

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**PROPUESTA DE RECAPEO ASFÁLTICO PARA CONTRARRESTAR
LAS PATOLOGÍAS DEL PAVIMENTO DE LA AV. TINGO MARÍA,**

LIMA 2024

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniera Civil

AUTORA:

Amelia Renata Quiñe Castro

ASESOR:

Felix Israel Cabrera Vega

Lima, agosto, 2025

Informe de Similitud

Yo, Felix Cabrera Vega docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis titulada “PROPUESTA DE RECAPEO ASFÁLTICO PARA CONTRARRESTAR LAS PATOLOGÍAS DEL PAVIMENTO DE LA AV. TINGO MARÍA, LIMA 2024”, de la autora Amelia Renata Quiñe Castro, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 18%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 13/08/2025.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: Lima, 13 de agosto 2025

Apellidos y nombres del asesor <u>Cabrera Vega Felix Israel</u>	
DNI: 22309049	Firma 
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1917-9840	

Dedicatoria

Esto es para quienes me sostuvieron cuando sentí que flaqueaba y creyeron en mí.

Para mi papá, Carlos Quiñe, que siempre me apoyó y tuvo fe en mí y en mi capacidad.
Pero especialmente para mi mamá, Carmen Castro, porque sin ti no lo habría logrado.

A la abuela, quien nos cuida siempre y está muy orgullosa de nosotras.



Resumen

La presente investigación tiene como objetivo evaluar la factibilidad de una propuesta de recapeo asfáltico en un tramo crítico de la Av. Tingo María, ubicada en el distrito de Breña, Lima. La vía presenta un deterioro significativo en su superficie, evidenciado por patologías como piel de cocodrilo, fisuras de borde, baches y desprendimientos, los cuales afectan la seguridad vial, la transitabilidad y la actividad comercial de la zona. Para determinar el estado del pavimento se aplicó la metodología PCI (Índice de Condición de Pavimentos), que permite clasificar objetivamente la condición funcional y estructural del mismo. La recolección de datos se realizó mediante fichas de observación y registro fotográfico, las cuales fueron procesadas para calcular el valor deducido corregido (CDV) por unidad muestral.

Los resultados evidenciaron que la mayoría de las unidades evaluadas presentaron estados “malo”, “muy malo” o “fallado”, con valores PCI inferiores a 40, lo que justifica una intervención inmediata. Se diseñó una propuesta de recapeo asfáltico que considera la selección adecuada de materiales, una planificación técnica eficiente y un análisis económico que demuestra la viabilidad de la intervención, tanto en términos de costos como de beneficios a corto y largo plazo. La propuesta busca restituir la funcionalidad del pavimento, reducir los costos de mantenimiento y mejorar la seguridad vial en este tramo estratégico de la ciudad. En conclusión, el recapeo asfáltico se presenta como una solución técnica viable, sustentada en evidencia empírica y fundamentación teórica.

Índice de contenidos

Informe de similitud	
Dedicatoria	
Resumen.....	i
Índice de contenidos	ii
Índice de figuras.....	iii
Índice de tablas	iv
Índice de anexos.....	v
Capítulo I. Introducción.....	1
1.1. Justificación	1
1.2. Objetivos	2
Capítulo II. Estado del Arte.....	4
2.1. Marco contextual	4
2.2. Marco conceptual.....	9
2.2.1. Pavimento	9
2.2.2. Tipos de pavimento.....	9
2.2.3. Patologías del pavimento	11
2.3. Recapeo asfáltico	19
2.4. Método PCI (Índice de Condición de Pavimentos).....	21
2.4.1. Curvas de valor deducido.....	21
Capítulo III. Metodología.....	22
3.1. Enfoque de investigación	22
3.2. Tipo de investigación	22
3.3. Nivel de investigación	23
3.4. Diseño de investigación.....	24
3.5. Variables de estudio	25
3.6. Operacionalización de las variables	25
3.7. Población, muestra y muestreo	27
3.7.1. Características generales de la Av. Tingo María	27
3.7.2. Población.....	28
3.7.3. Muestra	29
3.7.4. Muestreo	30
3.7.5. Trabajo de campo	31
3.7.6. Trabajo de gabinete	36
Capítulo IV. Resultados y Discusiones.....	42
4.1. Resultados.....	42
4.2. Discusiones.....	59
Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones.....	61
5.1. Conclusiones	61
5.2. Recomendaciones	62
Referencia Bibliográficas.....	63
Anexos	67
Anexo 1. Registro de Patologías del Pavimento en la Av. Tingo María - Evaluación Mediante el Método PCI.....	67
Anexo 2. Abaco del estudio Vásquez 2022	69
Anexo 3. Abaco del estudio Vásquez 2022	73

