aproximada de 5x5x11 cm.
- Una vez se tenga la condición anterior, se lleva la muestra al aparato labrador se lleva está a una forma cilíndrica cuyo diámetro sea de 36mm.
- Cortar los extremos de la muestra en dirección perpendicular con la mayor exactitud posible. Se recomienda que la altura de la muestra sea de 10 cm.
- Se procede a realizar las medidas de la muestra, correspondientes a diámetro y altura. Se recomienda realizar 3 medidas de diámetro: una superior, una central y por ultimo una superior.
- Por último se lleva la muestra a la balanza y se determina su peso.
- Si el material resultado del labrado es suficiente, se puede recoger para determinar contenido de humedad.

Método de inmersión en agua usando parafina

- Remoldear la muestra hasta obtener un cubo de lado en 3,0 y 4,0 cm .
- Llevar a la balanza la muestra remoldeada y registrar su peso.
- Llevando la parafina a un frasco resistente a altas temperaturas, es una estufa diluirla hasta que está presente un estado totalmente fluido.
- La muestra se debe amarrar con un cordón o hilo y se sumerge en el frasco con parafina. El baño por inmersión debe cuidar que la capa sea delgada y uniforme.
- Una vez se haya enfriado y secado la parafina, se lleva la muestra de nuevo a la balanza y se registra su peso, todo esto sin retirar el amarre con el hilo que se ha hecho previamente.
- Poner agua en el vaso con división milimétrica, anotar su volumen inicial y sumergir en el mismo la muestra parafinada. Anotar el volumen que registra el vaso una vez la muestra se haya introducido en el mismo.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

CÁLCULOS:

Método de labrado de figura geométrica regular

- Área:

$$A_p = \frac{A_s + 4A_c + A_i}{6}$$

Donde:

A_s : área determinada con diámetro superior.

A_c : área determinada con diámetro central.

A_i : área determinada con diámetro inferior.

A_p : área promedio.

- Volumen:

$$V = A_p * H_m$$

Donde:

V : volumen de la muestra

H : altura de la muestra

A_p : área promedio

- Peso Unitario húmedo:

$$\gamma_{hum} = \frac{W_m}{V}$$

Donde:

γ_{hum} : Peso Unitario húmedo

W_m : Peso Húmedo

V : Volumen de la muestra

- Peso Seco:

$$W_{seco} = \frac{W_{hum}}{1 + w}$$

Donde:



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

Wseco: peso seco de la muestra
Whum: peso húmedo de la muestra
w: Contenido de humedad

- Peso Unitario seco:

$$\gamma_{seco} = \frac{W_{seco}}{V}$$

Donde:
 γ_{hum} : Peso Unitario seco
Wseco: Peso seco
V: Volumen de la muestra

Método de inmersión en agua usando parafina

- Volumen de la parafina :

$$V_p = \frac{P_{mp} - P_{mi}}{\rho_p}$$

Donde:
 V_p : Volumen de la parafina
 P_{mp} : peso de muestra parafinada
 P_{mi} : peso de muestra inicial
 ρ_p : densidad de la parafina

- Volumen de la muestra :

$$V_m = V_{ad} - V_p$$

Donde:
 V_m : Volumen de la muestra
 V_{ad} : Volumen de agua desalojada
 V_p : Volumen de la parafina

- Peso Unitario húmedo:

$$\gamma_{hum} = \frac{W_m}{V_m}$$

Donde:
 γ_{hum} : Peso Unitario húmedo
Wm: Peso Húmedo
Vm: Volumen de la muestra



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

Nota: si se desea conocer el peso unitario seco, se procede a realizar los cálculos descritos para el método de muestra de geometría regular.

ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

- Botas punta de acero
- Gafas de seguridad
- Guantes de seguridad
- Overol o bata de trabajo.

INFORME

En el informe debe presentar la siguiente información:

- Nombre del proyecto, localización, número de sondeo, apique o trinchera, número de muestra y profundidad.
- Descripción y Clasificación del Suelo
- Contenido de Humedad inicial
- Equipos utilizados durante el ensayo.
- Condición de ensayo (saturado o humedad natural)
- Tipo de muestra (inalterada, remoldeada ó compactada)
- Valor de peso unitario húmedo y seco.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

FORMATO TOMA DE DATOS

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA		PESO UNITARIO SUELTO - LABORATORIO DE SUELOS		CODIGO																						
				EDICIÓN																						
				FECHA																						
				CSC																						
MUESTRA N°:	TIPO:	NUMERO:																								
PROFUNDIDAD (m):	ABSCISA:	EQUIPOS:																								
FECHA:	FUENTE:																									
LOCALIZACION:																										
DESCRIPCIÓN																										
DATOS INICIALES																										
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3">PESO UNITARIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="width: 30%;">Molde</td> <td style="width: 15%;">N°</td> <td style="width: 55%;"></td> </tr> <tr> <td>Peso del Molde</td> <td>(g)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Altura del Molde</td> <td>(cm)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Diametro del Molde</td> <td>(cm)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso Recipiente + Material Húmedo</td> <td>(g)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso Recipiente + Material Seco</td> <td>(g)</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						PESO UNITARIO			Molde	N°		Peso del Molde	(g)		Altura del Molde	(cm)		Diametro del Molde	(cm)		Peso Recipiente + Material Húmedo	(g)		Peso Recipiente + Material Seco	(g)	
PESO UNITARIO																										
Molde	N°																									
Peso del Molde	(g)																									
Altura del Molde	(cm)																									
Diametro del Molde	(cm)																									
Peso Recipiente + Material Húmedo	(g)																									
Peso Recipiente + Material Seco	(g)																									
OBSERVACIONES: _____																										

REALIZÓ		APROBÓ		COPIA CONTROLADA SI																						
LABORATORISTA		COORDINADOR																								
Bogotá, D.C. - Colombia																										



**MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE
SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO**

2.3. PROCEDIMIENTO ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO Y LIMITE PLÁSTICO



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

LÍMITE LÍQUIDO

REFERENCIAS:

I.N.V. E – 125 – 13

AASHTO T 89-02

ASTM D 4318- 00

J. Bowles. (1981), Manual De Laboratorio De Suelos En Ingeniería Civil (Pág. 15-24). (México): Mc GRAW-HILL.

J. Badillo, R. Rodríguez. (2005), Mecánica De Suelos, Tomo 1, Fundamentos De La Mecánica De Suelos (Pág. 129-145). (México): Limusa.

GENERALIDADES

Albert Mauritz Atterberg definió los límites de consistencia de los suelos finos, con el fin de caracterizar su comportamiento. Estos límites son: Límite de Cohesión, Límite de Pegajosidad, Límite de Contracción, Límite Plástico y Límite Líquido.

El Límite Líquido se define como el porcentaje de humedad del suelo, por debajo del cual se presenta un comportamiento plástico. Cuando los suelos alcanzan porcentajes de humedad mayores al límite líquido, su comportamiento será el de un fluido viscoso.

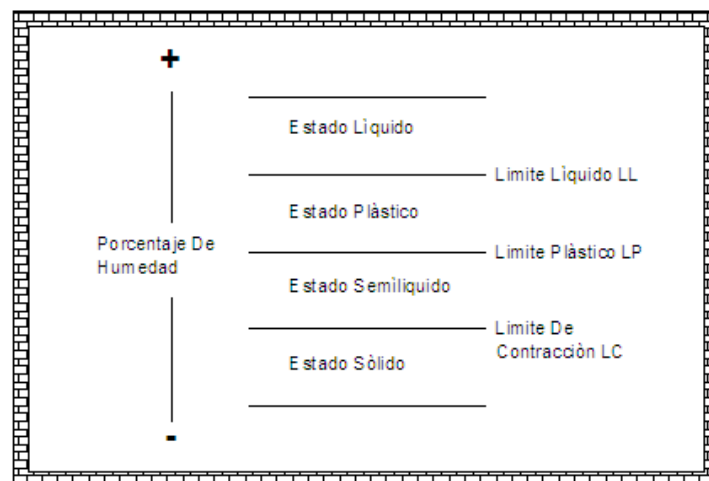


Figura 2 Estados del Suelo. Límites de Plasticidad.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

Este límite además de ser un parámetro esencial para la clasificación de los suelos, puede ser útil para determinar problemas de potencial de volumen, para estimar asentamientos en problemas de consolidación y en conjunto con el Límite plástico para predecir la máxima densidad en estudios de compactación.

En la determinación de correlaciones de los suelos como la compresibilidad, permeabilidad y compactabilidad, es usado el límite líquido en conjunto con el límite plástico y el índice de plasticidad.

OBJETIVO

Este método de ensayo tiene como propósito obtener datos por medio de los cuales se puedan determinar las siguientes constantes de los suelos:

- Límite Líquido.
- Índice de Flujo.
- Primer parámetro para determinar Índice de Plasticidad.

EQUIPO

- Aparato de Casa Grande: la cuchara o cazuela de Casa Grande es el aparato usado en ingeniería civil y geotecnia, para determinar el límite líquido de los suelos. Compuesto por una cazuela normalmente de bronce, la cual esta fija a un dispositivo de rotación por manivela, que permite la elevación y la caída (10mm) de la cazuela produciendo un golpe de rebote contra la base del aparato.
- Ranurador: es un elemento clave en la realización del ensayo. Normalmente hecho de acero inoxidable y de forma plana o curva, con el cual se realiza la ranura en el material de ensayo. Puede hacer parte de este un bloque de acero de dimensiones exactas y con el cual se realiza la verificación de la altura de caída de la cazuela.
- Balanza: debe trabajar con aproximación de 0,1 g o 0,1 % del peso de la muestra.
- Horno: debe trabajar y mantener una temperatura de $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Tamiz N° 40 (425 μm).



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

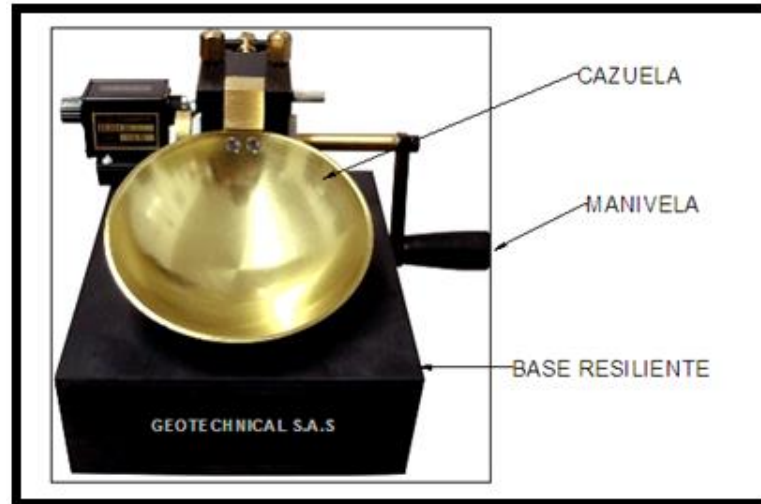


Imagen 3 Cazuela o Aparato de Casa Grande

- Recipientes: todos los necesarios para determinar el contenido de humedad y cuyas características cumplan lo estipulado por la INV. E-125.
- Espátula: Debe ser de hoja flexible con una longitud que oscile entre 75-100 mm y un ancho de 20 mm.
- Placa de vidrio esmerilado: Debe ser lo suficientemente grande para trabajar con comodidad el material y maniobrar sin problema la espátula.



Imagen 4 Equipo de Laboratorio para Ensayo



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

MUESTRA

Las muestras de donde se tome el material de ensayo, deben ser muestras representativas y su humedad natural se debe mantener hasta el momento inmediatamente anterior al ensayo. Teniendo en cuenta la Norma INV E-106-13 Y 107-13 para la determinación de Limite Liquido se requiere material que pase el tamiz N°40 (425 μ m) en una cantidad de por lo menos 150 g.

AJUSTE DEL APARATO DE ENSAYO

Periódicamente es necesario realizar una inspección de las condiciones del aparato de ensayo, para garantizar que los datos obtenidos a través de su operación sean confiables. Se debe tener en cuenta:

- Que las partes de conexión del aparato no presenten corrosión u oxidación.
- Que la cazuela y la base no presenten deformaciones ni desgaste excesivo.
- Que la altura de caída libre de la cazuela este dentro del rango de 10 ± 2 mm.
- Inspeccionar que el ranurador no tenga deformaciones y así garantizar un corte preciso.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

El ensayo se realizara por el método de preparación de vía húmeda, siguiendo los siguientes pasos:

- Por medio de métodos visuales y manuales se debe garantizar que el material no contenga granos que sean retenidos por el tamiz N°40 (425 μ m). Una vez se esté seguro de la situación anterior, con ayuda de agua destilada y una espátula se prepara el material variando su humedad de manera que se requieran golpes en el rango de 15-35 para cerrar su ranura.

Nota_ En caso que el material contenga un porcentaje importante de partículas mayores a 425 μ m se debe secar el material al aire y realizar el tamizado correspondiente.

- Una vez realizada la mezcla del material, verificar de nuevo la no existencia de material con diámetro mayor a 425 μ m. De encontrar la existencia de este, remover las partículas manualmente cuando esto sea posible. De no ser posible realizar este procedimiento manualmente, se procede de la siguiente manera:



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

- Se cubre el material con agua dentro de un recipiente con el fin de eliminar terrones y evitar que partículas finas se adhieran a partículas gruesas.
- Verter el material sobre un tamiz N°40 que descansa sobre un recipiente limpio, y con suficiente agua y creando remolinos manualmente, se deben lavar las partículas de grava y arena retenidas en el tamiz N° 40 para luego retirarlas.
- El material que pasa por el tamiz N° 40 debe llevarse a un proceso de reducción de humedad, hasta llegar al valor necesario para obtener el cerramiento de la abertura en un intervalo de 15-35 golpes.

PROCEDIMIENTO

- Una vez se haya preparado el material, se coloca una parte de este en la cazuela y se comprime y extiende sobre la misma, procurando no dejar burbujas de aire y que su máximo valor de profundidad sea aprox. 10 mm.
- Haciendo una pasada de arriba hacia abajo y manteniendo el ranurador normal a la superficie de la cazuela, se realiza la ranura lo más uniforme posible.

Nota_ Cuando se cuente con suelos que presenten agrietamiento y desquebrajamiento en el momento de pasar el ranurador, se debe hacer la ranura en etapas y con fuerza normal menor.

- Se acciona la cazuela a una razón de aprox. 2 golpes por segundo, contando el número de golpes necesario hasta que el talud de la ranura se cierre a lo largo de 13mm. La ranura debe cerrarse por flujo del suelo, mas no por el desplazamiento del suelo sobre la cazuela.



Imagen 6 Muestra antes de accionar la cazuela



Imagen 5 Muestra después de accionar la cazuela



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

- Se extrae una parte del suelo presente en la cazuela, asegurándose que sea de lado y lado de la ranura y se coloca en un recipiente de masa conocida y se tapa.
- El suelo sobrante se pasa a la zona de mezclado y con ayuda agua destilado se varía la humedad de este según se necesite aumentar o disminuir el número de golpes.
- Se lava y se limpia tanto el ranurador como la cazuela y se realizan dos tanteos más.
- Es necesario que los datos de golpes estén comprendidos en los siguientes intervalos. 25-35, 20-30, 15-25.



Imagen 7 Recolección de Muestra para determinar Porcentaje de Humedad

- Se registra el valor del peso de recipiente más la porción de suelo. Se somete a secado en el horno a una temperatura de ± 110 °C y una vez se obtengan valores de masa constante se registra el peso de suelo seco mas recipiente.

CÁLCULOS

- Contenido de Humedad de cada una de las muestras tomadas

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_s} * 100$$



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

Donde:

w: Contenido de Humedad

Ww: Peso de agua presente en la masa de suelo

Ws: Peso seco de los solidos

- Curva de Fluidez. Contenido de Humedad vs Número de Golpes

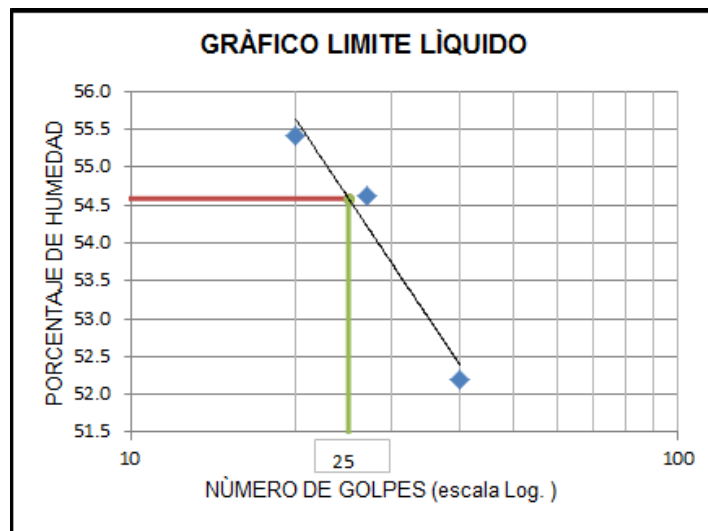


Figura 3 Grafico para determinar el Limite Liquido

- Limite Líquido

Se determina el Limite Liquido como el Contenido de Humedad en Porcentaje correspondiente al corte de la línea de tendencia en los 25 golpes.

ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

- Botas punta de acero
- Gafas de seguridad
- Guantes de seguridad
- Overol o bata de trabajo.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

LÍMITE PLÁSTICO

REFERENCIAS:

I.N.V. E – 126 – 13

AASHTO T 90-00 (2004)

ASTM D 4318-00

J. Bowles. (1981), Manual De Laboratorio De Suelos En Ingeniería Civil (Pág. 24-27). (México): Mc GRAW-HILL.

J. Badillo, R. Rodríguez. (2005), Mecánica De Suelos, Tomo 1, Fundamentos De La Mecánica De Suelos (Pág. 129-145). (México): Limusa.

GENERALIDADES

El límite plástico fue definido por Atterberg como la frontera que existe entre los estados plástico y semisólido del suelo. En términos de laboratorio este límite es definido como el momento en términos de contenido de humedad, en que rollitos de aproximadamente 3 mm de diámetro empiezan a presentar desmoronamiento y agrietamiento. Es importante resaltar que el diámetro de los rollitos fue propuesto por Terzaghi, dado que Atterberg nunca especifico este parámetro.

El índice de plasticidad es la diferencia entre los valores de Limite Líquido y Limite Plástico. Un Índice de plasticidad bajo, significa que un pequeño incremento en el contenido de humedad del suelo, lo transforma de semisólido a la condición de líquido, es decir resulta muy sensible a los cambios de humedad. Por el contrario, un índice de plasticidad alto, indica que para que un suelo pase del estado semisólido al líquido, se le debe agregar gran cantidad de agua.

OBJETIVO

Este método de ensayo tiene como propósito obtener datos por medio de los cuales se puedan determinar las siguientes constantes de los suelos:

- Limite Plástico.
- Índice de Plasticidad.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

EQUIPO

- Placa de vidrio esmerilado: debe ser lo suficientemente grande para realizar sin problema los rollos de suelo.



EQUIPO LIMITE PLÁSTICO	
1	Tamiz N° 40 (425 µm)
2	Balanza
3	Capsula de Humedad
4	Capsula Evaporación
5	Frasco de Agua
6	Calibrador
7	Espatula

Imagen 8 Equipo para Limite Plástico

- Espátula: debe ser de hoja flexible con una longitud que oscile entre 75-100 mm y un ancho de 20 mm.
- Capsula para Evaporación: preferiblemente de porcelana.
- Capsulas para determinar el contenido de humedad
- Balanza: debe trabajar con aproximación de 0,01 g
- Horno: debe trabajar y mantener una temperatura de $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Calibrador : debe trabajar con aproximación de 0,1 cm

MUESTRA

Las muestras de donde se tome el material de ensayo, deben ser muestras representativas y su humedad natural se debe mantener hasta el momento inmediatamente anterior al ensayo. Teniendo en cuenta la Norma INV E-106-13 Y 107-13 para la determinación de Limite Liquido se requiere material que pase el tamiz N°40 (425 µm) en una cantidad de por lo menos 15 g.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Del suelo preparado para la realización del ensayo del límite líquido se toma una porción de mínimo 15 g. A continuación se lleva su estado de humedad hasta que el material permita formar rollos y el mismo no se pegue al ser manipulado con las manos. La reducción de humedad, se puede realizar por moldeo con espátula o exponiendo la muestra a corrientes de aire.

PROCEDIMIENTO

- Se selecciona una porción de aproximadamente 1,5 – 2,0 g, de la muestra previamente preparada.
- Se hace rodar la porción de muestra entre la palma de la mano o los dedos y la placa de vidrio esmerilado, aplicando una presión constante y no superior a la necesaria para formar rollos.
- Se debe formar un rollo de diámetro uniforme en la totalidad de la longitud, hasta que este alcance un diámetro de aproximadamente 3,2 mm.

Nota_ La velocidad de la operación debe oscilar entre 60 y 90 ciclos por minuto. Un ciclo se refiere al recorrido de la mano hacia adelante y hacia atrás. Esta operación se debe realizar en un tiempo no mayor a dos minutos.



Imagen 9 Diámetro Requerido del Rollo de Suelo.

- Si al alcanzar este diámetro el rollo no presenta agrietamiento y desmoronamiento, se tiene un material con humedad superior a su límite plástico. En tal caso se junta de nuevo todo el material formando una esfera, manipulándola con las manos, produciendo así su pérdida de humedad.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

- Se repiten los pasos anteriores hasta lograr que una vez el material alcance el diámetro de 3,2 mm, se produzca un agrietamiento y desmoronamiento del mismo.
- Se colocan en un recipiente de masa conocida y se registra el peso de muestra más recipiente.

Nota_ Se deben poner dentro del recipiente por lo menos 6 g de muestra.



Imagen 10 Peso de Muestra de Suelo más Recipiente.

CÁLCULOS

- Contenido de Humedad de cada una de las muestras tomadas.

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

Donde:

W= Contenido de Humedad

W_w: Peso de agua presente en la masa de suelo

W_s: Peso seco de los sólidos

- Limite Plástico

$$LP = \frac{W_1 + W_2 + \dots \dots W_n}{n}$$



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

Donde:

LP= Limite Plástico

W: Humedad Natural

n: Número de puntos de humedad tomados

- Índice de Plasticidad

$$IP = LL - LP$$

Donde:

IP= Índice de Plasticidad

LL= Limite Liquido

LP= Límite Plástico

ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

- Botas punta de acero
- Gafas de seguridad
- Guantes de seguridad
- Overol o bata de trabajo.