Índice de figuras

Figura 1. Comportamiento del pavimento rígido y flexible.	11
Figura 2. Fisura en el pavimento	13
Figura 3. Erosión por bombeo en el pavimento	15
Figura 4 Recapeo asfáltico en el pavimento.....	20
Figura 5. Vista satelital de la extensión de estudio de la av. Tingo María (2024).....	27
Figura 6. Población de estudio (2024)	29
Figura 7. Muestra de estudio (2024).....	30
Figura 8. Distribución de las Unidades de muestra (2024).....	31
Figura 9. Instrumento de recojo de información.....	32
Figura 10. Ancho de calzada de la Av. Tingo María, punto inicial (2024)	33
Figura 11. Ancho de calzada de la Av. Tingo María, punto final (2024).....	34
Figura 12. Abaco para piel de cocodrilo.....	37
Figura 13. Formato para la Obtención del Máximo Valor Deducido Corregido.....	37
Figura 14. Abaco para correcciones de Valor deducido.....	38
Figura 15. Rangos de calificación.....	39
Figura 16. Secuencia de metodología PCI.....	39
Figura 17. Resumen de fallas.....	42
Figura 18. Fallas en Av. Tingo María.....	43
Figura 19. Fallas en UM-1	44
Figura 20. Fallas en UM-2.....	46
Figura 21. Fallas en UM-3.....	47
Figura 22. Fallas en UM-4.....	49
Figura 23. Fallas en UM-5.....	50
Figura 24. Fallas en UM-6.....	52
Figura 25. Fallas en UM-7.....	53
Figura 26. Fallas en UM-8.....	55
Figura 27. Resumen del estado de las unidades muestrales - diagnóstico método PCI	56
Figura 28. Escala de metodología PCI.....	56
Figura 29. Resumen del estado de las unidades muestrales - diagnóstico método PCI- Tratamiento	57

Índice de tablas

Tabla 1. Fisuras en el pavimento y niveles de gravedad.....	13
Tabla 2. <i>Baches en el pavimento y niveles de gravedad</i>	16
Tabla 3. <i>Desniveles en el pavimento y niveles de gravedad</i>	17
Tabla 4. <i>Despotillamiento de juntas en el pavimento y niveles de gravedad</i>	18
Tabla 5. <i>Desprendimiento en el pavimento y niveles de gravedad</i>	19
Tabla 6. Matriz Operacionalización de variables	26
Tabla 7. Longitud de unidades de muestreo del pavimento asfáltico	34
Tabla 8. Unidades de muestra	35
Tabla 9. Tipos de falla de la Avenida Tingo María	44
Tabla 10. <i>Valores deducidos de UM-1</i>	45
Tabla 11. <i>Cálculo de PCI UM-1</i>	45
Tabla 12. <i>Valores deducidos de UM-2</i>	46
Tabla 13. <i>Cálculo de PCI UM-2</i>	47
Tabla 14. <i>Valores deducidos de UM-3</i>	48
Tabla 15. <i>Cálculo de PCI UM-3</i>	48
Tabla 16. <i>Valores deducidos de UM-4</i>	49
Tabla 17. <i>Cálculo de PCI UM-4</i>	50
Tabla 18. <i>Valores deducidos de UM-5</i>	51
Tabla 19. <i>Cálculo de PCI UM-5</i>	51
Tabla 20. <i>Valores deducidos de UM-6</i>	52
Tabla 21. <i>Cálculo de PCI UM-6</i>	53
Tabla 22. <i>Valores deducidos de UM-7</i>	54
Tabla 23. <i>Cálculo de PCI UM-7</i>	54
Tabla 24. <i>Valores deducidos de UM-8</i>	55
Tabla 25. <i>Cálculo de PCI UM-8</i>	56
Tabla 26. <i>Resumen de los tratamientos</i>	58