INFORME

En el informe debe presentar la siguiente información:

- Nombre del proyecto, localización, número de sondeo, apique o trinchera, número de muestra y profundidad.
- Descripción y Clasificación del Suelo.
- Equipos utilizados durante el ensayo.
- Método utilizado (muestra húmeda o secada al horno).
- Los valores de cada una de las variables descritas en el procedimiento.
- Valor de Limite Líquido.
- Valor de Limite Plástico.
- Valor de índice de Plasticidad.
- Valor Índice de Consistencia, Liquidez, Flujo y Dureza.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

FORMATO TOMA DE DATOS

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA		FORMATO DE LIMITES DE CONSISTENCIA- LIMITE LIQUIDO- LIMITE PLASTICO- INV E-125,126-13- LABORATORIO DE SUELOS			CODIGO <input type="text"/>																																																																												
					EDICIÓN <input type="text"/>																																																																												
					FECHA <input type="text"/>																																																																												
					CSC <input type="text"/>																																																																												
MUESTRA Nº: PROFUNDIDAD (m): FECHA: LOCALIZACIÓN: DESCRIPCIÓN	TIPO: ABSCISA: FUENTE:	NUMERO: TIPO DE MUESTRA: EQUIPOS:																																																																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4">LIMITE PLÁSTICO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Muestra</td> <td>Nº</td> <td>1</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Recipiente</td> <td>Nº</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso del Recipiente</td> <td>(g)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso Recipiente + Suelo Húmedo</td> <td>(g)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso Recipiente + Suelo Seco</td> <td>(g)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de Agua</td> <td>(g)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso Suelo Seco</td> <td>(g)</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		LIMITE PLÁSTICO				Muestra	Nº	1	2	Recipiente	Nº			Peso del Recipiente	(g)			Peso Recipiente + Suelo Húmedo	(g)			Peso Recipiente + Suelo Seco	(g)			Peso de Agua	(g)			Peso Suelo Seco	(g)			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="5">LIMITE LÍQUIDO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Muestra</td> <td>Nº</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Golpes</td> <td>Nº</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Recipiente</td> <td>Nº</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso del Recipiente</td> <td>(g)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso Recipiente + Suelo Húmedo</td> <td>(g)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso Recipiente + Suelo Seco</td> <td>(g)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de Agua</td> <td>(g)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso Suelo Seco</td> <td>(g)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			LIMITE LÍQUIDO					Muestra	Nº	1	2	3	Golpes	Nº				Recipiente	Nº				Peso del Recipiente	(g)				Peso Recipiente + Suelo Húmedo	(g)				Peso Recipiente + Suelo Seco	(g)				Peso de Agua	(g)				Peso Suelo Seco	(g)			
LIMITE PLÁSTICO																																																																																	
Muestra	Nº	1	2																																																																														
Recipiente	Nº																																																																																
Peso del Recipiente	(g)																																																																																
Peso Recipiente + Suelo Húmedo	(g)																																																																																
Peso Recipiente + Suelo Seco	(g)																																																																																
Peso de Agua	(g)																																																																																
Peso Suelo Seco	(g)																																																																																
LIMITE LÍQUIDO																																																																																	
Muestra	Nº	1	2	3																																																																													
Golpes	Nº																																																																																
Recipiente	Nº																																																																																
Peso del Recipiente	(g)																																																																																
Peso Recipiente + Suelo Húmedo	(g)																																																																																
Peso Recipiente + Suelo Seco	(g)																																																																																
Peso de Agua	(g)																																																																																
Peso Suelo Seco	(g)																																																																																
OBSERVACIONES: _____ _____ _____ _____																																																																																	
REALIZÓ LABORATORISTA		APROBÓ COORDINADOR		COPIA CONTROLADA	SI																																																																												
<input type="text"/>		<input type="text"/>																																																																															
Bogotá, D.C. - Colombia																																																																																	



**MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE
SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO**

2.4. PROCEDIMIENTO ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

REFERENCIAS:

I.N.V. E – 123 – 13

ASTM D 422-63

AASHTO T 88 00 (2004)

J. Bowles. (1981), Manual De Laboratorio De Suelos En Ingeniería Civil (Pág. 35-47). (México): Mc GRAW-HILL.

J. Badillo, R. Rodríguez. (2005), Mecánica De Suelos, Tomo 1, Fundamentos De La Mecánica De Suelos (Pág. 97-121). (México): Limusa.

GENERALIDADES

El análisis granulométrico consiste en la separación de las partículas de suelo por rangos de tamaños, haciendo uso de mallas o tamices con aberturas cuadradas. Mediante procesos de agitado se lleva a cabo la separación de las partículas en porciones, las cuales se pesan expresando dicho retenido como porcentajes en peso de la muestra total y aunque se considera físicamente imposible determinar el tamaño exacto de cada partícula, la prueba de granulometría si permite agruparlas por rangos de tamaño. Universalmente se ha establecido la malla No. 200 (0,075mm) como medida divisoria en la clasificación de suelos; finos y gruesos. Finalmente a través de una curva de distribución, donde el eje de la abscisa corresponde al diámetro de las partículas y el eje de las coordenadas corresponde al porcentaje retenido, se muestra con un alto porcentaje de aproximación a lo real, la variedad de tamaños de partículas que componen el suelo en estudio. Se considera que una gráfica con las características de la Figura 4.a presenta homogeneidad, lo que en términos de geotecnia y comportamiento ingenieril no es bueno y que una gráfica con las características de la Figura 4 .b presenta heterogeneidad en sus partículas, lo que se considera favorable en términos geotécnicos.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

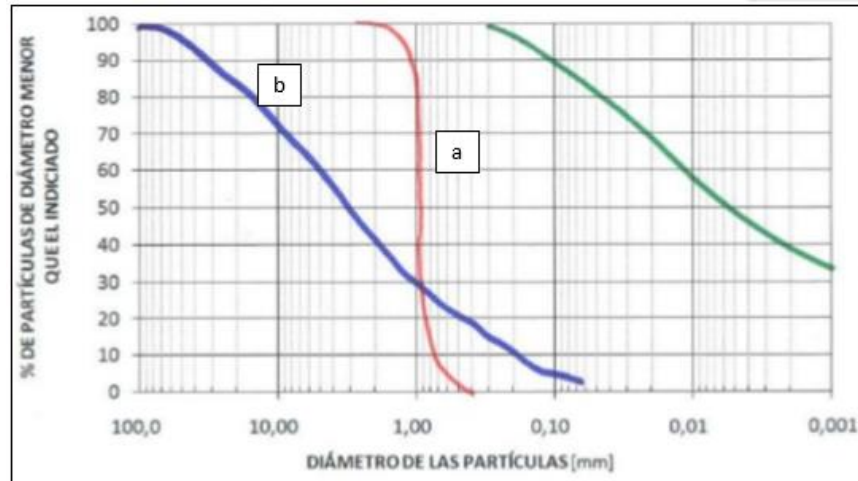


Figura 4 Grafica de Análisis Granulométrico

Dentro de los procesos de análisis y clasificación de suelos en proyectos de ingeniería como carreteras, estabilidad de taludes, diques, aeropistas, túneles, es de gran importancia los procesos de análisis granulométrico que se efectúan a los suelos.

Juárez Badillo- Rico Rodríguez (2005) expone en su libro Mecánica de Suelos que “el comportamiento mecánico e hidráulico esta principalmente definido por la compacidad de los granos y su orientación, características que destruye, por la misma manera de realizarse, la prueba de granulometría, de modo que en sus resultados finales se ha tenido que perder toda huella de aquellas propiedades tan decisivas. De esto se desprende lo muy deseable que sería poder hacer una investigación granulométrica con un método tal que respetara la estructuración inalterada del material; este método, sin embargo, hasta hoy no se ha encontrado y todo parece indicar que no se podrá desarrollar jamás”.

OBJETIVO

Este método de ensayo tiene como propósito obtener datos por medio de los cuales se puedan determinar las siguientes constantes de los suelos:

- Coeficiente de uniformidad
- Coeficiente de curvatura
- Porcentaje de gravas
- Porcentaje de arenas
- Porcentaje de finos
- Clasificación del suelos según el SUCS
- Curva granulométrica



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

EQUIPO

- Juego de tamices: se establecen como necesarios los tamices referenciados en la Tabla 3 con el fin de lograr puntos clave en la realización de la curva granulométrica.

Nota_ es necesario que el juego de tamices cuente con fondo y tapa superior. Estos deben estar en buenas condiciones y libres de golpes en sus bordes que hagan que su unión y separación con los tamices se produzca por movimientos bruscos; esto con el fin de evitar caídas inesperadas de material.

- Aparato agitador: un agitador mecánico que permita realizar el proceso de tamizado.

Nota: en caso de no contar con agitador, el proceso se puede realizar manualmente, cuidando que se produzca escape de material debido a los movimientos efectuados por el operador. Los intervalos de agitado deben durar lo suficiente, asegurando así que las mallas permitan el paso de todas las partículas menores a su tamaño de orificio.

- Horno de secado: con capacidad para mantener temperaturas constantes de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
- Recipientes de muestreo: los recipientes deben tener características especiales como son: su material preferiblemente aluminio, que soporte altas temperaturas y sea resistente a la corrosión por el contacto con la humedad de las muestras. Deben estar marcados con un código que facilite su identificación.

TAMZ	DIÁMETRO (mm)	TAMZ	DIÁMETRO (mm)
3"	76.20	10	2.000
2½"	63.50	20	0.840
2"	50.80	40	0.420
1½"	38.10	50	0.297
1"	25.40	60	0.250
¾ "	19.05	70	0.210
½ "	12.70	80	0.180
3/8 "	9.53	100	0.149
No. 4	4.750	200	0.075

Tabla 3 Serie de tamices para análisis granulométrico

- Balanza #1: con precisión de 0,01 g, previamente calibrada.
- Balanza #2: con precisión de 0,1 g , previamente calibrada.
- Cepillo de alambre
- Brocha de pelo delgado



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

MUESTRA

Los procedimientos de tamizado se llevaran a cabo en dos muestras por separado. Una aquella retenida por tamiz No. 10 (2mm) y una segunda que sea pasa tamiz No. 10 (2mm). Las masas que recomienda la literatura para cada una de las muestras son las siguientes:

- Para muestras pasa tamiz N10. Se recomiendan muestras de 100-150 g.
- Para muestras retenidas en tamiz N10. Se determinaran masas en función del diámetro máximo de sus partículas, y las cuales van de 500 g a 5000 g.

Nota _el caso de 500 gr el diámetro máximo será de aprox. 10 mm y para el caso de 5000 g el diámetro máximo será de aprox. 75mm. Se recomienda en base a esto hacer una interpolación para definir la masa necesaria para diámetros máximos intermedios.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- Temperatura: para mantener inalterada la humedad de la muestra los sitios en donde se realizan los ensayos no deben tener variaciones de temperatura mayores a $\pm 4^{\circ}\text{C}$, ni tampoco tener un contacto directo con la luz solar.
- Muestreo y Almacenamiento: El muestreo de un suelo es la etapa previa al análisis y determinación de propiedades. Es probablemente la fase más importante para la obtención de datos analíticos que puedan considerarse seguros y poder hacer un dictamen verídico sobre el suelo en análisis.

La preparación de la muestra se llevara a cabo por el método de cuarteo y una vez sea este realizado se procederá a separar la muestra en finos y gruesos por medio del método de lavado.

La norma INV-123-13 propone llevar una pequeña porción al horno y una vez seco, se romperá un pequeño terrón aplicando fuerza con los dedos. Si en el proceso de desmoronamiento se observa con claridad que los finos se pulverizan, no habrá necesidad de hacer lavado.

El proceso de lavado consiste en llevar el material sobre la malla No. 200 (0,075mm) y sometiéndola a corrientes continuas de aguas mientras esta es movida de un lado a otro con la mano. En el momento en que el agua que sale por la parte inferior del tamiz sea totalmente clara, la muestra se llevara al horno y luego se dejara secar a temperatura ambiente.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO



Imagen 11 Preparación de la muestra

PROCEDIMIENTO

a. Suelo retenido en el tamiz No. 10 (2mm)

- Se prepara la serie de tamices a utilizar. Teniendo en cuenta la Tabla 3, se tomaran los tamices desde el No. 10 hasta el tamiz de 3".
- El material que ha sido definido y preparado para realizar el ensayo se depositó desde la parte alta de la torre de tamices y se ajusta la tapa superior.



Imagen 12 Proceso de Tamizado



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

- Bien sea de manera mecánica o de manera manual se lleva a cabo el proceso de tamizado. Si el proceso de tamizado es manual, se recomienda realizar movimientos que produzcan la suficiente vibración y el desplazamiento de las partículas de un lugar a otro a través de las mallas de los tamices.

Nota_ el paso de cada una de las partículas de suelo por los orificios del tamiz, se debe dar libremente y en ningún momento el operador debe forzar las partículas a pasar cualquiera de las mallas de tamiz.

- Con ayuda de recipientes para medición y de una balanza de precisión 0,01 g se procederá realizar las pesadas de los materiales retenidos en cada malla.



Imagen 13 Peso de porcentaje retenido

- Esta operación se realizara desmontando primero los tamices de mayor diámetro, depositando su contenido en recipientes puestos sobre la balanza y registrando el peso del material.

b. Suelo pasa tamiz No. 10 (2mm)

Según la norma INV-123 las proporciones para suelos típicamente arenosos deben ser mayor en una proporción de 100% con respecto a suelos típicamente arcillosos o limosos.

- En un recipiente cilíndrico de capacidad conocida, se agregan aproximadamente 250 ml de agua y se mezcla el suelo en el mismo. Adicionalmente se puede agregar 125 ml de hexametáfosfato el cual actuara como agente dispersante.

Nota_ los recipientes a usar deben ser preferiblemente de aluminio o porcelana, pues en una etapa posterior serán puestos en el horno para llevar a cabo el proceso de secado.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

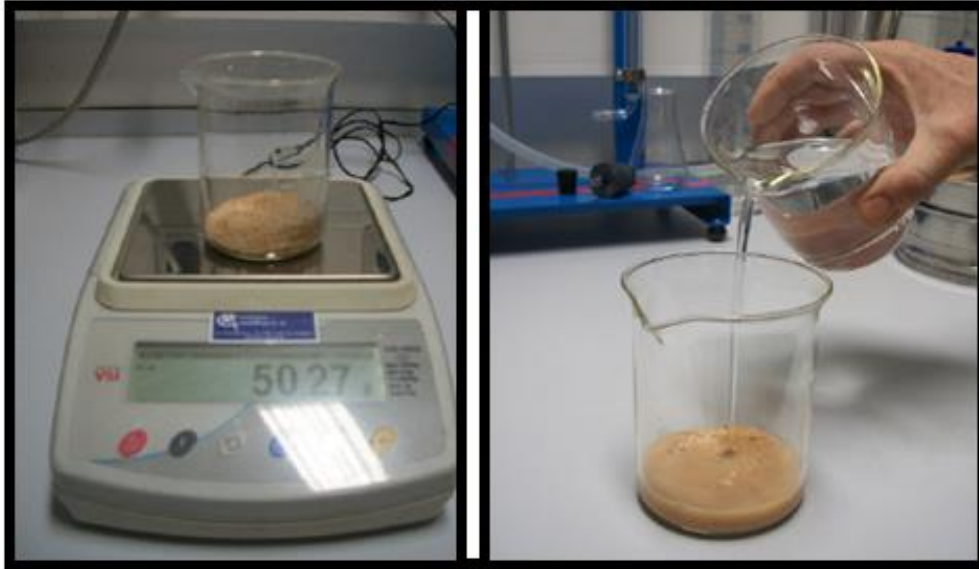


Imagen 14 Mezcla de suelo con agua y hexametáfosfato

- Una vez se produzca la mezcla y se esté seguro de que se presente humedecimiento superficial de las partículas, se dejara reposar la mezcla por un periodo de 12 horas como mínimo.
- Terminado el periodo de saturación, se debe depositar la mezcla sobre el tamiz No. 200, realizando el proceso de lavado que se explicó en el procedimiento a.



Imagen 15 Lavado sobre tamiz N.200



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

- Una vez se haya logrado el lavado de la muestra, esta se deposita en un nuevo recipiente. Se presentara adherencia de las partículas a la malla del tamiz, por lo cual se debe hacer uso de agua destilada para asegurarse del traspaso de la totalidad de la muestra.
- La muestra se lleva al horno para secado a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5$, hasta lograr una masa constante. Posteriormente se dejara secar a temperatura ambiente o de contar con un desecador, se introducirá el recipiente con la mezcla allí.
- Una vez se encuentra el material a temperatura ambiente, se preparara la serie de tamices desde el No. 20 hasta el No. 200 y se dispone por la parte superior.
- Bien sea de manera mecánica o de manera manual se lleva a cabo el proceso de tamizado. Si el proceso de tamizado es manual, se recomienda realizar movimientos que produzcan la suficiente vibración y el desplazamiento de las partículas de un lugar a otro a través de las mallas de los tamices.

Nota: el paso de cada una de las partículas de suelo por los orificios del tamiz, se debe dar libremente y en ningún momento el operador debe forzar las partículas a pasar cualquiera de las mallas de tamiz. De ser necesario utilizar el cepillo, esta operación se debe realizar desde la parte exterior de la malla, con el fin de devolver la partícula, mas no obligarla a pasar.

- Con ayuda de recipientes para medición y de una balanza de precisión 0,01 g se procederá realizar las pesadas de los materiales retenidos en cada malla.
- Esta operación se realizara desmontando primero los tamices de mayor diámetro, depositando su contenido en recipientes puestos sobre la balanza y registrando el peso del material.

CÁLCULOS

- Porcentaje Retenido:

$$\% \text{ Retenido} = \frac{M_r}{M_T} * 100$$

Donde:

M_r : Masa retenida en el tamiz

M_T : Masa total

- Porcentaje Retenido Acomulado:

$$\% \text{ Retenido Acomulado} = \text{Suma de porcentajes mayores o iguales}$$



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

- Porcentaje que Pasa:

$$\% \text{ que Pasa} = 100 - \% \text{ retenido acumulado}$$

- Coeficiente de Uniformidad:

$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Donde:

D_{60} : Tamaños de las partículas del suelo en milímetros, que en la gráfica de la composición granulométrica corresponden al 60 %.

D_{10} : Tamaños de las partículas del suelo en milímetros, que en la gráfica de la composición granulométrica corresponden al 10 %.

- Coeficiente de Curvatura:

$$C_U = \frac{(D_{30})^2}{(D_{10} * D_{60})}$$

Donde:

D_{60} : Tamaños de las partículas del suelo en milímetros, que en la gráfica de la composición granulométrica corresponden al 60 %.

D_{10} : Tamaños de las partículas del suelo en milímetros, que en la gráfica de la composición granulométrica corresponden al 10 %.

D_{30} : Tamaños de las partículas del suelo en milímetros, que en la gráfica de la composición granulométrica corresponden al 30 %.

Se maneja el siguiente criterio para valores de C_u y C_c :

$C_u > 4$ y C_c entre 1 y 3	GW
$C_u > 6$ y C_c entre 1 y 3	SW
Si no cumple GP o SP	
GW	GRAVA BIEN GRADADA
SW	ARENA BIEN GRADADA
GP	GRAVA MAL GRADADA
SP	ARENA MAL GRADADA



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

- Curva Granulométrica

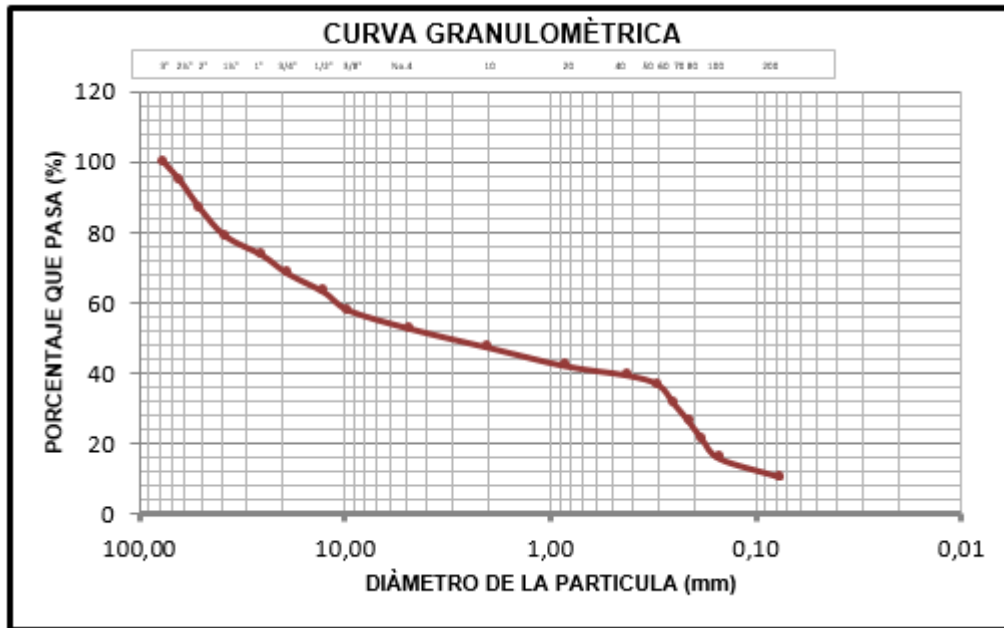


Figura 5 Curva Granulométrica

ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

- Botas punta de acero
- Gafas de seguridad
- Guantes de seguridad
- Overol o bata de trabajo.

INFORME

En el informe debe presentar la siguiente información:

- Nombre del proyecto, localización, número de sondeo, apique o trinchera, número de muestra y profundidad.
- Descripción y Clasificación del Suelo
- Equipos utilizados durante el ensayo.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

- Condición de ensayo (saturado o humedad natural)
- Peso de muestra pasa tamiz No. 200 y Peso de muestra Retenida en Tamiz No. 200
- Valores de D10, D30 y D60.
- Porcentajes de Gravas, Arenas y Finos.
- Clasificación del suelo según "SUCS".
- Curva Granulométrica.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

FORMATO TOMA DE DATOS

 UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA	FORMATO DE TOMA DE DATOS ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO -I.N.V.E-123-13- LABORATORIO DE SUELOS		CODIGO EDICIÓN FECHA CSC																																																																
	MUESTRA Nº:	TIPO:	NUMERO:																																																																
	PROFUNDIDAD (m):	ABSCISA:	TIPO DE MUESTRA:																																																																
	FECHA:	FUENTE:	EQUIPOS:																																																																
LOCALIZACIÓN:																																																																			
DESCRIPCIÓN																																																																			
Peso muestra total: _____ Peso muestra fina (pasa tamiz No. 10) antes de lavado por el tamiz # 200: _____ Peso muestra fina (pasa tamiz No. 10) después de lavado por el tamiz # 200: _____																																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">TAMIZ</th> <th style="width: 35%;">DIAMETRO (mm)</th> <th style="width: 50%;">PESO RETENIDO (g)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>3"</td><td>76,20</td><td></td></tr> <tr><td>2½"</td><td>63,50</td><td></td></tr> <tr><td>2"</td><td>50,80</td><td></td></tr> <tr><td>1½"</td><td>38,10</td><td></td></tr> <tr><td>1"</td><td>25,40</td><td></td></tr> <tr><td>¾"</td><td>19,05</td><td></td></tr> <tr><td>½"</td><td>12,70</td><td></td></tr> <tr><td>3/8"</td><td>9,53</td><td></td></tr> <tr><td>No. 4</td><td>4,750</td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td>2,000</td><td></td></tr> <tr><td>20</td><td>0,840</td><td></td></tr> <tr><td>40</td><td>0,420</td><td></td></tr> <tr><td>50</td><td>0,297</td><td></td></tr> <tr><td>60</td><td>0,250</td><td></td></tr> <tr><td>70</td><td>0,210</td><td></td></tr> <tr><td>80</td><td>0,180</td><td></td></tr> <tr><td>100</td><td>0,149</td><td></td></tr> <tr><td>200</td><td>0,075</td><td></td></tr> <tr><td>FONDO</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>TOTAL</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>					TAMIZ	DIAMETRO (mm)	PESO RETENIDO (g)	3"	76,20		2½"	63,50		2"	50,80		1½"	38,10		1"	25,40		¾"	19,05		½"	12,70		3/8"	9,53		No. 4	4,750		10	2,000		20	0,840		40	0,420		50	0,297		60	0,250		70	0,210		80	0,180		100	0,149		200	0,075		FONDO			TOTAL		
TAMIZ	DIAMETRO (mm)	PESO RETENIDO (g)																																																																	
3"	76,20																																																																		
2½"	63,50																																																																		
2"	50,80																																																																		
1½"	38,10																																																																		
1"	25,40																																																																		
¾"	19,05																																																																		
½"	12,70																																																																		
3/8"	9,53																																																																		
No. 4	4,750																																																																		
10	2,000																																																																		
20	0,840																																																																		
40	0,420																																																																		
50	0,297																																																																		
60	0,250																																																																		
70	0,210																																																																		
80	0,180																																																																		
100	0,149																																																																		
200	0,075																																																																		
FONDO																																																																			
TOTAL																																																																			
OBSERVACIONES : _____ _____ _____ _____ _____																																																																			
REALIZÓ	APROBÓ	COPIA CONTROLADA SI																																																																	
LABORATORISTA	COORDINADOR																																																																		
Bogotá, D.C. - Colombia																																																																			



**MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE
SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO**

2.5. PROCEDIMIENTO ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

REFERENCIAS:

I.N.V. E – 128 – 13

ASTM D 854-10

AASHTO T100-70

J. Bowles. (1981), Manual De Laboratorio De Suelos En Ingeniería Civil (Pág. 61-69). (México): Mc GRAW-HILL.

J. Badillo, R. Rodríguez. (2005), Mecánica De Suelos, Tomo 1, Fundamentos De La Mecánica De Suelos (Pág. 77). (México): Limusa.