Índice de anexos

Anexo 1. Registro de Patologías del Pavimento en la Av. Tingo María - Evaluación Mediante el Método PCI.....	67
Anexo 2. Abaco del estudio Vásquez 2022	69
Anexo 3. Abaco del estudio Vásquez 2022	73



Capítulo I. Introducción

1.1. Justificación

La infraestructura vial constituye un pilar fundamental para el desarrollo económico, al facilitar el transporte eficiente de personas y mercancías, reducir los costos logísticos y optimizar los tiempos de traslado (Chura & Flores, 2024). Sin embargo, su deterioro, asociado a la falta de mantenimiento periódico y a la ausencia de evaluaciones funcionales sistemáticas, genera consecuencias significativas en los ámbitos social, económico y de seguridad vial (Nuñez, 2022).

Este deterioro no siempre es atendido oportunamente mediante acciones de mantenimiento, lo que incrementa la incertidumbre respecto a la estabilidad estructural del pavimento (Kiliç et al., 2020). En este escenario, los recapeos con mezclas asfálticas en caliente se han consolidado como una medida efectiva para rehabilitar pavimentos deteriorados y mejorar su capacidad estructural (Zhang et al., 2020).

En el contexto peruano, la infraestructura vial urbana presenta múltiples deficiencias técnicas y financieras que afectan negativamente a la calidad de vida de la población (Salazar, 2019). Un caso representativo de esta problemática es la Avenida Tingo María, ubicada en Lima Metropolitana, cuyo pavimento evidencia un deterioro progresivo caracterizado por la presencia de grietas, baches y fisuras, lo que compromete la movilidad urbana y pone en riesgo la seguridad vial.

1.2. Objetivos

Objetivo principal:

Evaluar la factibilidad de una propuesta de recapeo asfáltico para contrarrestar las patologías del pavimento de la Av. Tingo María, Lima 2024.

Objetivos específicos:

- Identificar las patologías del pavimento de la Av. Tingo María mediante el método PCI, Lima 2024.
- Diseñar una propuesta de recapeo asfáltico para el pavimento de la Av. Tingo María, Lima 2024.

Para lograr los objetivos planteados, se aplicó el método Pavement Condition Index (PCI), el cual permite clasificar el estado del pavimento mediante una escala de 0 a 100, utilizando el valor deducido para determinar la severidad de los daños (Nuñez, 2022). La recolección de datos se realizó mediante la aplicación de la “Ficha de Registro PCI”, adaptada de Condori (2021). La investigación se llevó a cabo durante el año 2024 en la Av. Tingo María, y se sustentó en una revisión bibliográfica que destaca la importancia de la infraestructura vial como motor del desarrollo económico y como elemento clave para garantizar la seguridad urbana. Se considera que la mejora del pavimento no solo optimiza la movilidad, sino que también contribuye a dinamizar la economía local y elevar la calidad de vida de la población.