GENERALIDADES

Es necesario antes de definir la gravedad específica, mencionar que las partículas sólidas de un suelo son partículas minerales o partículas de suelo de características semejantes que han sido originadas por procesos naturales y que son difícilmente o no solubles en el agua.

La gravedad específica se define como la relación entre una unidad de volumen de los sólidos de un suelo y la masa de un volumen igual de agua destilada a una temperatura de 20°C. La gravedad específica se presenta bajo el símbolo de “Gs” y se presenta en condición adimensional.

El método descrito en el presente capítulo es aceptable para suelos cuyo tamaño de partículas sean pasa tamiz número No. 4 (4,75mm). De contar con suelos con partículas de tamaño mayor se procederá bajo otros lineamientos de ensayo. El valor de la gravedad específica en el campo de la geotecnia es utilizado para determinar la relación de vacíos de los suelos y en las ecuaciones de relación de agua, aire y sólidos de un suelo.

Joseph Bowles presenta en su “Manual De Laboratorio De Suelos En Ingeniería Civil” valores típicos para algunos tipos de suelos, los cuales se muestran a continuación:



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

Tipo de Suelo	Rango Gravedad Específica
Arena	2.65-2.67
Arena Limosa	2.67-2.70
Arcilla Inorgánica	2.70-2.80
Suelos con Micas o Hierro	2.75-3.00
Suelos Orgánicos	Variable. Puede ser inferior a 2.00

Tabla 4 Rangos de gravedad específica propuestos por Bowels.

OBJETIVO

Este método de ensayo tiene como propósito obtener datos por medio de los cuales se pueda determinar la gravedad específica de los suelos.

EQUIPO

- Picnómetro o Frasco Volumétrico: se debe contar con un picnómetro cuya capacidad mínima sea de 250 ml. Según sea el tamaño de la muestra a ensayar, se debe manejar un picnómetro con capacidad de 2 a 3 veces mayor al volumen total de agua + muestra.
- Bomba de vacío para extracción de aire. De no contar con bomba de vacío se puede utilizar un mechero o cualquier dispositivo que permita hervir el contenido del picnómetro.
- Horno de secado: debe trabajar y mantener una temperatura de $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Balanza: debe trabajar con aproximación de 0,01 g y capacidad mínima de 1kg. En función de la capacidad del picnómetro y de la acción a realizar se determinara la capacidad de la balanza.
- Termómetro: con capacidad suficiente para registrar temperaturas desarrolladas en el ensayo. Debe contar con precisión de 0,1 °C, profundidad de inmersión de 1 a 3 pulgadas y aportar resultados de error máximo 0.5 °C.
- Desecador o recipientes con tapa de cierre
- Caja Aislante: se recomienda una caja de icopor capaz de aportar las condiciones necesarias para producir el equilibrio térmico.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

- Embudo: el embudo debe tener una superficie totalmente lisa y su cuello debe tener un diámetro inferior al cuello del picnómetro, así como superior al diámetro de las partículas (Pasa tamiz N°4).
- Tamiz N° 4 (4,75 mm).
- Cronometro
- Recipientes: Necesarios para determinar el contenido de humedad y cuyas características cumplan lo estipulado por la INV. E-141.
- Equipos menores: Dentro de este grupo se encuentran herramientas menores, que son necesarias dentro del proceso del ensayo.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Una vez se haya recibido el material a ensayar, separar aproximadamente 5000 g y llevarlo al horno de secado. Una vez secado y disgregado el material es tamizado y dividido en dos fracciones; Material pasa tamiz N°4 y Material retenido en tamiz N°4. Como se mencionó anteriormente este procedimiento es aplicable solamente a material pasa tamiz N°4.

Por medio del método del cuarteo se selecciona aproximadamente 500 g de material para realizar el ensayo. (Puede ser menos dependiendo el tamaño del Picnómetro).

Según la Norma Invias INV 128-13 se recomiendan los siguientes valores en peso para las muestras, según sea su tipo:

Tipo de suelo	Masa seca del espécimen (g), usando un picnómetro de 250 ml	Masa seca del espécimen (g), usando un picnómetro de 500 ml
SP, SP-SM	60 ± 10	100 ± 10
SP-SC, SM, SC	45 ± 10	75 ± 10
Limo o Arcilla	35 ± 5	50 ± 10

Fuente: INV 128-13

Tabla 5 Masa recomendada para especímenes de prueba.

Donde:

SP: Arena mal gradada

SM: Arena Limosa

SC: Arena Arcillosa



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

CALIBRACIÓN DEL PICNÓMETRO

Previo a la realización del ensayo se debe calibrar el equipo a emplear para la determinación de la Gravedad Específica del material que pasa el tamiz N°4 y para ello se recomienda seguir los siguientes pasos:

- Lavar las superficies interiores del picnómetro, asegurándose que las mismas queden libres de grasa e impurezas y escurrir perfectamente hasta eliminar cualquier residuo de agua existente.
- Determinar la masa del Picnómetro (W_f).
- Se llena hasta el aforo con agua destilada y previamente desaireada y se deja reposar por algunos minutos.

Nota: para desairear el agua se hace uso del equipo que se tenga disponible. Bien sea bomba de vacío o hirviendo el agua. Previo a empezar el ensayo y la calibración del Picnómetro el agua destilada debe estar dentro de la caja aislante.

- Una vez lleno el picnómetro hasta el aforo se realizan mediciones de temperatura del agua a diferentes profundidades, verificando que estas sean uniformes y que no exista una variación mayor a 0,2 °C.
- Con el objetivo de alcanzar el equilibrio térmico se llevan dentro de la caja aislante el Picnómetro, el termómetro y la pipeta.
- Se seca el picnómetro y se registra su peso lleno de agua (W_a) con una aproximación de 0,01 g.
- Se registra la temperatura del agua en ese momento con el termómetro previamente dispuesto en la caja aislante, obteniendo así T_i con una aproximación de 0,1 °C.
- Se realiza el mismo procedimiento para cada uno de los Picnómetros que hayan sido dispuestos en la caja aislante, para luego dejarlos allí mismo y esperar que se lleve a cabo de nuevo el equilibrio térmico.

Nota_ se deben obtener por lo menos 5 mediciones de temperatura y pesos para cada uno de los Picnómetros.

- Se calcula el volumen de cada Picnómetro mediante la siguiente ecuación:

$$VP = \frac{W_a T_i - W_f}{\rho_w T_i}$$

Donde:



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

VP: Volumen del Picnómetro.

Wa: Peso Picnómetro lleno de agua a la temperatura de calibración.

Wf: Masa Picnómetro vacío.

$\rho_w T_i$: Densidad del agua a la temperatura de calibración.

La densidad del agua a las diferentes temperaturas la presenta la Norma INV 128-13, así como el coeficiente de temperatura (k) y se presenta a continuación:

Temperatura (°C)	Densidad (g/ml)*	Coficiente de Temperatura (K)	Temperatura (°C)	Densidad (g/ml)*	Coficiente de Temperatura (K)	Temperatura (°C)	Densidad (g/ml)*	Coficiente de Temperatura (K)	Temperatura (°C)	Densidad (g/ml)*	Coficiente de Temperatura (K)
15.0	0.9991	1.0009	16.0	0.99895	1.00074	17.0	0.99878	1.00057	18.0	0.9986	1.00039
0.1	0.99909	1.00088	0.1	0.99893	1.00072	0.1	0.99876	1.00055	0.1	0.99858	1.00037
0.2	0.99907	1.00087	0.2	0.99891	1.00071	0.2	0.99874	1.00054	0.2	0.99856	1.00035
0.3	0.99906	1.00085	0.3	0.99889	1.00069	0.3	0.99872	1.00052	0.3	0.99854	1.00034
0.4	0.99904	1.00084	0.4	0.99888	1.00067	0.4	0.99871	1.0005	0.4	0.99852	1.00032
0.5	0.99902	1.00082	0.5	0.99886	1.00066	0.5	0.99869	1.00048	0.5	0.9985	1.0003
0.6	0.99901	1.0008	0.6	0.99885	1.00064	0.6	0.99867	1.00047	0.6	0.99848	1.00028
0.7	0.99899	1.00079	0.7	0.99883	1.00062	0.7	0.99865	1.00045	0.7	0.99847	1.00026
0.8	0.99898	1.00077	0.8	0.99881	1.00061	0.8	0.99863	1.00043	0.8	0.99845	1.00024
0.9	0.99896	1.00076	0.9	0.99879	1.00059	0.9	0.99862	1.00041	0.9	0.99843	1.00022
19.0	0.99841	1.0002	20.0	0.99821	1.00000	21.0	0.99799	0.99979	22.0	0.99777	0.99957
0.1	0.99839	1.00018	0.1	0.99819	0.99998	0.1	0.99797	0.99977	0.1	0.99775	0.99954
0.2	0.99837	1.00016	0.2	0.99816	0.99996	0.2	0.99795	0.99974	0.2	0.99773	0.99952
0.3	0.99835	1.00014	0.3	0.99814	0.99994	0.3	0.99793	0.99972	0.3	0.99771	0.9995
0.4	0.99833	1.00012	0.4	0.99812	0.99992	0.4	0.99791	0.9997	0.4	0.99769	0.99947
0.5	0.99831	1.0001	0.5	0.9981	0.9999	0.5	0.99789	0.99968	0.5	0.99767	0.99945
0.6	0.99829	1.00008	0.6	0.99808	0.99987	0.6	0.99786	0.99966	0.6	0.99764	0.99943
0.7	0.99827	1.00006	0.7	0.99806	0.99985	0.7	0.99784	0.99963	0.7	0.99761	0.99941
0.8	0.99825	1.00004	0.8	0.99804	0.99983	0.8	0.99782	0.99961	0.8	0.99759	0.99938
0.9	0.99823	1.00002	0.9	0.99802	0.99981	0.9	0.9978	0.99959	0.9	0.99756	0.99936
23.0	0.99754	0.99933	24.0	0.9973	0.99909	25.0	0.99705	0.99884	26.0	0.99679	0.99858
0.1	0.99752	0.99931	0.1	0.99727	0.99907	0.1	0.99702	0.99881	0.1	0.99676	0.99855
0.2	0.99749	0.99929	0.2	0.99725	0.99904	0.2	0.997	0.99879	0.2	0.99673	0.99852
0.3	0.99747	0.99926	0.3	0.99723	0.99902	0.3	0.99697	0.99876	0.3	0.99671	0.9985
0.4	0.99745	0.99924	0.4	0.9972	0.99899	0.4	0.99694	0.99874	0.4	0.99666	0.99847
0.5	0.99742	0.99921	0.5	0.99717	0.99897	0.5	0.99692	0.99871	0.5	0.99665	0.99844
0.6	0.9974	0.99919	0.6	0.99715	0.99894	0.6	0.99689	0.99868	0.6	0.99663	0.99842
0.7	0.99737	0.99917	0.7	0.99712	0.99892	0.7	0.99687	0.99866	0.7	0.99661	0.99839
0.8	0.99735	0.99914	0.8	0.9971	0.99889	0.8	0.99684	0.99873	0.8	0.99657	0.99836
0.9	0.99732	0.99912	0.9	0.99707	0.99887	0.9	0.99681	0.9986	0.9	0.99654	0.99833
27.0	0.99652	0.99831	28.0	0.99624	0.99803	29.0	0.99595	0.99774	30.0	0.99565	0.99744
0.1	0.99649	0.99828	0.1	0.99621	0.998	0.1	0.99592	0.99771	0.1	0.99562	0.99741
0.2	0.99646	0.99825	0.2	0.99618	0.99797	0.2	0.99589	0.99768	0.2	0.99559	0.99738
0.3	0.99643	0.99822	0.3	0.99615	0.99794	0.3	0.99586	0.99765	0.3	0.99556	0.99735
0.4	0.99641	0.9982	0.4	0.99612	0.99791	0.4	0.99583	0.99762	0.4	0.99553	0.99732
0.5	0.99638	0.99817	0.5	0.99609	0.99788	0.5	0.9958	0.99759	0.5	0.9955	0.99729
0.6	0.99635	0.99814	0.6	0.99607	0.99785	0.6	0.99577	0.99756	0.6	0.99547	0.99726
0.7	0.99632	0.99811	0.7	0.99604	0.99783	0.7	0.99574	0.99753	0.7	0.99544	0.99723
0.8	0.99629	0.99808	0.8	0.99601	0.9978	0.8	0.99571	0.9975	0.8	0.99541	0.9972
0.9	0.99627	0.99806	0.9	0.99598	0.99777	0.9	0.99568	0.99747	0.9	0.99538	0.99716

Fuente: INV 128-13

Tabla 6 Tabla de densidades del agua a diferentes temperaturas

PROCEDIMIENTO

La determinación de la gravedad específica se puede llevar a cabo con muestras húmedas o secas. Las muestras húmedas corresponden a aquellas tipo turba (suelos altamente orgánicos).

a. Procedimiento para muestra secada al horno:



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

- Se lleva la muestra al horno a una temperatura de $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Se deja enfriar a temperatura ambiente y se disgrega eliminando terrones en el material.
- Con la ayuda de un embudo se vierten las partículas sólidas en el picnómetro asegurándose que ninguna de ellas quede adherida a las paredes del embudo.

Nota_ Cuando se presenten partículas adheridas a las paredes, estas se lavaran con agua desaireada hasta que la totalidad se deposite en el fondo del picnómetro.

- Se agrega un volumen de agua desaireada aproximado a un 1/3 del volumen del Picnómetro y se bate en forma circular hasta formar una lechada, la cual debe estar libre de aire o burbujas. Para esto se hace uso de la bomba de vacío o se lleva la lechada hasta la temperatura de ebullición y se mantiene mínimo dos (2) horas.
- Una vez se haya desaireado la mezcla se llena el picnómetro hasta su línea de aforo. Se recomienda usar una manguera de diámetro pequeño cuyo extremo de salida este ligeramente sumergido en la lechada, con el fin de evitar la aparición de burbujas. Además de lo anterior se debe garantizar que el agua agregada se mantenga libre de turbidez.
- Con una aproximación de 0,01 g se registra la masa del picnómetro mas mezcla (W_b) y con una aproximación de 0,1 °C se registra la temperatura de la mezcla dentro del Picnómetro (T_x).

Nota: es importante que las medidas que se registren durante el ensayo, sean tomadas con los mismos aparatos de medida con los cuales se calibro el picnómetro.

- Se transfiere la lechada a un recipiente de masa conocida, lavando las paredes del picnómetro con agua destilada hasta tener la seguridad que la totalidad de los sólidos han sido depositados en el nuevo recipiente.
- Se lleva el recipiente junto con la lechada al horno de secado ($110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$) y una vez se tenga masa constante se deja enfriar sin permitir que este absorba humedad del ambiente de secado.
- Se registra con una aproximación de 0,1g la masa seca del suelo mas recipiente. La masa seca de suelo será W_s .

b. Procedimiento para muestra húmeda:

- Una vez se determine el tamaño de muestra recomendado para realizar la prueba, se dispersa por medios mecánicos o manuales el material y se le agrega aproximadamente 100 ml de agua desaireada.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

- A partir de este momento se llevan a cabo exactamente los mismos pasos descritos para muestras secadas en el horno, con excepción del primer paso.

CALCULOS

El valor de la Gravedad Especifica se determina mediante la siguiente ecuación:

$$G_s = \frac{W_s * K}{W_s + W_a - W_b}$$

Donde:

G_s: Gravedad Específica.

W_s: Masa del Suelo Seco.

W_a: Masa del Picnómetro lleno de agua a la temperatura de calibración.

W_b: Masa del Picnómetro mas mezcla (suelo + agua).

K: Factor de corrección. Coeficiente de temperatura.

INFORME

En el informe debe presentar la siguiente información:

- Nombre del proyecto, localización, número de sondeo, apique o trinchera, número de muestra y profundidad.
- Descripción y Clasificación del Suelo.
- Equipos utilizados durante el ensayo.
- Método utilizado (Muestra secada al horno o Muestra húmeda).
- Los valores de cada una de las variables descriptas en el procedimiento.
- El valor de la Gravedad Especifica.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

FORMATO TOMA DE DATOS

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA		FORMATO DE GRAVEDAD ESPECIFICA DE LAS PARTICULAS SOLIDAS DEL SUELO - I.N.V.E-128-13 - LABORATORIO DE SUELOS		CODIGO EDICIÓN FECHA CSC																															
MUESTRA Nº: PROFUNDIDAD (m): FECHA: LOCALIZACION: DESCRIPCIÓN	TIPO: ABSCISA: FUENTE:	NUMERO: MÉTODO EQUIPOS:																																	
DATOS Y CALCULOS																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3" style="background-color: #cccccc;">GRAVEDAD ESPECÌFICA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="width: 50%;">Muestra</td> <td style="width: 15%;">Nº</td> <td style="width: 35%;"></td> </tr> <tr> <td>Temperatura De Mezcla</td> <td>°C</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Picnómetro</td> <td>Nº</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Volumen Del Picnómetro</td> <td>(ml)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso Del Picnómetro</td> <td>(g)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso Del Picnómetro+Suelo+Agua</td> <td>(g)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Numero De Recipiente De Traspaso</td> <td>Nº</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso De Recipiente De Traspaso</td> <td>(g)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso De Recipiente De Traspaso + Suelo Seco</td> <td>(g)</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						GRAVEDAD ESPECÌFICA			Muestra	Nº		Temperatura De Mezcla	°C		Picnómetro	Nº		Volumen Del Picnómetro	(ml)		Peso Del Picnómetro	(g)		Peso Del Picnómetro+Suelo+Agua	(g)		Numero De Recipiente De Traspaso	Nº		Peso De Recipiente De Traspaso	(g)		Peso De Recipiente De Traspaso + Suelo Seco	(g)	
GRAVEDAD ESPECÌFICA																																			
Muestra	Nº																																		
Temperatura De Mezcla	°C																																		
Picnómetro	Nº																																		
Volumen Del Picnómetro	(ml)																																		
Peso Del Picnómetro	(g)																																		
Peso Del Picnómetro+Suelo+Agua	(g)																																		
Numero De Recipiente De Traspaso	Nº																																		
Peso De Recipiente De Traspaso	(g)																																		
Peso De Recipiente De Traspaso + Suelo Seco	(g)																																		
OBSERVACIONES: _____																																			

REALIZÓ		APROBÓ		COPIA CONTROLADA SI																															
LABORATORISTA		COORDINADOR																																	
Bogotá, D.C. - Colombia																																			



**MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE
SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO**

2.6. PROCEDIMIENTO ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

REFERENCIAS:

I.N.V. E – 151 – 13

ASTM D2435

AASHTO T 216 0 – 03

J. Bowels. (1981), Manual De Laboratorio De Suelos En Ingeniería Civil (Pág. 111-132). (México): Mc GRAW-HILL.

J. Badillo, R. Rodríguez. (2005), Mecánica De Suelos, Tomo 1, Fundamentos De La Mecánica De Suelos (Pág. 293-305). (México): Limusa.

GENERALIDADES

La variación en las condiciones de esfuerzos que se apliquen sobre cualquier material, llevaran a una deformación del mismo, la cual será mayor o menor dependiendo del tipo de material. La deformación del suelo en relación con materiales como el concreto y el acero es mucho menor y se desarrolla en el transcurso del tiempo. La deformación en las arcillas se lleva a cabo en grandes periodos de tiempo después de la aplicación de la carga, produciéndose una variación en la forma y el volumen de la misma. La aplicación de la carga produce una variación en la estructura del material determinada por la reducción de vacíos existentes en el suelo.

Según Juárez Badillo-Rico Rodríguez (2005) *“el proceso de consolidación es un proceso de disminución de volumen, que tenga lugar en un lapso, provocado por un aumento de las cargas sobre el suelo”*. En este proceso de consolidación se llevan a cabo diferentes etapas:

- Consolidación Inicial: Reducción casi instantánea producida en el momento propio de la aplicación de la carga inicial y que corresponde a la reducción de vacíos por eliminación de aire.
- Consolidación Primaria: Se lleva a cabo cuando con la aplicación de nuevas cargas la reducción del volumen es producto de la eliminación del agua presente en los vacíos, y donde las cargas son transferidas a la estructura mineral.
- Consolidación Secundaria: se lleva a cabo cuando con la aplicación de nuevas cargas la reducción de volumen es producto del acomodamiento de las partículas de la masa de suelo, que a su vez son responsables de la totalidad de la carga.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

OBJETIVO

Este método de ensayo tiene como propósito obtener datos por medio de los cuales se puedan determinar las siguientes constantes de los suelos:

- Esfuerzo Efectivo Inicial
- Esfuerzo de Preconsolidación
- Relación de Sobreconsolidación
- Índice de Compresibilidad
- Índice de Recompresión

EQUIPO

- Dispositivo de carga: dispositivo para la aplicación de cargas verticales, capaz de mantener cargas constantes con una precisión de $\pm 0,5$ % de la carga aplicada en el momento
- Consolidómetro: Aparato de laboratorio que permite conocer la compresibilidad del suelo resultado de su consolidación. En este permanece la muestra dentro de un anillo durante el ensayo, bien sea de manera fija o flotante y con piedras porosas en cada cara de la muestra.



Imagen 16 Consolidómetro para ensayo de Consolidación Unidimensional



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

- Anillo: Anillo de bronce, aluminio o acero inoxidable u otro material que no presente corrosión ante el contacto con el material de las muestras; con borde cortante para tallar la muestra al diámetro deseado. Su rigidez debe garantizar que en el momento de aplicar la carga máxima, este no varíe su diámetro en una relación mayor de 0,3 %. EL diámetro mínimo del anillo debe ser de 50mm y su altura de 13 mm.
- Piedras Porosas: Piedras porosas de material que garantice no ser susceptible a ser atacado por el contacto con las muestras o por la humedad, con características de porosidad que impidan la entrada de las partículas de suelo en su estructura y que garanticen un óptimo drenaje durante el ensayo.

El diámetro de las piedras debe ser entre 0,2 y 0,5 mm inferior al diámetro del anillo. Deben estar libres de fracturamiento y aportar la resistencia necesaria para evitar su rompimiento una vez sean aplicadas las máximas cargas.



Imagen 17 Equipo de Consolidómetro.

Equipo de Consolidómetro	
1	Célula Edométrica
2	Collarín
3	Tornillos de Fijación
4	Pistón de Carga
5	Piedras Porosas
6	Anillo

- Balanza: debe trabajar con aproximación de 0,1 g o 0,1 % del peso de la muestra.
- Horno: debe trabajar y mantener una temperatura de $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Deformímetro: Debe trabajar con una aproximación de 0,0001".
- Cronometro: debe trabajar con una aproximación de 0,1 s.
- Recipientes: Necesarios para determinar el contenido de humedad y cuyas características cumplan lo estipulado por la INV. E-141.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

- Equipos menores: Dentro de este grupo se encuentran herramientas menores, que son necesarias dentro del proceso del ensayo. Espátulas para enrazar, bisturí y trapos húmedos o papel parafinado para proteger la muestra.

OTROS FACTORES

- Temperatura: para mantener inalterada la humedad de la muestra los sitios en donde se realizan los ensayos no deben tener variaciones de temperatura mayores a $\pm 4^{\circ}\text{C}$, ni tampoco tener un contacto directo con la luz solar.
- Muestreo y Almacenamiento: El muestreo de un suelo es la etapa previa al análisis y determinación de propiedades. Es probablemente la fase más importante para la obtención de datos analíticos que puedan considerarse seguros y poder hacer un dictamen verídico sobre el suelo en análisis.

Su almacenamiento debe garantizar que la muestra conserve su humedad natural y que no se presentes eventos de cambios de volumen en el mismo. Se debe evitar golpear las muestras y producir fisuras en las mismas.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

La muestra tendrá exactamente el mismo volumen que el del anillo. Para su manipulación y corte preciso se requiere el uso de herramientas de corte adecuadas. Teniendo en cuenta que el anillo tiene bordes afilados, este entrara a presión y tomara el volumen de muestra. Para retirar el material sobrante sobre las superficies se utilizaran sierras de alambre o espátulas, según sean las características del suelo. Durante este procedimiento se debe evitar golpear la muestra, producir vibraciones o torsiones con el fin de mantener intacta su estructura. Se puede hacer uso de una placa de vidrio en la cual se frota la muestra para remover el material de la cara inferior.



Imagen 18 Preparación de la Muestra



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

Se debe registrar los siguientes datos:

- Peso propio del anillo en gramos.
- Peso de anillo + muestra húmeda en gramos.
- Altura inicial de la muestra en centímetros con una precisión de 0,025 mm, promediando cuatro lecturas hechas con el aparato de medida con que se cuente.
- Diámetro de la muestra en centímetros.
- Humedad inicial de la muestra en base a los datos anteriores.
- Descripción de las características físicas de la muestra.

PROCEDIMIENTO

- Después de realizar la preparación de la muestra, se ensamblan los anillos en el consolidómetro junto con las piedras porosas y el papel de filtro, asegurándose que la muestra se expanda en exceso de su altura inicial antes de aplicar cargas mayores a su esfuerzo de pre-consolidación.

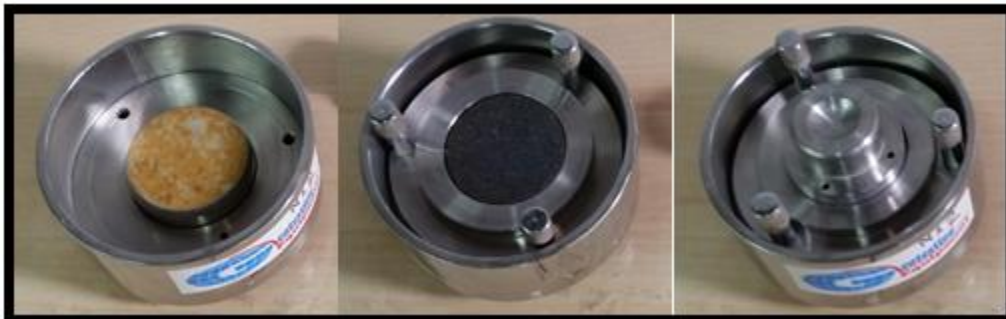


Imagen 19 Ensamble de la Muestra

- Se aplica una carga de asentamiento de 1,0 kg la cual generara un esfuerzo de 5kPa. De tratarse de suelos muy blandos se recomienda aplicar una carga de asentamiento igual a 0,5 kg, generando un esfuerzo de 2,5 KPa. Luego de aplicar la carga se ajusta el deformímetro y se registra la deformación inicial d_o .



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

Nota_. Cuando se trate de suelos ensayados en condición inalterada y que en campo hayan sido extraídos bajo el nivel freático, se inundara la muestra inmediatamente para evitar procesos de expansión o hinchamiento.

- Se aplican incrementos de carga para simular presiones sobre la muestra y para cada uno de los incrementos se deben registrar las deformaciones a intervalos de tiempo definidos.
- Se recomienda que los incrementos de carga generen las siguientes presiones: 0.0125 kg/cm^2 , 0.0250 kg/cm^2 , 0.050 kg/cm^2 , 0.100 kg/cm^2 , 0.200 kg/cm^2 , 0.400 kg/cm^2 , 0.800 kg/cm^2 , 1.600 kg/cm^2 , 3.200 kg/cm^2 .
- Los tiempos de registro para deformaciones en cada intervalo de carga son: 1, 15, 25, 50 segundos , 1, 1.5, 2, 3, 4, 6, 8, 12, 15, 20, 30 minutos y 1, 2, 4, 8, 24 horas.

Nota _. Se debe garantizar que el intervalo de tiempo entre cada carga, sea suficiente para que se lleve a cabo el proceso de consolidación primaria. Se deben determinar cargas que en su consecutivo doblen el valor de la inmediatamente anterior para el caso de carga y que disminuyan a la mitad en el proceso de descarga.



Imagen 20 Ejecución del ensayo

- Para obtener las características del proceso de descarga, se descarga el suelo haciendo reducciones en orden inverso a la aplicación de las cargas y se registran las deformaciones de la misma manera y con los mismos intervalos que al hacer la carga.

Nota _ La muestra se debe llevar hasta la carga de asiento y de esta manera evitar hinchamientos significativos en el proceso de desmonte.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

- Se retiran del consolidómetro la muestra y el anillo y se determinan los siguientes datos: altura final de la muestra d_f , peso de anillo más muestra húmeda y peso de anillo más muestra seca.

CÁLCULOS:

- Área:

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

Donde:

A: área de la cara de la muestra
D: Diámetro de la muestra

- Volumen:

$$V = A * H$$

Donde:

V: volumen de la muestra
H: altura de la muestra

- Peso Seco:

$$W_{seco} = \frac{W_{hum}}{1 + w}$$

Donde:

Wseco: peso seco de la muestra
Whum: peso húmedo de la muestra
w: Contenido de humedad

- Peso Unitario Húmedo:

$$\gamma_{hum} = \frac{W_{hum}}{V}$$

Donde:

γ_{hum} : Peso Unitario Húmedo



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

Whum: Peso Húmedo
V: Volumen de la muestra

- Peso Unitario Seco:

$$\gamma_{seco} = \frac{W_{seco}}{V}$$

Donde:
 γ_{seco} : Peso Unitario Seco
Wseco: Peso Seco
V: Volumen de la muestra

- Volumen de agua:

$$V_w = W_{hum} - W_{seco}$$

Teniendo en cuenta que: $V_w = \frac{W_w}{G_w * \gamma_w} = W_w$, ya que según Joseph Bowles (1980) en su

libro "Manual de Laboratorio de Suelos", " $G_w * \gamma_w$ son aproximadamente iguales a 1.0 para el agua en condiciones usuales de campo y de laboratorio".

- Volumen de solidos:

$$V_s = V - V_w$$

- Altura de Solidos:

$$H_s = \frac{V_s}{A}$$

- Relación de Vacíos Inicial:

$$e = \frac{H - H_s}{H_s}$$

Donde:
e: relación de vacíos inicial
H: altura inicial de la muestra
Hs: altura de solidos



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

- Relación de Vacíos Final:

$$e = \frac{H_f - H_s}{H_s}$$

Donde:

e : relación de vacíos final

H : altura final de la muestra

H_s : altura de sólidos

- Esfuerzo Axial Total:

$$\sigma = \frac{(P * \text{Relación de brazo}) + (Ma * \text{Relación de brazo})}{A}$$

Donde:

σ : esfuerzo axial total

P : carga en brazo

Ma : masa de aparato que descansa sobre la muestra

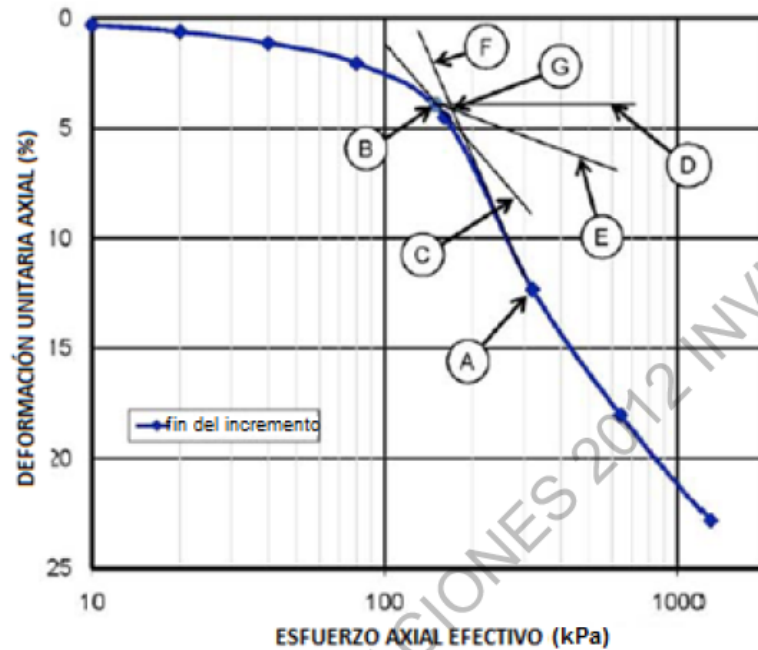
- Deformación Vertical:

$$\varepsilon(\%) = \frac{H - H_f}{H} * 100$$

- Esfuerzo de Pre-consolidación: Se realiza el grafico Deformación Unitaria Axial vs Esfuerzo Axial Efectivo y se realiza el siguiente procedimiento, el cual es determinado por la norma INV-151-13 para determinar el valor de Esfuerzo de Pre consolidación



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO



- A - DEFORMACIÓN TRAZADA SOBRE LOS PUNTOS TOMADOS
- B - PUNTO DE MÁXIMA CURVATURA
- C - LÍNEA TANGENTE A LA CURVA EN EL PUNTO B
- D - LÍNEA HORIZONTAL A TRAVÉS DEL PUNTO B
- E - LÍNEA BISECTRIZ DEL ÁNGULO FORMADO POR C Y D
- F - LÍNEA TANGENTE A LA PORCIÓN MÁS INCLINADA DE LA CURVA
- G - ESFUERZO DE PRECONSOLIDACIÓN, LEÍDO EN LA INTERSECCIÓN DE LAS LÍNEAS E Y F

Fuente: INV 151-13

Figura 6 Deformación Unitaria Axial vs Esfuerzo Axial Efectivo

Según la norma INV 151-13 se siguen los siguientes pasos para determinar el valor de la variable:

- Se traza una curva suave a través de los puntos
- Se estima el punto de máxima curvatura sobre la curva de compresión (B)
- Se dibuja la tangente a la curva de compresión en este punto (C), y se traza una línea horizontal (D) partiendo también del punto (B). Se prolongan las líneas C y D hacia la derecha (en el sentido creciente a las abscisas).
- Se traza una línea (E), que bisecte el ángulo formado entre las dos líneas C y D.
- Se dibuja una línea recta tangente a la porción lineal mas inclinada de la curva de compresión (brazo de compresión virgen) (F), y se prolonga hacia arriba hasta que se corte con la línea bisectriz (E). El punto de corte se llamara (G). la abscisa correspondiente a este punto de intersección será el esfuerzo estimado de preconsolidación.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

- Esfuerzo Efectivo Inicial:

$$\sigma_o = \gamma_{hum} * H_p$$

Donde:

σ_o : esfuerzo efectivo inicial

H_p : Profundidad promedio de la muestra

γ_{hum} : Peso Unitario húmedo

ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

- Botas punta de acero
- Gafas de seguridad
- Guantes de seguridad
- Overol o bata de trabajo.

INFORME

En el informe debe presentar la siguiente información:

- Nombre del proyecto, localización, número de sondeo, apique o trinchera, número de muestra y profundidad.
- Descripción y Clasificación del Suelo
- Contenido de Humedad inicial y final.
- Equipos utilizados durante el ensayo.
- Condición de ensayo (saturado o humedad natural)
- Tipo de muestra (Alterada o inalterada)
- Parámetros de Compresibilidad
- Curva de Compresibilidad.



**MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE
SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO**



**MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE
SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO**

2.7. PROCEDIMIENTO ENSAYO DE COMPRESIÓN INCONFINADA



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

REFERENCIAS:

I.N.V. E – 152 – 13

ASTM D 2166 – 00

AASHTO T 208 – 05

J. Bowels. (1981), Manual De Laboratorio De Suelos En Ingeniería Civil (Pág. 133-141). (México): Mc GRAW-HILL.

J. Badillo, R. Rodríguez. (2005), Mecánica De Suelos, Tomo 1, Fundamentos De La Mecánica De Suelos (Pág. 293-305). (México): Limusa.

GENERALIDADES

La resistencia a la compresión inconfiada se define como el valor del esfuerzo que se debe aplicar normalmente a un espécimen de suelo para producir en este la condición de falla. Cuando se decidió realizar por primera vez este tipo de ensayo se hizo con el fin de determinar de una manera rápida los valores de resistencia al corte de los suelos, bajo el criterio del círculo de Mohr Coulomb, determinando así el valor de resistencia al corte como 0,5 veces el valor de la resistencia a la compresión inconfiada.

Según Joseph Bowles (1980) en su libro “Manual de Laboratorio de Suelos” esta teoría no es del todo confiable debido a que la restricción lateral provista por la masa de suelo se pierde cuando la muestra es removida del terreno, también expone que la condición interna del suelo no puede controlarse y por último que la fricción en los extremos de la muestra producida por las placas de carga origina una restricción sobre los extremos, alterando así los esfuerzos internos en una cantidad desconocida.

Es necesario resaltar que el ensayo de compresión inconfiada se aplica a suelos cohesivos, los cuales durante la etapa de carga mantienen su resistencia intrínseca luego de remover la presión de confinamiento (una vez es retirada del terreno) y que además no expulsan agua por las paredes durante dicho proceso de carga. Materiales fracturados o fisurados, muy blandos, con alto porcentaje de arenas o de materia orgánica, no arrojarán valores significativos de su resistencia a la compresión inconfiada. Este ensayo se puede realizar por medio de control de deformaciones o control de esfuerzos.

OBJETIVO



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

Este método de ensayo tiene como propósito obtener datos por medio de los cuales se puedan determinar las siguientes constantes de los suelos:

- Contenido de Humedad de la muestra
- Resistencia a la Compresión Inconfinada
- Resistencia al Corte
- Grafico Deformación vs Esfuerzo

EQUIPO

- Máquina de compresión: instrumento de compresión capaz de aplicar fuerzas normales a una velocidad constante y con un dispositivo de medición de las mismas, cuya precisión varía dependiendo del tipo de material.

Para suelos cuya resistencia a la compresión inconfinada se estime por debajo de 100 kPa (1kg/cm²), la máquina de compresión debe medir los valores de esfuerzos con una precisión de 1kPa (0.01 kg/cm²).

Para suelos cuya resistencia a la compresión inconfinada se estime por encima de 100 kPa (1kg/cm²), la máquina de compresión debe medir los valores de esfuerzos con una precisión de 5kPa (0.05 kg/cm²).

- Extractor de muestras inalteradas: este tipo de ensayos se realiza en muestras preferiblemente inalteradas y es de completa necesidad contar con un aparato que pueda extraer las muestras del tubo de muestreo y garantice mantener su condición.
- Deformímetro: debe ser un comparador de caratula, cuyos registros aporten una precisión de 0,01 mm y una longitud de medición de mínimo 0,2 la altura total de la muestra de ensayo.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO



Equipo de Compresión	
1	Celda de Carga
2	Deformimetro
3	Placa Fija
4	Placa Movil
5	Palanca de Carga

Imagen 21 Equipo de compresión inconfiada

- Calibrador pie de rey: calibrador con precisión de 0,01 mm con el fin de realizar mediciones exactas al espécimen de ensayo.

Nota_ por ser este ensayo de materiales cohesivos, se debe tener especial cuidado en el momento de tomar mediciones de alturas y diámetros, pues la condición de alta deformabilidad del espécimen puede alterar las lecturas. Por lo anterior se recomienda hacer varias mediciones y promediar los valores para obtener un dato mas preciso.

- Cronometro: instrumento de medición de tiempo con valores de precisión 1s. De esta manera junto con los datos aportados por el deformimetro será posible medir la velocidad de deformación del espécimen durante la prueba.
- Horno de secado: con capacidad para mantener temperaturas constantes de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
- Recipientes de muestreo: los recipientes deben tener características especiales como son: su material preferiblemente aluminio, que soporte altas temperaturas y sea resistente a la corrosión por el contacto con la humedad de las muestras. Deben estar marcados con un código que facilite su identificación.
- Guantes contra altas temperaturas o herramientas para manejar los recipientes.
- Balanza de precisión: con precisión de 0,01 g, previamente calibradas.
- Herramientas menores: herramientas menores como son espátulas, trapos de limpieza, seguetas, entre otros.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO



Imagen 22 Equipo para ensayo

MUESTRA

La muestra a ensayar debe tener las siguientes características:

- Diámetro mínimo de 30 mm.
- Partícula de mayor tamaño debe ser menor a 0,1 veces el diámetro de la muestra.
- Debe mantener una relación de altura diámetro de 2 a 3.



Imagen 23 Dimensiones de la muestra. Relación altura-diámetro



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Dependiendo del tipo de muestra con el que se vaya a trabajar (compactadas, remoldeada o inalterada) se deben tener en cuenta diferentes condiciones al momento de su preparación y tomar en cuenta lo estipulado por las normas INV 103,104,105 según sea el caso.

En el caso de muestras compactadas, con ayuda de un soporte para moldeo y cuchillas de alambre se labrarán sus superficies y se le dará la densidad requerida. Para muestras inalteradas solamente se modificarán sus extremos si las condiciones de la muestra así lo ameritan para asegurar que su contacto con las placas de presión se lleve a cabo en todo el área. Y por último para muestras remoldeadas con ayuda de membranas de caucho se amasará el material para luego llevarlo a cilindros de diámetro y altura específicos y que cumplan con la normatividad.

Sea cual sea el tipo de muestra, se recomienda que la humedad natural de los especímenes se mantenga durante su preparación, que los especímenes estén libres de guijarros y fracturas antes de realizar el ensayo y que sus caras de contacto estén totalmente lisas y totalmente perpendiculares a las placas de presión.

PROCEDIMIENTO

La prueba de compresión inconfiada en suelos cohesivos se dará por terminada bajo las siguientes condiciones:

- Cuando se produce la falla, la celda que expresa las cargas aplicadas empieza a mostrar un descenso en las mismas y en ese momento se dice que la muestra ha fallado.
- La carga se mantiene constante por cuatro lecturas
- De no ser así, se dice que la prueba se debe finalizar una vez se haya producido una deformación unitaria del 20%, medida en deformación axial.

Nota. Antes de empezar el ensayo de compresión inconfiada es necesario realizar el cálculo de la deformación unitaria correspondiente al 20 %, para saber con certeza en que momento debe el ensayo terminar si antes no se ha producido la falla.

Teniendo claro las condiciones anteriores se procede a describir el procedimiento de ensayo:

- Medir las características físicas y de masa del espécimen. Estas corresponde a peso, altura y diámetro.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO



Imagen 24 Peso de la muestra

- Se coloca el espécimen en la base del aparato de carga, asegurándose que la cara superior del espécimen coincida con la platina móvil del aparato de carga, sin que haya cabida a producir deformaciones previas.



Imagen 25 Etapa inicial del ensayo

- Se llevan a lectura de cero tanto el lector de carga, como el deformímetro y el cronómetro.
- Se acciona la máquina de carga y se registran lecturas de carga y para los siguientes valores de deformación cuando el deformímetro tenga precisión de 0,01 mm.
10, 25, 50, 75, 100, 150 y en adelante intervalos de 50 divisiones de deformación hasta que se cumpla alguna de las condiciones citadas anteriormente.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

- Una vez se haya producido la falla, registrar gráficamente los planos de falla producidos en el espécimen.



Imagen 26 Proceso de falla

CÁLCULOS

- Área:

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

Donde:

A: área de la cara de la muestra
D: Diámetro de la muestra

- Volumen:

$$V = A * H$$

Donde:

V: volumen de la muestra
H: altura de la muestra

- Peso Seco:

$$W_{seco} = \frac{W_{hum}}{1 + w}$$

Donde:



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

Wseco: peso seco de la muestra
Whum: peso húmedo de la muestra
w: Contenido de humedad

- Peso Húmedo:

$$\gamma_{hum} = \frac{Whum}{V}$$

Donde:
 γ_{hum} : Peso Unitario Húmedo
Whum: Peso Húmedo
V: Volumen de la muestra

- Deformación Unitaria:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{Lo} * 100$$

Donde:
 ε : Deformación Unitaria
 ΔL : Cambio de altura del espécimen
Lo: Altura inicial del espécimen.

- Área corregida:

$$Ac = \frac{Ao}{1 - \frac{\varepsilon_1}{100}}$$

Donde:
Ac: Área corregida
 ε : Deformación Unitaria para cada carga
Ao: Área inicial de la sección transversal del espécimen

- Esfuerzo de Compresión:

$$\sigma_c = \frac{P}{Ac}$$

Donde:
 σ_c : Esfuerzo de compresión



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

P: Carga aplicada
Ac: Área corregida

Y cuyo mayor valor presentado será la resistencia a compresión inconfiada del espécimen “qu”.

- Resistencia al corte:

$$\tau = \frac{qu}{2}$$

Donde:

τ : Resistencia al corte

qu: Resistencia a la compresión inconfiada

- Grafica Esfuerzo vs Deformación

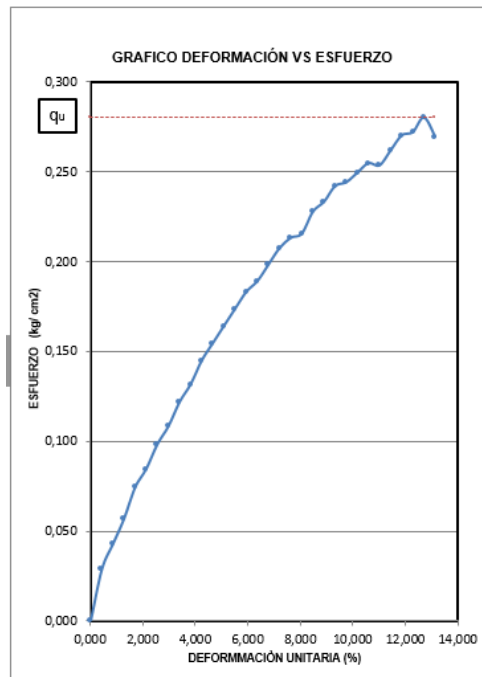


Figura 7 Grafica Deformación vs Esfuerzo

ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

- Botas punta de acero
- Gafas de seguridad
- Guantes de seguridad
- Overol o bata de trabajo.

INFORME

En el informe debe presentar la siguiente información:

- Nombre del proyecto, localización, número de sondeo, apique o trinchera, número de muestra y profundidad.
- Descripción y Clasificación del Suelo
- Contenido de Humedad inicial
- Equipos utilizados durante el ensayo.
- Condición de ensayo (saturado o humedad natural)
- Tipo de muestra (inalterada, remoldeada ó compactada)
- Diagrama de falla. Vista frontal y posterior.
- Valores de resistencia a la compresión, resistencia al corte y deformación máxima.
- Grafica Deformación vs Esfuerzo.



**MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE
SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO**

2.8. PROCEDIMIENTO ENSAYO DENSIDAD- MÉTODO CONO Y ARENA



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

REFERENCIAS:

I.N.V. E – 161 – 13

ASTM D 1556 – 07

AASHTO T 191

J. Bowels. (1981), Manual De Laboratorio De Suelos En Ingeniería Civil (Pág. 89-96). (México): Mc GRAW-HILL.

GENERALIDADES

El método del cono de arena fue utilizado por primera vez por el cuerpo de ingenieros de U.S.A. y acogido por las normas ASTM y AASTHO.

El método de compactación permite determinar la relación entre la humedad y el peso unitario seco de los suelos y cuyas condiciones deben ser adoptadas en el momento de llevar a cabo las estructuras de suelos. La determinación de la densidad seca in-situ, realizada por el método de cono y arena, se lleva a cabo para verificar que las condiciones de compactación que se han fijado como optimas, se estén cumpliendo en el terreno. Si bien existen otros métodos para lograr tal fin como el balón de densidad o el método nuclear, en la actualidad y en Colombia el método más usado es el de cono y arena.

Como bien se conoce, el método se realiza en campo mediante una pequeña perforación de forma cilíndrica y cuya exactitud y dimensiones exactas dependen en gran medida del tipo de material. Gracias a la utilización del cono y arena, se puede conocer el volumen de dicha perforación y junto con el peso húmedo del material extraído es posible conocer la densidad húmeda del material. De esta manera y conociendo el contenido de humedad del material se puede determinar el valor de la densidad seca del material.

Los usos mas comunes del método cono y arena son obras de construcción de terraplenes de tierra, rellenos de carretera y estructuras de relleno.

Acerca del método de cono y arena se tienen las siguientes consideraciones:

- La aplicación del método esta dirigida a materiales con ausencia de material muy grueso; menor a 38 mm.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

- La arena óptima utilizada para el ensayo sería la arena de Ottawa, pero es normal que muchos de los laboratorios por economía y poca accesibilidad a la misma, realicen el ensayo con arena de fuentes cercanas.
- Se considera un ensayo con alto margen de error, por lo que se recomienda que en el momento de llevarlo a cabo, la zona donde este se realice esté libre de vibraciones, lo cual es muy común en obra.
- Suelos saturados, orgánicos o muy plásticos, no son aptos para realizar este ensayo. Lo anterior debido a que en el momento de realizar la excavación, las paredes de la misma pueden sufrir cambios en su geometría por deformación o compresión.

Aunque el procedimiento permite deducir que el método es muy simple, se recomienda ser llevado a cabo por personal capacitado y con conocimiento sobre el tema.

OBJETIVO

Este método de ensayo tiene como propósito obtener datos por medio de los cuales se puedan determinar las siguientes constantes de los suelos:

- Contenido de Humedad de la muestra
- Densidad seca in-situ
- Porcentaje de compactación

MATERIAL Y EQUIPO

- Arena: como se mencionó en las generalidades, aunque no sea posible realizar el ensayo con arena de Ottawa, el material que se seleccione debe presentar por lo menos las siguientes características:
 - ✓ Debe ser arena con el mayor porcentaje posible de uniformidad en su tamaño. Joseph Bowles (1980) recomienda en su manual que la arena presente un tamaño comprendido entre el tamiz No. 20 y No. 30 y expone además que esa uniformidad previene fenómenos de segregación.
 - ✓ Teniendo en cuenta que la arena es reutilizable, se debe garantizar que esta no presente impurezas, resultado de trabajos anteriores.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

- ✓ En el momento de llenar tanto el recipiente como la excavación, esta debe fluir libremente por lo que se necesita que no haya ningún grado de adherencia o cementación entre sus granos y que estos sean de forma redondeada.
- ✓ No se debe combinar arenas de diferentes fuentes, aun cuando ambas cumplan con gradación y demás características.
- ✓ Se debe prestar especial cuidado a su almacenamiento, pues su alta capacidad de absorber humedad de la atmosfera puede producir cambios en su densidad y cuyo dato es necesario para determinar el resultado final del ensayo.
- ✓ El cálculo de su densidad se debe llevar acabo con la misma exactitud y rigurosidad con la que se realiza el ensayo en campo.

- Aparato Cono y Arena

El aparato cono y arena es un equipo compuesto por tres partes principales que a continuación se explican de manera detallada:

- ✓ Cono Metálico: su material normalmente de aluminio u otro material que no presente resistencia al deslizamiento libre de la arena. En su parte inferior cuenta con una válvula cilíndrica de un diámetro que varía entre los 12,5 mm y 13,00 mm y que se encuentra en la parte central separando el embudo grande del embudo pequeño que permite la conexión con la boca del frasco.

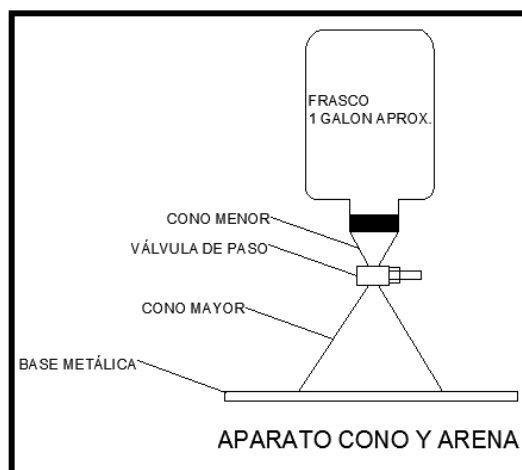


Figura 8 Grafico de aparato Cono y Arena

- ✓ Frasco contenedor de arena: el frasco del aparato tiene una capacidad estándar de 1 galón (3785 cm³), aunque en diferentes laboratorios suelen usarse frascos de mayor o menor tamaño, teniendo en cuenta que el contenido del mismo sea suficiente para llenar el hueco que se hace en el terreno para llevar a cabo el



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

ensayo. Su material puede ser de plástico y vidrio, siendo el primero el más utilizado por facilidades de maniobrabilidad y menos opción de rotura.

- ✓ Base: corresponde a una platina de forma cuadrada, con un orificio en su centro y cuyo diámetro es ligeramente mayor al diámetro del cono metálico superior. Sus características deben permitir que una vez puesto en el terreno, su superficie de contacto sea total y no permita que la arena que fluye tome otro rumbo diferente al interior del hueco o perforación.

Nota: es importante aclarar que tanto el frasco, como el cono y la placa conforman la totalidad del equipo y no deben combinarse con otros equipos.

- Equipo menor: se debe contar como mínimo con un martillo y un cincel para realizar la perforación, así como con una cuchara o cucharón para retirar la totalidad del suelo y una brocha de mecha fina para manejar con precisión la arena.
- Balanza 1: balanza con capacidad de mínimo 10 kilogramos para llevar a cabo la determinación de la constante del cono, la densidad de la arena y los pesos propios de los materiales recuperados, con precisión de 1,0 g.
- Balanza 2: balanza con capacidad de 1000 g para determinación de contenido de humedad, con precisión de 0,1 g.
- Horno: debe trabajar y mantener una temperatura de $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO



EQUIPO DENSIDAD C Y A	
1	Recipiente de arena
2	Valvula de paso
3	Embudo
4	Placa Base
5	Martillo
6	Cinzel y Espatula
7	Brocha de mecha fina
8	Flexometro
9	Capsula para humedad

Imagen 27 Equipo para Ensayo Densidad Cono y Arena

DETERMINACIÓN DE LA CONSTANTE DEL CONO

- Se llena el aparato cono y arena y se determina su peso.
- Sobre un banco de madera o de metal cuya superficie sea totalmente plana, se coloca la base metálica asegurándose que no se vaya a deslizar o a mover una vez sobre esta se coloque el aparato cono y arena.
- Cuando se esté seguro de la situación anterior, se coloca el aparato cono y arena sobre la placa de modo que el cono superior coincida con el orificio de la placa. Se abre la válvula y se deja fluir la arena hasta que pare.
- Una vez pare la arena de fluir se cierra de nuevo la válvula y el aparato se lleva a la balanza para tomar su nuevo peso. La diferencia del peso del aparato lleno con el peso del aparato después de dejar fluir la arena hasta parara, será la constante del cono.
- El procedimiento se realiza mínimo tres veces, promediando así los pesos obtenidos y lograr una mayor precisión en los resultados. Se debe comprobar que la variación entre



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

pesos no debe ser mayor al 1 % y en dado caso que se presente tal situación se deben descartar los datos y hacer de nuevo el procedimiento.

La constante del cono se calcula de la siguiente manera:

$$C_c = M_o - M_f$$

Donde:

Cc: Constante del Cono (promedio de los tres ensayos)

Mo: Peso aparato cono y arena lleno

Mf: Peso aparato cono y arena después de dejar fluir la arena hasta parar.

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE LA ARENA

- Se toma un recipiente de volumen y peso conocido. Normalmente para esta operación se utiliza el recipiente del ensayo de Proctor Modificado.

- Se llena el aparato cono y arena hasta el nivel de la válvula y posteriormente se cierra la misma. Se registra el peso total del aparato cono y arena lleno.

- Teniendo en cuenta que el diámetro del recipiente de Proctor y del cono superior del aparato son muy similares, se coloca la base metálica en el borde superior del recipiente y sobre esta se coloca el aparato cono y arena cuidando que encajen con la mayor exactitud posible.

- Una vez el sistema este montado se abre la válvula y se deja fluir la arena hasta que deje de hacerlo.

- Luego se toma el peso del aparato cono y arena y teniendo en cuenta que ya se conoce la constante del cono, se puede conocer también el peso de la arena necesaria para llenar el recipiente.

- El procedimiento se realiza mínimo tres veces, promediando así los pesos obtenidos y lograr una mayor precisión en los resultados. Se debe comprobar que la variación entre pesos no debe ser mayor al 1 % y en dado caso que se presente tal situación se deben descartar los datos y hacer de nuevo el procedimiento.

La densidad de la arena se calcula de la siguiente manera:

$$\rho = \frac{M_o - M_f - C_c}{V_r}$$



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

Donde:

ρ : Densidad de la Arena

Mo: Peso aparato cono y arena lleno

Mf: Peso aparato cono y arena después de llenar el recipiente

Cc: Constante del Cono.

Nota: es importante aclarar que cada vez que se realice cambio de equipo y de arena, los procedimientos de densidad de arena y constante de cono se deben realizar nuevamente. Sin importar que la arena venga de la misma fuente, siempre se van a presentar variaciones por mínimas que sean.

PROCEDIMIENTO

El procedimiento para la determinación de la densidad de un suelo por el método cono y arena se lleva a cabo en dos etapas: campo y laboratorio. Del cuidado, la precisión y la técnica con la que se lleven a cabo cada una de ellas dependerá el resultado final del ensayo. Como se enuncio en las generalidades al comienzo del capítulo, es un ensayo que da la aprobación o desaprobación a las condiciones de compactación de las obras, por ende debe tomarse con mucha seriedad y profesionalismo.

Procedimiento en campo:

- Es importante aclarar que una vez se esté en campo y el aparato de cono y arena este lleno hasta la válvula, el operario debe conocer este peso, el cual debió ser tomado previamente en el laboratorio.
- Determinar la zona específica donde se va a realizar el ensayo y preparar la superficie para que presente una condición plana y pueda hacer juego de la manera más precisa con la placa de base. Se debe tener especial cuidado en no cambiar las condiciones de la estructura de suelo en el momento de buscar que su superficie quede plana.
- Una vez se tenga una superficie plana se coloca la base metálica sobre el suelo y se verifica lo siguiente:
 - ✓ Que los bordes del orificio de la base metálica estén totalmente en contacto con el suelo, para evitar el flujo de arena por debajo de la placa.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

- ✓ Que la placa no se vaya a correr una vez se esté realizando el ensayo. Para esto cuando sea necesario se colocaran calzas en los extremos de la base metálica que impidan su movimiento.
- Haciendo uso del cincel y el martillo se lleva a cabo la excavación teniendo en cuenta la siguiente tabla dada en la Norma INV E-161-13 para determinar el volumen de la excavación en función del tamaño máximo de las partículas:

TAMAÑO MÁXIMO DE PARTÍCULAS		VOLUMEN MÍNIMO DEL HUECO DE ENSAYO	
mm	pulgadas	cm ³	pies ³
12.7	½	1415	0.05
25.4	1	2125	0.075
38.0	1 ½	2830	0.1

Fuente: INV E 161-13

Tabla 7 Volumen mínimo para hueco del ensayo.

- A medida que se realiza la excavación, el material resultante se deposita en un recipiente o bolsa hermética que garantice que se conservara su humedad natural. Es importante que las paredes de la excavación no presenten irregularidades considerables con el fin de obtener resultados los mas reales posibles.



Imagen 28 Excavación para ensayo



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

- A continuación teniendo la válvula cerrada se voltea boca-abajo el aparato cono y arena sobre la base metálica y se abre la válvula dejando fluir libremente la arena hasta que pare. Se cierra la válvula y se retira el aparato cono y arena.

Nota: una vez se realice el paso anterior es importante recuperar la mayor cantidad posible de arena para los ensayos posteriores, teniendo en cuenta que su adquisición es costosa y muchas veces difícil de encontrar. En algunos laboratorios prefieren utilizar bolsas plásticas para que la arena no tenga contacto directo con el suelo y se pierda el cero por ciento, procedimiento que muchas veces puede alterar los resultados. Se recomienda que la arena recuperada sea tamizada para garantizar que los finos que pudieron adherirse a esta sean eliminados.



Imagen 29 Finalización de ensayo en campo

Fuente imagen: http://es.slideshare.net/rubi_18_44/compactacion

- Se registra el peso del aparato cono y arena después de dejar fluir hasta parar y el peso del material excavado. Es necesario conocer el peso inicial del recipiente donde este va ser almacenado.

Procedimiento de Laboratorio

- Una vez se hayan terminado las labores de campo, se procede en el laboratorio a determinar el contenido de humedad del suelo resultante de la excavación y cuyo método fue explicado en el capítulo 2.1 del presente manual.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO



Imagen 30 Determinación de Humedad Natural

CÁLCULOS

- Volumen de excavación:

$$V_e = \frac{M_o - M_1 - C_c}{\rho}$$

Donde:

Ve: Volumen de la excavación

Mo: Peso inicial de aparato cono y arena lleno

M1: Peso de aparato cono y arena después de dejar fluir hasta parar

Cc: Constante del cono

P: Densidad de la arena

- Contenido de humedad del suelo:

$$W(\%) = \frac{W_h - W_s}{W_s - W_r} * 100$$

Donde:

W(%): Porcentaje de humedad del suelo

Wh: Peso húmedo de la muestra para humedad + recipiente

Ws: Peso seco demuestra para humedad + recipiente

Wr: Peso del recipiente

- Masa Seca del Suelo:



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

$$W_{seco} = \frac{Wh}{1 + w}$$

Donde:

Wseco: peso seco del suelo de excavación
Whum: peso húmedo del suelo de excavación
w: Contenido de humedad

- Densidad Seca In-Situ:

$$\rho = \frac{W_{seco}}{V_e}$$

Donde:

ρ : Densidad seca in-situ
Wseco: Peso seco del suelo de excavación
Ve: Volumen de la excavación

- Porcentaje de Compactación :

$$\% C = \frac{\rho}{\rho_{max}} * 100$$

Donde:

%C: Porcentaje de compactación
 ρ : Densidad Seca in-situ
 ρ_{max} : Densidad Seca máxima en laboratorio

ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

- Botas punta de acero
- Gafas de seguridad
- Guantes de seguridad
- Overol o bata de trabajo.

INFORME



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

En el informe debe presentar la siguiente información:

- Nombre del proyecto, localización, número de ensayo
- Descripción y Clasificación del Suelo
- Contenido de Humedad inicial
- Equipos utilizados durante el ensayo.
- Densidad seca in-situ
- Porcentaje de Compactación



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

FORMATO TOMA DE DATOS

 UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA	FORMATO DE ENSAYO DE DENSIDAD CONO Y ARENA - I.N.V. E- 161- 13-LABORATORIO DE SUELOS	CODIGO LAB-GEO-02	PAG 1		
		EDICIÓN 1			
		FECHA 24/10/2014			
		CSC 1734			
PROYECTO : CONTRATANTE:	MEJORAMIENTO DE REDES EXISTENTES CONSORCIO INTERVENTORIA VIAS 2014				
MUESTRA Nº: ABSCISA: DESCRIPCIÓN	LOCALIZACIÓN:	FECHA:			
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL MATERIAL EXTRAIDO					
Muestra Nº	1	2	3	4	5
Peso Recipiente+Muestra Húmeda (g)					
Peso Recipiente+Muestra Seca (g)					
Peso del Agua (g)					
Peso Recipiente (g)					
Peso Muestra Seca (g)					
Contenido de Humedad W (%)					
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD					
Ensayo Nº	1	2	3	4	5
Peso total Aparato + Arena					
Peso Aparato + Arena Restante					
Peso de Material Extraido Humedo					
OBSERVACIONES : _____ _____ _____					
REALIZÓ		APROBÓ		COPIA CONTROLADA	SI
LABORATORISTA		COORDINADOR			
Bogotá, D.C. - Colombia					



**MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE
SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO**

2.9. PROCEDIMIENTO ENSAYO DE CORTE DIRECTO



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

REFERENCIAS:

I.N.V. E – 154 – 13

ASTM D 3080 – 98

AASHTO T 236 – 03

J. Bowels. (1981), Manual De Laboratorio De Suelos En Ingeniería Civil (Pág. 175-183). (México): Mc GRAW-HILL.

J. Badillo, R. Rodríguez. (2012), Mecánica De Suelos, Tomo 1, Fundamentos De La Mecánica De Suelos (Pág. 373-388). (México): Limusa.

GENERALIDADES

Sin duda uno de los factores mas importantes en la caracterización de materiales térreos dentro de la mecánica de suelos y en la búsqueda de obtener los parámetros necesarios para poder llevar a cabo obras que garanticen la estabilidad en las obras civiles, es la resistencia al esfuerzo cortante que presentan los suelos.

Juárez Badillo (2005) expone en su libro “Mecánica de Suelos” que en el momento la mecánica de suelos en cuanto al tema de resistencia al esfuerzo cortante se encuentra en transición, pues en su momento con las teorías impuestas por Mohr Coulomb se tenia una certeza de haber resuelto el problema en forma satisfactoria, hoy en día no se piensa lo mismo y no se pueden considerar propiedades del suelo como la cohesión y el ángulo de fricción como apellidos del mismo. Asi mismo expone que hoy en día las tecnologías o investigaciones actuales no han podido sustituir el cuerpo de doctrina, sistematizarlo y completarlo como antes se disponía.

El ensayo de corte directo consiste en inducir una falla en una muestra de suelo, a través de la imposición de dos esfuerzos: el primero de ellos un esfuerzo normal, que se da mediante la aplicación de un carga vertical y que esta direccionado a inducir las condiciones de presión a las que esta sometida dicha muestra en su entorno natural y un esfuerzo cortante que se da mediante la aplicación de una carga horizontal y que cuyos valores de esfuerzos obtenidos a través del ensayo permiten obtener un plano de ejes coordenados y a través del cual se determinan los valores de cohesión y ángulo de fricción. Sus aplicaciones en la ingeniería con el tiempo han perdido aplicabilidad y han sido sustituidas en muchos casos por el ensayo de compresión triaxial, pero se debe decir que por cuestiones de simplicidad, tiempos, economía, facilidad en la interpretación y últimamente con la mejoría al implementar las cajas cuadradas, el ensayo se ha mantenido vigente y al parecer seguirá siendo asi.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

La literatura expone que cuando el ensayo es efectuado en materiales no cohesivos, el valor de cohesión arrojado debería ser cero, pero que por la inexactitud del ensayo y efectos como la tensión superficial de los materiales húmedos no cohesivos, se pueden presentar valores de cohesión. En tales casos y apelando a la experiencia de ingeniero encargado y su criterio se debe decidir si dicho valor se desprecia o se conserva. Los ensayos que se pueden realizar son los siguientes:

Corte directo no consolidado – no drenado (UU): se considera un ensayo rápido, donde los esfuerzos cortantes se empiezan a aplicar antes de la etapa de consolidación bajo la carga normal. Cuando el suelo es cohesivo y está saturado se desarrollara un exceso en la presión de poros.

Corte directo consolidado – no drenado (CU): en este ensayo se permite que la etapa de consolidación se presente antes de someter la muestra a esfuerzos cortantes, siendo así, en el momento de aplicar las cargas horizontales la presión de poros en cero, pero dicha presión horizontal es rápida y esto hace que durante el ensayo no se disipe la presión de poros.

Corte directo consolidado – drenado (CD): se considera como el ensayo más lento y por ende demorado de todos. Se efectúa de igual manera que en ensayo CU pero al aplicar el esfuerzo cortante, estese aplica de la manera más lenta posible permitiendo así el drenaje de la muestra en todo momento y la disipación de las presiones de poros.

Dependiendo del tipo de suelos que se ensaye se encontrara variabilidad en los resultados de estos tres métodos de ensayo. Para suelos cohesivos el método de ensayo determinara los resultados y habrá diferencias entre los mismos, por el contrario para suelos no cohesivos el resultado no presentara variabilidad significativa, bien sea que estos estén o no saturados.

Los resultados que se obtienen en el ensayo de corte directo son utilizados en proyectos de fundaciones, en el cálculo de estructuras de contención, en la determinación de entibados en excavaciones, en estabilización de diques de tierra y por supuesto en estabilidad de taludes.

La ejecución del ensayo de corte directo debe ser realizada por una persona capacitada y que conozca a cabalidad el tema y el desarrollo del mismo. Sus características y sus muchas variables hacen que se cometan errores con facilidad y que los resultados obtenidos diverjan de la realidad considerablemente. Es importante la exactitud desde el momento mismo del muestreo, así como el transporte de la muestra, su preparación y finalmente la ejecución en cada uno de los tres ensayos que se realizan, es por eso que se recomienda que el personal sea capacitado y que el desarrollo del ensayo se realice bajo la supervisión de un profesional en ingeniería civil.

OBJETIVO



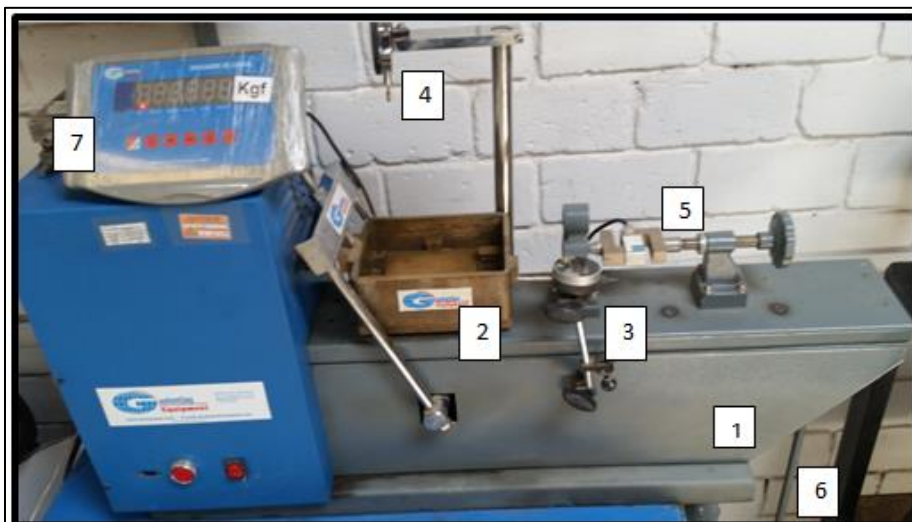
MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

Este método de ensayo tiene como propósito obtener datos por medio de los cuales se puedan determinar las siguientes constantes de los suelos:

- Consolidación inicial y final
- Contenido de Humedad de la muestra
- Valor de Cohesión y ángulo de fricción
- Grafico Esfuerzo Normal vs Esfuerzo de Corte

EQUIPO

- Equipo de corte directo y caja de corte:



MAQUINA CORTE DIRECTO	
1	Banco de ensayo
2	Carro Deslizante
3	Deformimetro 1
4	Deformimetro 2
5	Celda de carga
6	Brazo de carga normal
7	Celda de medición

Imagen 31 -Equipo de corte directo



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

El equipo de corte debe ser una maquina con la capacidad de producir tanto esfuerzos normales como horizontales (esfuerzos de corte). Dotado con un carro móvil que lleva dentro de si una caja en la cual se desarrollara el centro del ensayo y dentro de ella la muestra con piedras porosas en sus extremos para permitir el drenaje, así como deformímetros que permitan registrar asentamientos y deformaciones horizontales y una celda que registre con precisión las fuerzas de corte aplicadas. A continuación se presenta una ilustración detallada con cada uno de los componentes o partes de la caja de corte:

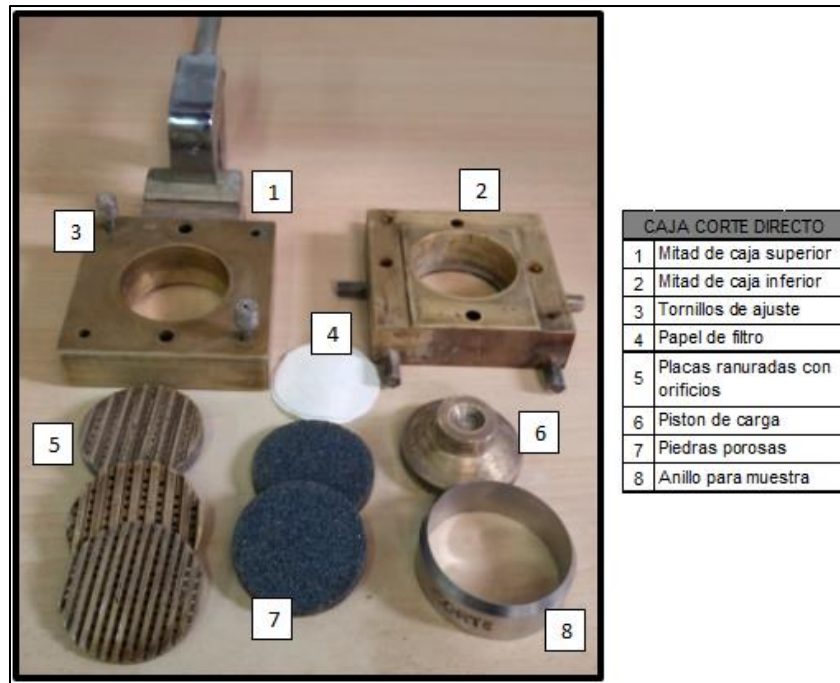


Imagen 32 Caja de corte y partes de la misma

Como se aprecia en la ilustración, la caja debe tener dos partes principales, una superior y una inferior, así como cada una de sus partes para poder llevar a cabo el ensayo. Su material debe ser resistente a la corrosión, preferiblemente de bronce o acero inoxidable.

Nota: es importante que se tenga claro la relación de carga que maneja el brazo donde se disponen las pesas para producir el esfuerzo normal. Dependiendo de la máquina que se tenga este suele variar. Normalmente las maquina manejan una relación de brazo de 1 o de 10.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

- Dispositivo de aplicación fuerza cortante: se debe contar con una celda de carga y una de medición de las fuerzas horizontales aplicadas, cuyos datos aportados manejen la mayor exactitud posible, siendo esta mínimo de un 1% la fuerza horizontal aplicada.
- Discos de carga: pesas cuya masa este registrada en las mismas y cuya función será aportar a carga para producir los esfuerzos normales. Deberán tener una ranura en uno de sus radios para poder disponerlas en el brazo de carga.
- Deformímetros para asentamientos y deformaciones horizontales: debe ser un comparador de caratula, cuyos registros aporten una precisión de 0,0025 mm y una longitud de medición de mínimo 1,0 pulgadas. El primero de ellos en contacto con el marco de carga normal y el segundo con la pared del carro deslizante.
- Herramientas de tallado de la muestra: si bien no se cuenta con un tallador de muestras, por lo menos de debe contar con espátulas largas que permitan tallar y enrazar la muestra.
- Horno de secado: con capacidad para mantener temperaturas constantes de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Balanza de precisión: con precisión de 0,01 g, previamente calibradas.
- El equipo necesario para llevar a cabo el ensayo de humedad natural

MUESTRA

- Temperatura: para mantener inalterada la humedad de la muestra los sitios en donde se realizan los ensayos no deben tener variaciones de temperatura mayores a $\pm 4^{\circ}\text{C}$, ni tampoco tener un contacto directo con la luz solar.
- Muestreo y Almacenamiento: El muestreo de un suelo es la etapa previa al análisis y determinación de propiedades. Es probablemente la fase más importante para la obtención de datos analíticos que puedan considerarse seguros y poder hacer un dictamen verídico sobre el suelo en análisis.
Su almacenamiento debe garantizar que la muestra conserve su humedad natural y que no se presentes eventos de cambios de volumen en el mismo. Se debe evitar golpear las muestras y producir fisuras en las mismas.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Para la realización del ensayo de corte directo en muestras cohesivas, se debe realizar el ensayo a tres muestras de igual naturaleza, profundidad y condición. Para cada ensayo se hará una variación en el valor de la carga normal aplicada, de tal



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

modo que se logren obtener tres (3) puntos dentro de la gráfica Esfuerzo Normal vs Esfuerzo Cortante y de esta manera proyectar una línea de tendencia que permita determinar Angulo de fricción y cohesión. En función de lo anterior se debe preparar tres muestras, cada una en el momento previo a la realización del ensayo.

- El primer paso a tener en cuenta es garantizar que la muestra que se va ensayar, bien sea proveniente de muestreo por tubo Shelby o por tubo de cuchara partida, sea lo suficientemente grande como para moldear tres muestras del mismo tamaño. No se podrá moldear muestras de diferentes profundidades.
- Las dimensiones de cada muestra son definidas por las dimensiones del anillo que se maneje y este a su vez dependiente de las dimensiones de la caja de corte. Normalmente se manejan diámetros de aproximadamente 50 mm y alturas de aproximadamente 20 mm.

Muestras Inalteradas : provenientes de calicatas o tubos de pared delgada (Shelby).

- Corte una porción de la muestra de aproximadamente 40 mm de altura y dispóngala sobre una superficie plana y que no afecte sus condiciones de humedad. Aplicando una presión controlada deslice el anillo sobre la muestra hasta que esta llene por completo la cavidad del anillo.
- Con la ayuda de una hoja de segueta afilada o una hoja de bisturí, corte el material que rebasa los extremos del anillo y enrase perfectamente las superficies. Se debe tener especial cuidado de no producir compactación en la muestra mientras se realiza el procedimiento.
- Se debe registrar previamente el peso del anillo, sus dimensiones exactas y posteriormente el peso del anillo más la muestra.
- Con el material sobrante, resultado del enrasado, se debe realizar el ensayo de humedad natural inicial.

Muestras compactadas:

- Secar el material al aire hasta que el mismo obtenga condiciones de humedad ambiente. De no contar con el tiempo suficiente, llevar el material al horno a una temperatura que no exceda 60 grados centígrados.
- Desmenuzar el material, teniendo cuidado de que no se produzca rompimiento o trituración de las partículas.
- Agregar agua previamente medida con el fin de producir un contenido de humedad específico.
- Si se trata de material SW o SP no es necesario dejar reposar, si es material SM dejar reposar 3 horas, si es material SC,ML o CL dejar reposar 18 horas y si se



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

trata de material MH o CH dejar reposar 36 horas. Lo anterior según la ASTM D3080-98.

- Realizar el proceso de compactación dentro de la misma caja de corte o en el anillo y luego llevar la muestra a la caja de corte.
- Se debe compactar por capas y apisonar las mismas con un compactador, preferiblemente de diámetro medianamente inferior al de la muestra y realizando una escarificación antes de la aplicación de la próxima capa. Realizar la compactación hasta obtener un peso unitario específico.
- Otro método a utilizar para llevar a cabo la obtención de la muestra, es compactar material en molde proctor, de acuerdo al ensayo de compactación que se encuentra en el Capítulo 2.11 del presente manual, y por presión moldear la muestra como si fuese muestra inalterada.
- Se debe registrar previamente el peso del anillo, sus dimensiones exactas y posteriormente el peso del anillo más la muestra.



Imagen 33 Preparación de muestra para ensayo Corte Directo

PROCEDIMIENTO

- Se debe garantizar que los equipos a utilizar dentro del ensayo tengan vigentes las calibraciones y conocer cuáles son las unidades en las que los mismos aportan los datos de salida.

Armado de la caja y ensamble en equipo de corte



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

- En su superficie de plana y resistente colocar la caja y armarla.
- Una vez enfrentadas las dos partes de la caja y lubricadas con aceite en su superficie de contacto, asegurar las mismas con los tornillos alineadores que lleva la parte superior.

Nota: la parte superior de la caja posee tornillos en sus cuatro esquinas. Una de sus diagonales funciona como tornillos alineadores y la otra como tornillos separadores, los cuales se utilizan en el momento de realizar el ensayo de corte.

- Colocando el anillo sobre el borde del orificio de la caja superior y previamente una piedra porosa en el fondo de la caja, empujar el espécimen hasta que este salga del anillo y se situé sobre la piedra porosa. El método de empuje se debe realizar de tal manera que la fuerza se aplique sobre la mayor área superficial posible de la cara superior.
- Esta operación se debe realizar con los tornillos alineadores o de bloqueo ajustados para no producir esfuerzos cortantes por la manipulación de la caja, en momentos previos al inicio del ensayo. Seguido de esto se coloca una piedra porosa, la placa ranurada y el pistón de carga en la parte superior de la muestra.

Nota: la norma INV 154 -13 dice que dependiendo del tipo de ensayo a realizar se humedecerán o no previamente las piedras porosas. Para muestras inalteradas bajo nivel freático se deben humedecer las piedras previamente, para suelos expansivos se deben humedecer después de la aplicación de la fuerza normal.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

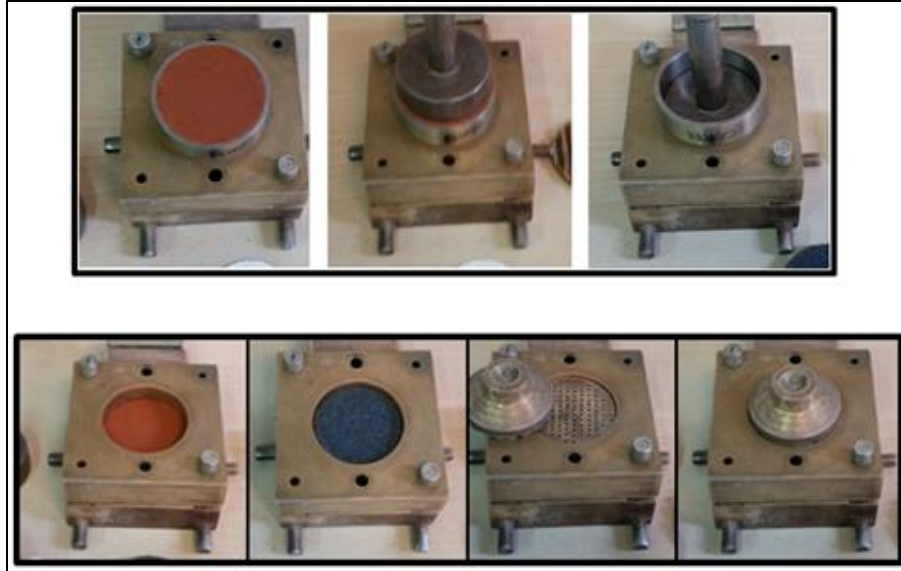


Imagen 34 Montaje de la muestra en la caja de corte

- Ensamblar la caja de corte perfectamente centrada dentro del carro deslizante y ajustar la celda de carga horizontal y vertical sin producir ni registrar fuerza alguna.



Imagen 35 Ensamble de caja de en máquina de corte directo

Aplicación de esfuerzos y falla de la muestra

- Llevar a cero los deformímetros encargados de medir la consolidación producto del esfuerzo normal aplicado y los desplazamientos horizontales producto de los esfuerzos cortantes aplicados.
- Previamente se debe calcular la carga normal que se aplicara a la muestra, la cual dependerá del peso unitario de la muestra y de la profundidad a la que esta haya sido extraída. También se decidirá las cargas que se pondrán en los dos



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

especímenes a ensayar posteriormente; si bien se harán ensayos por encima y por debajo o solamente por encima. Esto dependerá directamente del tipo de proyecto que se esté realizando y de las solicitudes a las que estará sometido el suelo en el terreno natural una vez se lleve a cabo el proyecto.

- Es importante aclarar que en la medida de lo posible se haya realizado previamente el ensayo de consolidación unidimensional, de tal manera que se tenga conocimiento del t_{50} de la muestra y así tener conocimiento del tiempo final del ensayo.

$$t_f = 50 * t_{50} \quad (\text{valor en minutos})$$

- Se realiza la aplicación de la carga normal, mediante la colocación de pesas de acero en el brazo de carga.
- Cuando se realiza la aplicación de cargas grandes y las muestras se encuentran saturadas, se corre el riesgo que la muestra se reviente por la carga súbita y se salga de la caja de corte, situación que suele presentarse en materiales blandos cohesivos. Con base a lo anterior se recomienda llevar a cabo la carga normal en intervalos pequeños, de modo que la estructura del espécimen no se vea afectada y no se corra el riesgo de tener que repetir el ensayo.



Imagen 36 Aplicación de cargas normales

- Llenar el carro de desplazamiento una vez se haya aplicado la carga normal, de modo que el nivel del agua quede por encima de la muestra, manteniendo el nivel en todo el tiempo que dure el ensayo. Esto permite que haya drenaje y que el proceso de la consolidación se lleve a cabo.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO



Imagen 37 Inundación de caja de corte

- Si se desea obtener el grafico de consolidación se deben registrar los puntos de deformación para cada incremento de carga una vez se lleve a cabo el proceso de consolidación primario. De otro modo solo se registrara el valor de consolidación inicial es decir cero y el valor de consolidación final.
- Terminado el proceso de la consolidación empezara el proceso de corte de la muestra. Los tornillos de bloqueo o alineadores son soltados y entran en reemplazo de ellos los tornillos de separación, los cuales levantaran la parte superior de la caja 0,25 mm con respecto a la parte inferior. Se debe tener cuidado que la superficie de contacto de los tornillos con la caja inferior no presente desgaste o fisuras, pues en el momento del corte este puede aumentar considerablemente la fuerza cortante necesaria.
- El procedimiento indicado es este manual es metiandte el método de control por deformación. Se ajusta el computador a la velocidad determinada previamente y se empieza el proceso de corte.
- La velocidad de corte depende del material que se esta ensayando y la norma INV 154-13 propone la siguiente ecuación para determinar dicha velocidad:

$$V_{corte} = \frac{\text{desplazamiento estimado para la falla (mm)}}{\text{tiempo calculado para la falla (segundos)}}$$

La literatura expone que el desplazamiento promedio para suelos normalmente consolidados es de 12 mm y de 5 mm para suelos sobre consolidados.

- De esta manera se aplica la fuerza cortante a velocidad constante y se registran las cargas aplicadas y tiempos a los intervalos definidos de deformación. En el momento en que las cargas que registra la celda se vuelvan constantes o en su defecto decrezcan súbitamente se dara por terminado el ensayo y se tendrá



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

seguridad que la falla se ha producido. De no darse esta condición se determinara que se ha producido falla cuando la deformación sea mayor al 10% del diámetro de la muestra.



Imagen 38 Muestra Fallada

- Desmontar las pesas del brazo de carga y dar la orden al computador de retroceder la celda de carga cortante. Llevar la muestra a un recipiente y realizar ensayo de humedad natural.

CÁLCULOS

- Área:

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

Donde:

A: área de la cara de la muestra

D: Diámetro de la muestra

- Volumen:

$$V = A * H$$

Donde:

V: volumen de la muestra

H: altura de la muestra

- Peso Seco:

$$W_{seco} = \frac{W_{hum}}{1 + w}$$



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

Donde:

Wseco: peso seco de la muestra
Whum: peso húmedo de la muestra
w: Contenido de humedad

- Peso Húmedo:

$$\gamma_{hum} = \frac{Whum}{V}$$

Donde:

γ_{hum} : Peso Unitario Húmedo
Whum: Peso Húmedo
V: Volumen de la muestra

- Área corregida

$$A_{corregida} = A_{inicial} - (Dh * (0.254)^3)$$

Donde:

Dh: Deformación horizontal

- Esfuerzo Normal:

$$\sigma = \frac{q}{A_{corregida}}$$

Donde:

σ : Esfuerzo Normal
q: carga normal

- Esfuerzo de corte :

$$\tau = \frac{q_c}{A_{corregida}}$$

Donde:

τ : Esfuerzo de corte
qc: carga horizontal

- Porcentaje de Humedad :

$$W(\%) = \frac{Wh - Ws}{Ws - Wr} * 100$$

Donde:

Wr: Masa del recipiente
Wh: Masa de Recipiente + Suelo Húmedo



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

Ws: Masa de Recipiente + Suelo Seco

- Grafica Esfuerzo Normal vs Esfuerzo de Corte

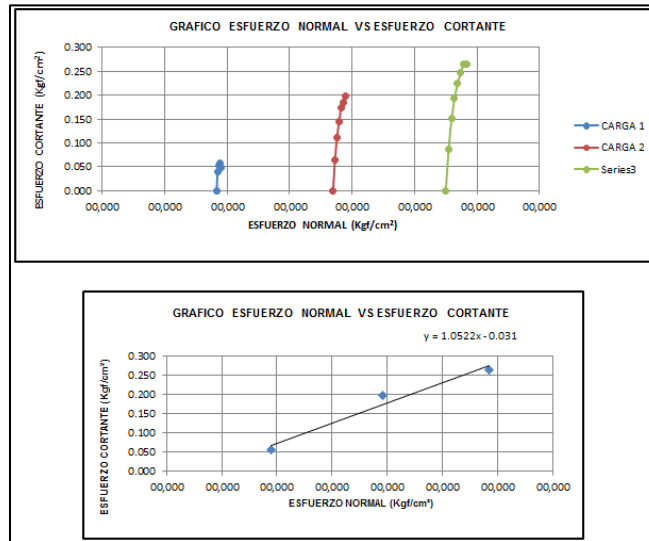


Figura 9 Esfuerzo Normal VS Esfuerzo de Corte

ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

- Botas punta de acero
- Gafas de seguridad
- Guantes de seguridad
- Overol o bata de trabajo.

INFORME

En el informe debe presentar la siguiente información:

- Nombre del proyecto, localización, número de sondeo, apique o trinchera, número de muestra y profundidad.
- Descripción y Clasificación del Suelo
- Contenido de Humedad inicial y final
- Equipos utilizados durante el ensayo.
- Condición de ensayo (saturado o humedad natural)
- Tipo de muestra (inalterada o compactada)



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

- Consolidación inicial y final
- Cargas de celda y deformaciones horizontales y verticales
- Valores de esfuerzos normal y de corte
- Valores de ángulo de fricción y cohesión.
- Grafica Esfuerzo Normal vs Esfuerzo de Corte



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

FORMATO TOMA DE DATOS

 UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA	FORMATO DE CORTE DIRECTO - INV. E- 154 - 13-LABORATORIO DE SUELOS	CODIGO EDICION FECHA C.S.C.																
MUESTRA N°: PROFUNDIDAD (m): FECHA: LOCALIZACIÓN: DESCRIPCIÓN	TIPO: ABSCISA FUENTE:	NUMERO: TIPO DE MUESTRA: SECCIÓN DE MUESTRA: FALLADO EN CONDICIÓN: EQUIPOS:																
DATOS INICIALES	ETAPA DE CONSOLIDACIÓN	CONTENIDO DE HUMEDAD																
Diametro (cm) Altura (cm) Peso Anillo (g) Peso muestra + anillo Peso muestra (g) Peso de la muestra solida (g) Carga normal (Kg) Velocidad de Falla (mm/min)	Def. Inicial (in) Def. Final (in)	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>INICIAL</th> <th>FINAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Recipiente</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>W1(g)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>W2(g)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Wc(g)</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p style="font-size: small;"> w1: Peso recipiente+muestra humeda w2: Peso recipiente+muestras eca wc: Peso del recipiente </p>		INICIAL	FINAL	Recipiente			W1(g)			W2(g)			Wc(g)			
	INICIAL	FINAL																
Recipiente																		
W1(g)																		
W2(g)																		
Wc(g)																		
DEFORMACIÓN HORIZONTAL (in)	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3															
	VERTICAL (in)	LECTURA DE CELDA (Kgf)	DEF. VERTICAL(in) LECTURA DE CELDA (Kgf)	DEF. VERTICAL(in) LECTURA DE CELDA (Kgf)														
0,0000 0,0100 0,0200 0,0300 0,0400 0,0500 0,0600 0,0700 0,0800 0,1000 0,1100 0,1200 0,1300 0,1400 0,1500 0,1600 0,1700 0,1800 0,1900 0,2000																		
OBSERVACIONES: _____ _____ _____																		
REALIZÓ	APROBÓ	COPIA CONTROLADA	SI															
LABORATORISTA	COORDINADOR																	
Bogotá, D.C. - Colombia																		



**MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE
SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO**

2.10. PROCEDIMIENTO ENSAYO DE CBR



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

REFERENCIAS:

I.N.V. E – 148 – 13

ASTM D 1883 – 07

J. Bowles. (1981), Manual De Laboratorio De Suelos En Ingeniería Civil (Pág. 189-199). (México): Mc GRAW-HILL.

GENERALIDADES

La abreviación “CBR” corresponde al California Bearing Ratio, método de análisis de materiales desarrollado en el año de 1929 por la División de Carreteras de California, con el fin de darle una clasificación a la capacidad del suelo para ser utilizado como material de base o subbase. También denominado ensayo de relación de soporte, es el procedimiento por medio del cual mediante pruebas de laboratorio y bajo condiciones de humedad y densidad controlada se puede medir la resistencia al corte de un suelo en el estado en que este se encuentre en ese momento.

El método de CBR es normalmente utilizado para analizar materiales cuyo diámetro máximo de partículas es de $\frac{3}{4}$ ”, existiendo metodologías adicionales para los casos en los cuales no se cumpla con este tipo de granulometría, pero debido a que dichos métodos no forman parte del alcance de este manual, no se detallara sobre los mismos.

En el diseño de pavimentos flexibles utilizados en las diferentes obras de infraestructura vial, el método del CBR se convierte en pieza clave en la búsqueda de evaluar la resistencia potencial de los materiales utilizados en la base y subbase de las estructuras y además de esto, brindando información sobre la expansión esperada en el suelo bajo la estructura de pavimento cuando el suelo se satura e indicando la pérdida de resistencia debida a la saturación en el campo. A continuación se presenta una tabla donde con base a los valores de CBR se establece una clasificación general para el suelo.

Valor CBR	Clasificación General	Usos
0--3	Muy Pobre	Subrasante
3--7	Pobre a Regular	Subrasante
7--20	Regular	Sub-base
20--50	Bueno	Base, Subbase
>50	Excelente	Base

Tabla 8 Clasificación de suelos según CBR

Fuente: Manual de laboratorio de Suelos. Joseph Bowles.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

Este valor se obtiene mediante la relación de la carga unitaria aplicada durante el ensayo y necesaria para lograr un valor de penetración del pistón de penetración y la densidad dada con respecto a la carga unitaria patrón requerida para obtener una profundidad igual de penetración en una muestra estándar de material en condiciones de trituración.

La determinación del CBR se puede llevar a cabo en muestras inalteradas y en muestras compactadas en laboratorio. El presente capítulo describe el método de determinación del CBR teniendo en cuenta el contenido de humedad óptimo, el cual ha sido determinado con anterioridad en el ensayo de Compactación – Proctor modificado y cuyo procedimiento se encuentra en el Capítulo 2.11 del presente manual, lo que correspondería a muestras compactadas en el laboratorio.

OBJETIVO

Este método de ensayo tiene como propósito obtener datos por medio de los cuales se puedan determinar las siguientes constantes de los suelos:

- Contenido de Humedad
- Densidad Humedad y Densidad Seca
- Porcentaje de Expansión
- Valor de CBR a 0,1 “y 0,2 “de Penetración.
- Curva de Presiones de Penetración.

EQUIPO

- Máquina de compresión: instrumento de compresión capaz de aplicar fuerzas normales a una velocidad constante y con un dispositivo de medición de las mismas, cuya precisión varía dependiendo del tipo de material.

Para suelos cuya resistencia a la compresión inconfiada se estime por debajo de 100 kPa (1kg/cm²), la máquina de compresión debe medir los valores de esfuerzos con una precisión de 1kPa (0.01 kg/cm²).

Para suelos cuya resistencia a la compresión inconfiada se estime por encima de 100 kPa (1kg/cm²), la máquina de compresión debe medir los valores de esfuerzos con una precisión de 5kPa (0.05 kg/cm²).

- Molde cilíndrico de compactación: se usa el mismo molde del ensayo de compactación. Diámetro de 6”, altura de 116.4 mm y material metálico. El molde



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

viene acompañado de una camisa superior metálica, una placa de base perforada (mínimo 20 agujeros de diámetro 1,60 mm) con tornillos verticales para ensamblar todas las piezas y finalmente un disco espaciador metálico, de 150.8 mm de diámetro y un espesor de 61.50 mm, el cual estará ubicado dentro del molde en su parte inferior.

- Martillo de compactación: martillo especial, normalmente de operación mecánica utilizado para compactar la masa de suelo con número de golpes y procedimiento específico y a una altura fija. Su diámetro es de aprox. 50.8 mm, su peso de 4536 gramos y una altura de caída de 457.2 mm.

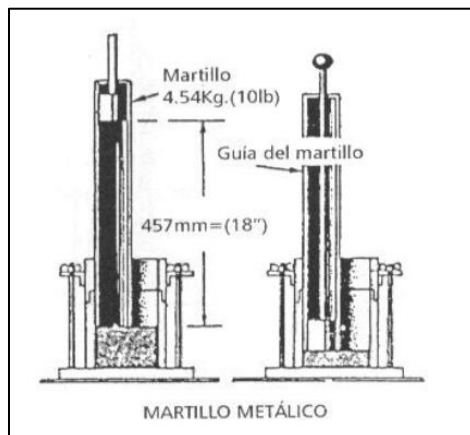


Figura 10 Equipo para ensayo de Compactación

Fuente: Universidad Nacional de Medellín- Geotecnia

- Placa de metal perforada de aprox. 150 mm de diámetro, trípode que conecte sus patas con el borde del molde y sostenga un deformímetro con su vástago de contacto.
- Sobrecargas metálicas: con un diámetro aprox. de 150 mm y peso de 2,27 kilogramos. Una de ellas anular con orificio central de 54 mm y las demás ranuradas.
- Deformímetro: debe ser un comparador de caratula, cuyos registros aporten una precisión de 0,0025 mm y una longitud de medición de mínimo 1,0 pulgadas.
- Cilindro de Penetración: el cilindro debe ser de material metálico, con una longitud mayos a 101,6 mm y un diámetro de 46,63 mm.
- Tamices: se debe contar con tamices No. 4 y $\frac{3}{4}$ ". La condición de su malla debe estar en perfecto estado.
- Horno de secado: con capacidad para mantener temperaturas constantes de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

- Recipientes de muestreo: los recipientes deben tener características especiales como son: su material preferiblemente aluminio, que soporte altas temperaturas y sea resistente a la corrosión por el contacto con la humedad de las muestras. Deben estar marcados con un código que facilite su identificación y en este caso útiles para determinar el contenido de humedad.
- Guantes contra altas temperaturas o herramientas para manejar los recipientes.
- Balanza de precisión: con precisión de 0,01 g, previamente calibradas.
- Herramientas menores: herramientas menores como son espátulas, trapos de limpieza, seguetas, entre otros.

MUESTRA

- Temperatura: para mantener inalterada la humedad de la muestra los sitios en donde se realizan los ensayos no deben tener variaciones de temperatura mayores a $\pm 4^{\circ}\text{C}$, ni tampoco tener un contacto directo con la luz solar.
- Muestreo y Almacenamiento: El muestreo de un suelo es la etapa previa al análisis y determinación de propiedades. Es probablemente la fase más importante para la obtención de datos analíticos que puedan considerarse seguros y poder hacer un dictamen verídico sobre el suelo en análisis.
Su almacenamiento debe garantizar que la muestra conserve su humedad natural y que no se presentes eventos de cambios de volumen en el mismo. Se debe evitar golpear las muestras y producir fisuras en las mismas.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Como ya se mencionó la muestra a ensayar debe tener tamaños máximos de partículas de 19 mm. Se debe preparar una muestra de masa superior a 5,0 kg cuya humedad sea la determinada como optima en el ensayo de compactación.

Joseph Bowles (1980) en su manual de procedimientos recomienda que si se desea curar el suelo para obtener una distribución mas uniforme de la humedad, se debe mezclar con el porcentaje necesario de humedad y almacenar en un recipiente sellado por espacio de 12 a 24 horas antes del ensayo.

Tomar una muestra representativa del material mezclado y humedecido, para determinar el porcentaje de humedad inicial.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

PROCEDIMIENTO

- Tomar el peso del molde, el cual debe ser un dato para corroborar, pues cada molde debe tener en sus paredes exteriores los datos de su peso, altura y volumen.
- Se arma el equipo de compactación, es decir base, molde, camisa superior y ajuste de tornillos. Se debe asegurar que el terreno o superficie donde la base del molde quede apoyada, sea firme y no presente deformaciones ni pendientes.
- Se introduce el disco espaciador sobre la base perforada y sobre este un papel de filtro y de esta manera asegurando que el suelo no presente adherencia con el disco durante la compactación.



Imagen 39 Disco espaciador y papel de filtro dentro del molde

- Se lleva a cabo la etapa de compactación, que para el caso serán cinco (5) capas, por tratarse del molde utilizado en Proctor modificado.
- A continuación se retira la camisa superior del molde y se enrasa la muestra, asegurando que los espacios que hayan quedado sean llenados con material mas fino que los orificios producidos en el enrase. Del material sobrante se debe apartar una muestra representativa con el fin de determinar el porcentaje de humedad.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO



Imagen 40 Peso de molde mas suelo compactado

- Con el fin de determinar el peso unitario del suelo, se retira el disco espaciador y se pesa el conjunto molde mas suelo compactado.
- Luego sobre la base se coloca un papel de filtro y el molde se coloca sobre este, pero esta vez invertido, de manera que el papel de filtro quede en contacto con la superficie enrasada.

A partir de este paso, el ensayo se puede llevar a cabo de dos maneras diferentes y a saber: la primera con muestras saturadas y la segunda con muestras en condición natural.

Saturada

- Lo primero que se debe hacer es determinar la presión o esfuerzo que producirá el suelo a esa profundidad, a causa de la estructura de pavimento que sobre este se vaya a construir. Una vez se tenga este dato, se debe determinar el número de sobrecargas metálicas que simularan este esfuerzo, teniendo en cuenta el área de contacto.
- Una vez se haya invertido el molde, se colocara sobre la muestra compactada, la placa perforada con el vástago y las sobrecargas previamente determinadas y cuyo valor se debe registrar. Tanto en el manual de Joseph Bowles como la Norma INV 148, recomiendan que la aproximación debe ser de 2,2 kg y nunca por debajo de 4,5 kg.
- Alistar un tanque cuya superficie inferior sea plana y estable y que se encuentre en un lugar donde no hayan vibraciones ni riesgos de producir oleaje o turbulencia dentro del mismo.
- Sumergir el molde en el tanque con todo su conjunto y asegurarse que el nivel del agua sobrepase el extremo superior de la muestra. Se recomienda que la lámina de agua superior este 20 mm arriba del punto donde empieza la camisa superior.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO



Imagen 41 Inmersión de molde y colocación de trípode con deformimetro

- Se monta el trípode sobre el borde del molde, marcando con tiza o marcador los puntos exactos de contacto de las tres patas del trípode. Esto en caso de ser necesario retirarlo durante el ensayo y ponerlo nuevamente.
- Se ajusta el deformimetro de caratula y se registra la primera lectura, registrando también la hora y el día exacto.
- El ensayo puede tener una duración de 96 horas, pero se puede dar por terminado cuando se registren valores cero de expansión por un periodo mayor a 24 horas. Por lo anterior se deduce que en ningún momento se puede dar por terminada la inmersión por un periodo inferior a 24 horas. Se recomienda hacer lecturas en los siguientes intervalos de tiempo:

Horas	0	1	2	4	8	12	24	36	48	72	96
Lectura #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

- Luego de retirar la muestra de la inmersión, se debe sacar y dejar drenar por un lapso de 15 minutos y secar sus superficies expuestas. Luego de esto se debe registrar el peso muestra saturada mas molde.
- Llevar el conjunto (con sobrecargas incluidas) a la máquina de compresión y con una presión no mayor a 4,5 kg presionar el pistón de penetración sobre la muestra.
- Tanto el deformimetro de carga como el deformimetro de penetración se deben llevar a cero luego de realizar el paso anterior.
- A partir de este momento se lleva a cabo la compresión con una velocidad de penetración de 1,27 mm por minuto.

Nota: en la mayoría de los laboratorios la aplicación de esta carga no está controlada por computador sino es aplicada manualmente. Para estos casos es necesario que el operador cuente con un cronometro y procure llevar la velocidad de penetración de la manera mas aproximada posible. El desarrollo constante de esta práctica, hará que el operario gane más exactitud con el tiempo.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

- La penetración se debe llevar hasta una profundidad de penetración de 0,5 " y los rangos de registros que se tomen pueden ser definidos por el ingeniero encargado. Se recomienda que sean rangos no mayores a 0,025 ". Entre más registros se tomen, la curva será mucho mejor definida.



Imagen 42 Penetración de CBR

No saturada

- Llevar el conjunto (con sobrecargas incluidas) a la máquina de compresión y con una presión no mayor a 4,5 kg presionar el pistón de penetración sobre la muestra.
- Tanto el deformímetro de carga como el deformímetro de penetración se deben llevar a cero luego de realizar el paso anterior.
- A partir de este momento se lleva a cabo la compresión con una velocidad de penetración de 1,27 mm por minuto.

Nota: en la mayoría de los laboratorios la aplicación de esta carga no está controlada por computador sino es aplicada manualmente. Para estos casos es necesario que el operador cuente con un cronómetro y procure llevar la velocidad de penetración de la manera más aproximada posible. El desarrollo constante de esta práctica, hará que el operario gane más exactitud con el tiempo.

- La penetración se debe llevar hasta una profundidad de penetración de 0,5 " y los rangos de registros que se tomen pueden ser definidos por el ingeniero encargado. Se recomienda que sean rangos no mayores a 0,025 ". Entre más registros se tomen, la curva será mucho mejor definida.

CÁLCULOS



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

- Área del molde:

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

Donde:

A: área del molde
D: Diámetro del molde

- Volumen del molde:

$$V = A * H$$

Donde:

V: volumen del molde
H: altura del molde

- Porcentaje de Humedad :

$$W(\%) = \frac{W_h - W_s}{W_s - W_r} * 100$$

Donde:

W_r: Masa del recipiente
W_h: Masa de Recipiente + Suelo Húmedo
W_s: Masa de Recipiente + Suelo Seco

- Densidad Húmeda:

$$\rho_{hum} = \frac{W_{hum}}{V}$$

Donde:

ρ_{hum} : Densidad Humeda
W_{hum}: Peso de la muestra humeda
V: Volumen del molde

- Densidad Seca :

$$\rho_s = \frac{\rho_{hum}}{1 + W}$$

Donde:

ρ_s : Densidad Seca
w: porcentaje de humedad



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

- Grafica Carga vs Penetración.

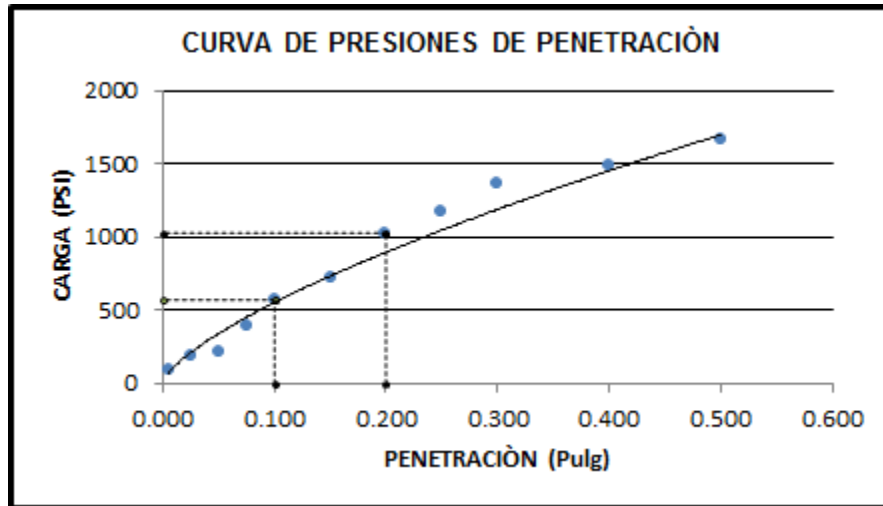


Figura 11 Curva de presiones de penetración

Cuando la parte inicial de la gráfica se presente cóncava hacia arriba, se debe trazar una tangente a la curva en el punto de inflexión, prolongándolo hasta el eje de las abscisas y cuyo punto se tomara como el nuevo origen.

- CBR a 0,1" y 0,2 " de penetración:

$$CBR = \frac{ESFUERZO EN EL SUELO PATRON}{ESFUERZO EN EL SUELO PATRON}$$

A continuación se muestra la tabla donde se presentan los datos correspondientes a la muestra patrón:

Penetración		Presión		
mm	Pulgadas	MPa	Kg./cm ²	lb/plg ²
2.54	0.1	6.90	70.31	1.000
5.08	0.2	10.35	105.46	1.500

Figura 12 Tabla de datos de muestra patrón de CBR

$$CBR 0,1 " = \frac{CARGA EN PSI}{1000} * 100$$

$$CBR 0,2 " = \frac{CARGA EN PSI}{1500} * 100$$



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

- Porcentaje de expansión: :

$$\%expansión = \frac{L_o - L_f}{H}$$

Donde:

L_o: Lectura Inicial

L_f: Lectura final

L_o: Altura del espécimen

ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

- Botas punta de acero
- Gafas de seguridad
- Guantes de seguridad
- Overol o bata de trabajo

INFORME

En el informe debe presentar la siguiente información:

- Nombre del proyecto, localización, , apique, número de muestra y profundidad.
- Descripción y Clasificación del Suelo
- Contenido de Humedad
- Equipos utilizados durante el ensayo.
- Condición de ensayo (saturado o humedad natural)
- CBR al 0,1 y 0,2”
- Porcentaje de expansión
- Grafica Carga vs Penetración



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

FORMATO TOMA DE DATOS

 UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA	FORMATO DE RELACIÓN DE SOPORTE DEL SUELO (CBR) - I.N.V. E - 148 - 13-LABORATORIO DE SUELOS	CODIGO EDICIÓN FECHA CSC	PAG 1				
MUESTRA N°: PROFUNDIDAD (m): FECHA: LOCALIZACIÓN: DESCRIPCIÓN:	TIPO: ABSCISA: FUENTE:	NUMERO: TIPO DE MUESTRA: EQUIPOS:					
ENSAYO DE COMPACTACIÓN							
		SIN INMERSIÓN	CON INMERSIÓN				
Molde No.							
Numero de Golpes por Capa							
Peso Molde + Suelo Humedo (g)							
Peso Molde (g)							
Peso Suelo Humedo (g)							
Volumen del Molde (cm ³)							
DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DE COMPACTACIÓN							
		SIN INMERSIÓN	CON INMERSIÓN				
Capsula No.							
Peso Capsula + suelo humedo (g)							
Peso Capsula + suelo seco (g)							
Peso agua (g)							
Peso Capsula (g)							
PENETRACIÓN							
PRUEBA	SIN INMERSIÓN			CON INMERSIÓN			
PENETRACIÓN	CARGA			CARGA			
Pulg.	Lectura (kN)	Lib. F	PSI	Lectura (kN)	Lib. F	PSI	
0,005							
0,025							
0,050							
0,075							
0,100							
0,150							
0,200							
0,250							
0,300							
0,400							
0,500							
EXPANSIÓN	TIEMPO (h)	INICIAL	24	48	72	96	120
	LECTURA (mm)						
OBSERVACIONES:							
ELABORÓ				APROBÓ			
LABORATORISTA				COORDINADOR			
				COPIA CONTROLADA		SI	
Bogotá, D.C. - Colombia							



**MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE
SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO**

**2.11. PROCEDIMIENTO ENSAYO DE COMPACTACIÓN- PROCTOR
MODIFICADO**



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

REFERENCIAS:

I.N.V. E – 142 – 13

AASHTO T 180– 01

ASTM D 1557 – 00

J. Bowels. (1981), Manual De Laboratorio De Suelos En Ingeniería Civil (Pág. 184-187). (México): Mc GRAW-HILL.

GENERALIDADES

El proceso artificial a través del cual las partículas de un suelo son obligadas a estar mas cerca y por ende mas en contacto unas de otras, produciendo una reducción en su relación de vacíos se le ha dado el nombre de compactación. El proceso de compactación en los suelos produce un mejoramiento considerable en sus propiedades ingenieriles, en el aumento de su resistencia al corte, la disminución en su deformabilidad, un aumento en su peso específico seco y mejoramiento de su condición de permeabilidad. Es importante aclarar que los métodos utilizados para la compactación varían dependiendo las características de los suelos a compactar, habiendo entonces gran variedad de equipos disponibles en la industria para tal fin.

El procedimiento de laboratorio que se expone en el presente capitulo es aplicable a suelos cuya granulometría presenta un 30 % o menos retenido en el tamiz de $\frac{3}{4}$ " o 19,05 mm. El ensayo busca obtener mediante el análisis de una curva denominada curva de compactación, la relación que existe entre la humedad del suelo y el peso unitario seco del mismo, a partir de una serie de ensayos repetitivos que se realizan en un molde de 4 o 6 " de diámetro. Una vez es analizada la grafica se puede determinar el peso unitario máximo al que se puede llevar el suelo por métodos de compactación, con el porcentaje de humedad al que se logra tal condición. Dichos parámetros se convierten en condicionantes en las obras a los cuales se deben manejar los suelos trabajados y que una vez conseguidos dichos valores de peso unitario se emitirá la aprobación de las obras que se estén realizando. El método que se en el presente capitulo presenta es utilizado en obras de rellenos, terraplenes, rellenos de fundación y capas de bases en estructuras de pavimento, donde a partir de procesos de compactación se busca obtener la optimización de comportamiento ingenieril del suelo. Para los suelos que presentan en su granulometría mas del 30 % de partículas mayores a $\frac{3}{4}$ " existen otras metodologías aplicar, asi como para los suelos donde se pueden presentar fenómenos de degradación durante el proceso, el presente capitulo no profundizara al respecto, pues estas metodologías no hacen parte del alcance definido.

Bowles expresa en su manual de laboratorio de suelos que un criterio ligeramente mejor podría obtenerse expresando el control de campo en términos de la densidad relativa del



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

suelo, sin embargo es mas conveniente utilizar el peso unitario del suelo pues el cálculo de la relación de vacíos requiere el uso de la gravedad especifica del suelo, la cual puede no ser conocida.

El presente capítulo se ocupara de un método cuyo molde de trabajo tiene 6" (152,4 mm) de diámetro, donde manejan 5 capas en el proceso de compactación y 56 golpes por cada una de ellas.

OBJETIVO

Este método de ensayo tiene como propósito obtener datos por medio de los cuales se puedan determinar las siguientes constantes de los suelos:

- Contenido de Humedad óptima.
- Peso Unitario Seco máximo
- Grafico Contenido de Humedad vs Peso Unitario

EQUIPO

- Molde cilíndrico de compactación normalmente de acero o aluminio, con una camisa superior del mismo material, la cual permite la compactación del material por encima del borde superior del molde para luego engrasar de manera óptima. El molde descansa sobre una base metálica, la cual posee también dos tornillos que permiten la conexión entre el molde y la camisa superior. Aunque existen dos tamaños de moldes, este manual se encarga del procedimiento efectuado con el molde cuyo diámetro es de aprox. 6 " y una altura de aprox. 116.4 mm .

Nota: el cálculo final del ensayo requiere el volumen del molde, por lo que este debe tomarse con la mayor precisión posible y se recomienda que este valor este marcado en las paredes inferiores del molde. Es usual que los operarios manejen un valor de volumen para todos los moldes, cuando estos presentan divergencias por mas pequeñas que sean y que finalmente influirán en el resultado. Lo anterior se puede ver representado en la figura siguiente:



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO



Imagen 43 Moldes de Compactación

- Martillo de compactación: martillo especial, normalmente de operación mecánica utilizado para compactar la masa de suelo con número de golpes y procedimiento específico y a una altura fija. Su diámetro es de aprox. 50.8 mm, su peso de 4536 gramos y una altura de caída de 457.2 mm.
- Regla metálica: debe ser de acero y lo suficientemente rígida y larga para realizar el enrasado sin ningún problema. Sus bordes no podrán estar golpeados ni presentar mordeduras.
- Horno de secado: con capacidad para mantener temperaturas constantes de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
- Balanza de precisión: con precisión de 0,1 g, previamente calibradas y con capacidad mínima de 10.000 gramos.
- Tamiz $\frac{3}{4}$ " : la malla del tamiz debe estar en perfecto estado. El operario debe verificar que sus bordes no presenten desprendimiento con la pared del tamiz y que ninguno de sus hilos se encuentre fracturado.
- Aparato agitador: un agitador mecánico que permita realizar el proceso de tamizado.

Nota: en caso de no contar con agitador, el proceso se puede realizar manualmente, cuidando que se produzca escape de material debido a los movimientos efectuados por el operador. Los intervalos de agitado deben durar lo suficiente, asegurando así que las mallas permitan el paso de todas las partículas menores a su tamaño de orificio.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

- Herramientas menores y equipo necesario para determinar el contenido de humedad.

MUESTRA

La norma INV 152-13 recomienda que la muestra humedad que se recupera en campo debe ser de por lo menos 45 kilogramos y que en casos donde existan sobretamaños este valor debe ser superior.

PROCEDIMIENTO

- Se lleva a cabo el proceso de tamizado de la muestra obtenida en campo. Una vez este finaliza se tendrán por separado las fracción gruesa y la fracción de ensayo, cuyos pesos permitirán determinar sus porcentajes en la totalidad de la muestra extraída y verificar la condición inicial; que la muestra no presente un porcentaje retenido en el tamiz $\frac{3}{4}$ " mayor al 30 %.

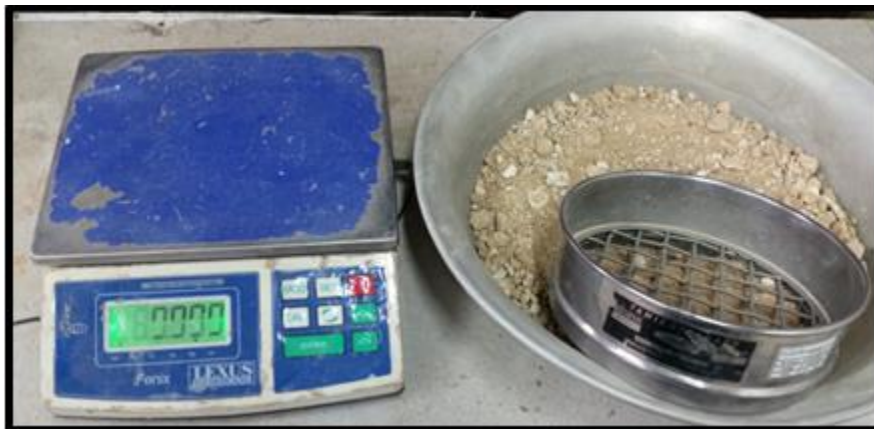


Imagen 44 Tamizado y selección de la muestra

- Con la seguridad que la condición anterior se cumple se procede a seleccionar las muestras para los ensayos a realizar. Es necesario preparar por lo menos cuatro (4) submuestras, de manera tal que una vez se generen los puntos en la gráfica de compactación y su línea de tendencia, el pico de la curva sea efectivamente el que indique la mayor densidad seca. Estas muestras se colocaran en recipientes de aluminio lo suficientemente grandes para llevar a cabo el proceso de humedecimiento de la muestra.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO



Imagen 45 Muestras y equipos para ensayo de Compactación

- Se determina un valor cercano a la humedad óptima y los tres siguientes se distribuyen a criterio del laboratorista o la persona encargada. Dos por encima y uno por debajo o viceversa. Se realiza el cálculo para determinar cual es la cantidad de agua que cumplirá con las humedades determinadas y con ayuda de una pipeta y con la mayor precisión posible se mide el fluido.

Nota: la determinación del primer valor de humedad que se considera cercano al optimo viene de la experiencia del ingeniero encargado de los laboratorios, de la experiencia misma del laboratorista o de criterios establecidos en bibliografías consultadas.

- Una vez medidas las cantidades de agua necesarias, se realiza la mezcla de tal manera que la totalidad de la muestra presente la misma humedad y consistencia. La norma INV 152-13 recomienda someter los suelos a tiempos de curado como lo muestra la tabla a continuación:

CLASIFICACIÓN DEL SUELO	TIEMPO DE CURADO (h)
GW, GP, SW, SP	No requiere
SW, SP	3
Todos los demás suelos	16

Tabla 9 Tiempos de curado



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO



Imagen 46 Amasado del suelo para buscar humedad específica

- Con el peso del molde previamente tomado se procede a realizar la compactación del material dentro del mismo. El material se debe disponer en cinco (5) capas y a cada una de ellas se debe proporcionar cincuenta y seis (56) golpes en el orden como lo indica la imagen a continuación. Se debe asegurar que cada golpe alcance la altura máxima de caída y que la superficie de contacto con la cara del martillo sea total. También se debe cumplir que la última capa sobrepase el borde del molde en una altura no mayor a 6mm.

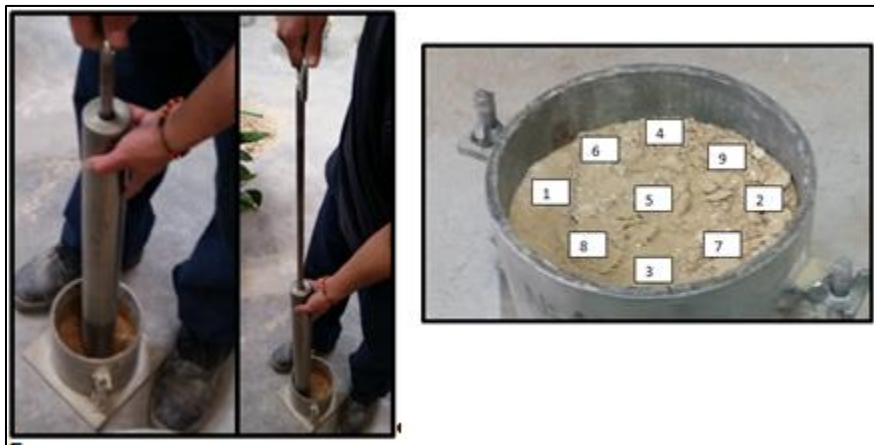


Imagen 47 Compactación de la muestra y puntos de orden de compactación.

- Una vez se termine la compactación, la camisa superior es retirada y con ayuda de la espátula cuyas características cumplan las condiciones para el procedimiento, se lleva a cabo el enrasado. En el momento de enrasar es usual que guijarros dispuestos en la superficie sean desprendidos y dejen pequeños vacíos en la misma, para tal caso se recomienda llenar dichos vacíos con suelo sobrante del tamizado.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO



Imagen 48 Enrasado de muestra compactada

- Una vez se ha enrasado el molde, este se retira de su placa base y se registra su peso.
- El material es retirado del molde y para cada uno de los ensayos se toman muestras para determinar el contenido de humedad, el cual se lleva a cabo según el procedimiento establecido en el Capítulo 2.1 del presente manual.

CÁLCULOS

- Área del molde:

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

Donde:

A: área del molde
D: Diámetro del molde

- Volumen del molde:

$$V = A * H$$

Donde:

V: volumen del molde
H: altura del molde

- Porcentaje de Humedad :

$$W(\%) = \frac{W_h - W_s}{W_s - W_r} * 100$$



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

Donde:

Wr: Masa del recipiente

Wh: Masa de Recipiente + Suelo Húmedo

Ws: Masa de Recipiente + Suelo Seco

- Densidad Húmeda:

$$\rho_{hum} = \frac{Whum}{V}$$

Donde:

ρ_{hum} : Densidad Humeda

Whum: Peso de la muestra húmeda

V: Volumen del molde

- Densidad Seca :

$$\rho_s = \frac{\rho_{hum}}{1 + W}$$

Donde:

ρ_s : Densidad Seca

w: porcentaje de humedad

- Grafica Porcentaje de Humedad vs Densidad Seca

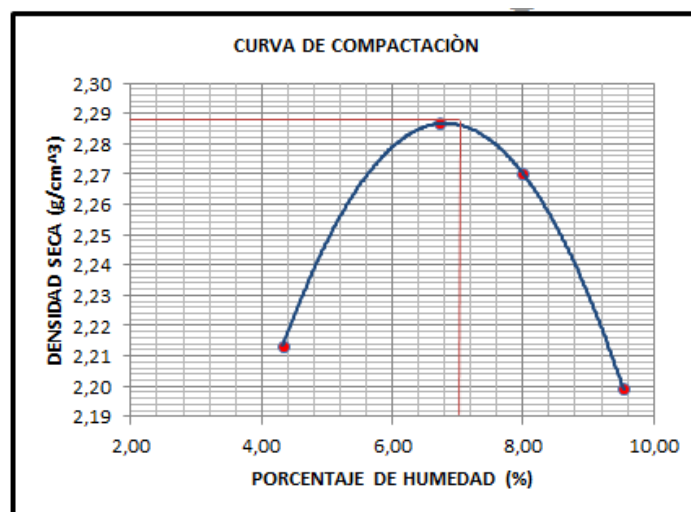


Figura 13 Curva de Compactación



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

- Botas punta de acero
- Gafas de seguridad
- Guantes de seguridad
- Overol o bata de trabajo.

INFORME

En el informe debe presentar la siguiente información:

- Nombre del proyecto, localización, número de muestra y profundidad.
- Descripción y Clasificación del Suelo
- Contenido de Humedad de cada ensayo
- Equipos utilizados durante el ensayo.
- Grafica Porcentaje de Humedad vs Densidad Seca
- Valores de densidad máxima seca y humedad óptima.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

FORMATO TOMA DE DATOS

	FORMATO DE ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR -INV		CODIGO		
	E-141,142-13-LABORATORIO DE SUELOS		EDICIÓN		
			FECHA		
			CSC		
MUESTRA N°:	PROCTOR:	FECHA:			
ABSCISA:	LOCALIZACIÓN:				
DESCRIPCIÓN					
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD					
Muestra N°	1	2	3	4	5
Peso Recipiente+Muestra Húmeda (g)					
Peso Recipiente+Muestra Seca (g)					
Peso Recipiente (g)					
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD					
Punto N°	1	2	3	4	5
Molde N°					
Numero de Golpes por Capa					
Numero de Capas					
Peso Molde+Muestra Húmeda (g)					
Peso Molde Vacío (g)					
Peso Muestra Húmeda (g)					
Volumen Molde (cm ³)					
OBSERVACIONES :					
REALIZÓ		APROBÓ		COFA CONTROLADA	SI
LABORATORISTA		COORDINADOR			
Bogotá, D.C. - Colombia					



**MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE
SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO**

**2.12 PROCEDIMIENTO DE CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS – SISTEMA
SUCS**



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

REFERENCIAS:

I.N.V. E – 181 – 13

J. Bowles. (1981), Manual De Laboratorio De Suelos En Ingeniería Civil (Pág. 69-79). (México): Mc GRAW-HILL.

J. Badillo, R. Rodríguez. (2005), Mecánica De Suelos, Tomo 1, Fundamentos De La Mecánica De Suelos (Pág. 149-165). (México): Limusa.

GENERALIDADES

Dada la complejidad y el sin número de variables que puede presentar el suelo en la naturaleza, ha sido necesario crear sistemas que permitan clasificarlos y establecer criterios para su identificación. A continuación se presenta un procedimiento basado en El Sistema Unificado De Clasificación De Suelos (SUCS) y algunas tablas de otras referencias que permiten clasificar los suelos en función de los resultados obtenidos en los ensayos de Límites de Atterberg y Granulometría.

En la Tabla a continuación se presentan los datos necesarios para la clasificación de los suelos

DATOS NECESARIOS	
PORCENTAJE DE GRAVA	PASA TAMIZ 3" Y RETIENE TAMIZ N° 4
PORCENTAJE DE ARENA	PASA TAMIZ N° 4 Y RETIENE TAMIZ N° 200
PORCENTAJE DE LIMO Y ARCILLA	PASA TAMIZ N° 200
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	Cu
COEFICIENTE DE CURVATURA	Cc
LIMITE LIQUIDO	LL
INDICE DE PLASTICIDAD	IP

Tabla 10 Datos necesarios para clasificación de suelos por sistema SUCS

PROCEDIMIENTO

1. Determine el porcentaje de suelo que pasa por el tamiz N° 200.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

2. Si el porcentaje de suelo que pasa por el tamiz N° 200 es menor a 50 %, se trata de un suelo de grano grueso y se siguen los siguientes pasos:

2.1 Si el porcentaje de gravas es superior al porcentaje de arenas, el suelo es tipo grava. Vaya a la Tabla 11 y a la Figura 14 Carta de Plasticidad.

CRITERIO		DENOMINACIÓN DEL GRUPO	SIMBOLO DEL GRUPO
Menos del 5% pasa tamiz N° 200	$Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$	GRAVA BIEN GRADADA	GW
Menos del 5% pasa tamiz N° 200	$Cu < 4$ y/o $1 > Cc > 3$ (o no cumple criterios para GW)	GRAVA MAL GRADADA	GP
Mas del 12% pasa tamiz N° 200	Limites en grafica por debajo de la linea A (figura 1) ; o $IP < 4$	GRAVA LIMOSA	GM
Mas del 12% pasa tamiz N° 200	Limites en la grafica por debajo de la linea A (figura 1) ; o $IP > 7$	GRAVA ARCILLOSA	GC
Mas del 12% pasa tamiz N° 200	Limites en la grafica se ubican en el area de CL-ML (figura1)	GRAVA ARCILLO-LIMOSA	GC-GM
Entre el 5% y 12% pasa tamiz N° 200	$Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$, Limites en grafica por debajo de la linea A (figura 1) ; o $IP < 4$	GRAVA BIEN GRADADA CON FINOS LIMOSOS	GW-GM
Entre el 5% y 12% pasa tamiz N° 200	$Cu < 4$ y/o $1 > Cc > 3$, Limites en grafica por debajo de la linea A (figura 1) ; $IP < 4$	GRAVA MAL GRADADA CON FINOS LIMOSOS	GP-GM
Entre el 5% y 12% pasa tamiz N° 200	$Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$, Limites en grafica por debajo de la linea A (figura 1) ; o $IP > 7$	GRAVA BIEN GRADADA CON FINOS ARCILLOSOS	GW-GC
Entre el 5% y 12% pasa tamiz N° 200	$Cu < 4$ y/o $1 > Cc > 3$, Limites en grafica por debajo de la linea A (figura 1) ; $IP > 7$	GRAVA MAL GRADADA CON FINOS ARCILLOSOS	GP-GC

Tabla 11 Clasificación de suelos de grava

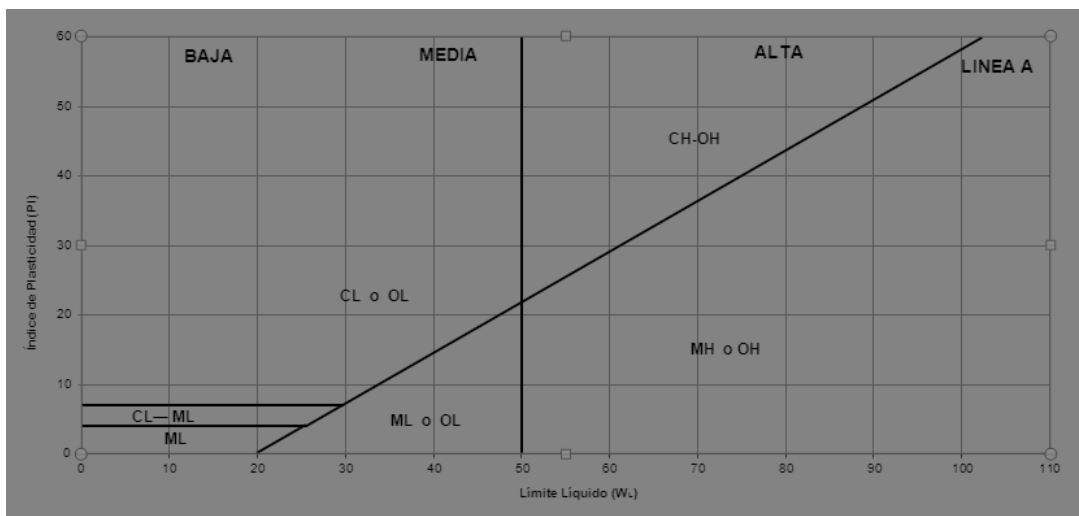


Figura 14 Carta de Plasticidad.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

2.1.1 Para establecer el nombre del grupo propio del suelo vaya a la Tabla 12.

SIMBOLO	GRADACIÓN	NOMBRE ESPECÍFICO
GW	<15% de arena	Grava bien gradada
	≥ 15% de arena	Grava bien gradada con arena
GP	<15% de arena	Grava mal gradada
	≥ 15% de arena	Grava mal gradada con arena
GM	<15% de arena	Grava limosa
	≥ 15% de arena	Grava limosa con arena
GC	<15% de arena	Grava arcillosa
	≥ 15% de arena	Grava arcillosa con arena
GC-GM	<15% de arena	Grava limo-arcillosa
	≥ 15% de arena	Grava limo-arcillosa con arena
GW-GM	<15% de arena	Grava bien gradada con limo
	≥ 15% de arena	Grava bien gradada con limo y arena
GW-GC	<15% de arena	Grava bien gradada con arcilla
	≥ 15% de arena	Grava bien gradada con arcilla y arena
GP-GM	<15% de arena	Grava mal gradada con limo
	≥ 15% de arena	Grava mal gradada con limo y arena
GP-GC	<15% de arena	Grava mal gradada con arcilla
	≥ 15% de arena	Grava mal gradada con arcilla y arena

Tabla 12 Diagrama de flujo para nombre de grupo de suelos tipo grava



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

2.2 Si el porcentaje de arenas es superior al porcentaje de gravas, el suelo es tipo arenoso. Vaya a la Tabla 13 y a la Tabla 14.

CRITERIO	DENOMINACIÓN DEL GRUPO	SIMBOLO DEL GRUPO
Menos del 5% pasa tamiz N° 200	ARENA BIEN GRADADA	SW
Menos del 5% pasa tamiz N° 200	ARENA MAL GRADADA	SP
Mas del 12% pasa tamiz N° 200	ARENA LIMOSA	SM
Mas del 12% pasa tamiz N° 200	ARENA ARCILLOSA	SC
Mas del 12% pasa tamiz N° 200	ARENA ARCILLO-LIMOSA	SC-SM
Entre el 5% y 12% pasa tamiz N° 200	ARENA BIEN GRADADA CON FINOS LIMOSOS	SW-SM
Entre el 5% y 12% pasa tamiz N° 200	ARENA MAL GRADADA CON FINOS LIMOSOS	SP-SM
Entre el 5% y 12% pasa tamiz N° 200	ARENA BIEN GRADADA CON FINOS ARCILLOSOS	SW-SC
Entre el 5% y 12% pasa tamiz N° 200	ARENA MAL GRADADA CON FINOS ARCILLOSOS	SP-SC

Tabla 13 Clasificación de suelos arenosos



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

2.2.1 Para establecer el nombre del grupo propio del suelo vaya a la Tabla 14.

SIMBOLO	GRADACIÓN	NOMBRE ESPECÍFICO
SW	<15% de grava	Arena bien gradada
	≥ 15% de grava	Arena bien gradada con grava
SP	<15% de grava	Arena mal gradada
	≥ 15% de grava	Arena mal gradada con grava
SM	<15% de grava	Arena limosa
	≥ 15% de grava	Arena limosa con grava
SC	<15% de grava	Arena arcillosa
	≥ 15% de grava	Arena arcillosa con grava
SC-SM	<15% de grava	Arena limo-arcillosa
	≥ 15% de grava	Arena limo-arcillosa con grava
SW-SM	<15% de grava	Arena bien gradada con limo
	≥ 15% de grava	Arena bien gradada con limo y grava
SP-SC	<15% de grava	Arena bien gradada con arcilla
	≥ 15% de grava	Arena bien gradada con arcilla y grava
SP-SM	<15% de grava	Arena mal gradada con limo
	≥ 15% de grava	Arena mal gradada con limo y grava
SP-SC	<15% de grava	Arena mal gradada con arcilla
	≥ 15% de grava	Arena mal gradada con arcilla y grava

Tabla 14 Diagrama de flujo para nombre de grupo de suelos arenosos

3. Si el porcentaje de suelo que pasa por el tamiz N° 200 es mayor a 50 %, se trata de un suelo de grano fino y se siguen los siguientes pasos:

3.1 Si el límite líquido del suelo es menor a 50 % vaya a la Tabla 15 y si el límite líquido es mayor a 50 % vaya a la Tabla 16.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

CRITERIO		DENOMINACIÓN DEL GRUPO	SIMBOLO DEL GRUPO
INORGÁNICO	IP < 4 O bajo la línea A (figura 1)	LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD	ML
INORGÁNICO	IP > 7 y simultáneamente en la línea A o por encima de ella (figura 1)	ARCILLA DE BAJA COMPRESIBILIDAD	CL
INORGÁNICO	4 ≤ IP ≤ 7 y simultáneamente en la línea A o por encima de ella (figura 1)	ARCILLA LIMOSA	CL - ML
ORGÁNICO	IP < 4 O bajo la línea A (figura 1)	LIMO ORGÁNICO	OL
ORGÁNICO	IP ≥ 4 y simultáneamente en la línea A o por encima de ella (figura 1)	ARCILLA ORGÁNICA	OL

Tabla 15 Clasificación de suelos finos con LL menor a 50%

CRITERIO		DENOMINACIÓN DEL GRUPO	SIMBOLO DEL GRUPO
INORGÁNICO	Bajo la línea A (figura 1)	LIMO DE ALTA COMPRESIBILIDAD	MH
INORGÁNICO	En la línea A o por encima de ella	ARCILLA DE ALTA COMPRESIBILIDAD	CH
ORGÁNICO	Bajo la línea A (figura 1)	LIMO ORGÁNICO	OH
ORGÁNICO	En la línea A o por encima de ella	ARCILLA ORGÁNICA	OH

Tabla 16 Clasificación de suelos finos con LL mayor a 50 %

ESTIMACIÓN DE SÍMBOLOS FRONTERIZOS PARA SUELOS CON DOS IDENTIFICACIONES POSIBLES

A continuación se presentan diferentes situaciones en las que es posible presentar como clasificación de suelo un símbolo fronterizo:

- Porcentaje estimado de finos con valores entre 45 y 55 %. Un símbolo puede corresponder a un suelo de grano grueso y el otro a un suelo de grano fino.
- Porcentajes de grava y arena similares.
- Cuando el suelo puede que sea bien gradado o mal gradado
- Cuando el suelo puede que sea un limo o una arcilla



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

- Cuando un suelo de grano fino presenta propiedades que indican que se encuentra en el límite entre la baja y la alta compresibilidad.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

BIBLIOGRAFÍA

- Norma INVIAS (2013), Consolidación Unidimensional de los Suelos, INV E-151-13, Bogotá.
- Norma INVIAS (2013), Corte Directo de los Suelos, INV E-154-13, Bogotá.
- Norma INVIAS (2013), Determinación de la Humedad Natural del Suelo, INV E-122-13, Bogotá.
- Norma INVIAS (2013), Determinación del Limite Liquido del Suelo, INV E-125-13, Bogotá.
- Norma INVIAS (2013), Determinación del Limite Plástico del Suelo, INV E-126-13, Bogotá.
- Norma INVIAS (2013), Análisis Granulométrico por Tamizado en Suelos, INV E-123-13, Bogotá.
- Norma INVIAS (2013), Gravedad Especifica del Suelo, INV E-128 -13, Bogotá.
- Norma INVIAS (2013), Densidad Método Cono y Arena, INV E-161-13, Bogotá.
- Norma INVIAS (2013), CBR Relación de Soporte California, INV E-148-13, Bogotá.
- Norma INVIAS (2013), Ensayo de Compactación, INV E-141,142-13, Bogotá.
- Bowles, J. (1997). Foundations Analysis and Desing (International Edition ed.). New York: The McGraw-Hill.
- Das, B. M. (1999). Principios de Ingeniería de Cimentaciones. México: International Thomson Editores.
- Bowles, J. E. (1982). *Propiedades Geofísicas de los Suelos*. Bogotá D.C.: Mc. Graw Hill.
- Lambe,W. , Whitman, R. (1972). *Mecanica de Suelos*. Mexico: Limusa-Wiley S.A.



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO

- Rico, Del Castillo. (2005). La ingeniería de suelos en las vías terrestres: Carreteras, ferrocarriles y aeropistas. México: Limusa.
- Nadeo, J. Leoni, A. Introducción a algunas propiedades fundamentales de los suelos. La Plata-Argentina: Grupo Mecánica de Suelos y Rocas.
- Bowles, J. E. (1980). Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil. Latinoamérica: Mc Graw-Hill.
- Juárez, E. Rico, A. (2005). Mecánica de Suelos. Tomo 1, Fundamentos de la Mecánica de Suelos. México: Limusa.
- García, L. Ramírez, M. (2006). Propuesta de un manual de laboratorio de mecánica de suelos conforme a la norma ASTM 2003. Ciudad Universitaria: Universidad del Salvador.
- Duque, G. Escobar, C. (2002). Mecánica de los Suelos. Manizales: Facultad de ingeniería y Arquitectura. Universidad Nacional de Colombia-Sede Manizales.