A través del método PCI, se identificaron diversas patologías en el pavimento, tales como piel de cocodrilo, grietas de borde y fallas de parches, las cuales afectan significativamente la transitabilidad y la seguridad vial. Las patologías presentes,

no solo constituyen obstáculos para la eficiencia del tránsito, sino que también representan un riesgo latente para la seguridad de los usuarios. El diagnóstico evidenció tramos críticos que requieren intervención inmediata. En esa línea, el análisis técnico-económico realizado respalda la propuesta de recapeo asfáltico como una alternativa viable y estratégica, orientada a restituir la operatividad del tramo vial, reducir los costos de mantenimiento futuro y fortalecer la seguridad de los usuarios



Capítulo II. Estado del Arte

2.1. Marco contextual

Actualmente, la industria de la construcción civil se encuentra inmersa en la búsqueda de soluciones innovadoras y de bajo costo que permitan mejorar la transitabilidad de las vías públicas, con beneficios tangibles tanto en el corto como en el largo plazo. En Latinoamérica, la infraestructura vial enfrenta serias deficiencias, agravadas por la limitada inversión estatal y la falta de compromiso en la implementación de planes de conservación, lo que genera repercusiones negativas en la economía y el bienestar social. La calidad del pavimento influye directamente en el flujo eficiente de bienes y servicios, así como en los costos operativos asociados al transporte, como el consumo de combustible y el desgaste vehicular. Además, la vida útil de cada tipo de pavimento se ve afectada por factores como el volumen de tráfico, las condiciones climáticas, el comportamiento estructural del firme y la calidad de los materiales utilizados (Macedo & Marques, 2021).

En las últimas décadas, diversos gobiernos y entidades viales han reconocido la necesidad de fortalecer los procesos de planificación y gestión de la infraestructura vial. La implementación de medidas de mantenimiento a menor escala, dentro de una planificación estratégica, puede generar impactos positivos significativos para la sociedad. La red vial, por su complejidad y extensión, exige programas de conservación bien estructurados, que permitan una asignación eficiente de los recursos destinados al mantenimiento, rehabilitación y mejora de la infraestructura (Ruiz & Guevara, 2020).

El caso de Brasil refleja esta problemática de manera clara. Desde la década de 1950, las carreteras han desempeñado un papel clave en la economía nacional como principal medio de transporte de personas y mercancías. Sin embargo, en la actualidad, la creciente demanda vehicular, sumada a la escasa inversión en mantenimiento, ha provocado un notable deterioro de la infraestructura existente. Una gran proporción de la red pavimentada presenta patologías como grietas, hundimientos y bacheos mal ejecutados, lo que pone en riesgo la seguridad y eficiencia del tránsito (Pereira & Pinheiro, 2021).

Estudios como el de Temimi et al. (2021) han demostrado que el PCI es un método práctico y eficiente para determinar las necesidades de mantenimiento en pavimentos urbanos, permitiendo priorizar intervenciones según el nivel de deterioro. En este estudio evaluó carreteras dañadas en una ciudad de Irak, la inspección visual fue el principal medio de evaluación. Los datos de deterioro se utilizaron para el cálculo de PCI por cada tramo. Se concluye que el método PCI tiene capacidad para diagnosticar los problemas del pavimento y con el evaluar el estado de zonas con falta de mantenimiento para ser atendidas. Con ese fin se pretendió utilizar el método PCI para el diagnóstico en la avenida Tingo María.

Además, Rifai et al. (2023) han combinado el PCI con el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) para evaluar condiciones funcionales y estructurales, lo que mejora la precisión en la planificación del recapeo. Por el lado del PCI, este utiliza la descripción como método de aplicación para que en base a la descripción pueda diagnosticar, y así correlacionar con el resultado del método IRI; aunque en esta investigación presentó una correlación débil, queda como un precedente para futuros

estudios que propongan la comparación y complementación entre métodos de monitoreo de pavimentos. Estos enfoques son aplicables al análisis preliminar de factibilidad técnica para la Av. Tingo María.

Ruiz & Guevara (2020) reconoce que la supervisión de las carreteras por el estado es un importante para el mantenimiento de las mismas. Es por eso que propuso una metodología híbrida para evaluar políticas de mantenimiento vial considerando costos a corto y largo plazo. El estudio utiliza dinámicas del sistema ya que esta metodología estudia sistemas en constante cambio en el tiempo, en ese sentido la investigación evalúa los efectos de las prácticas de mantenimiento en las condiciones de las carreteras, utilizar un modelo de dinámicas del sistema previamente desarrollado, el cual considera tipo de actividades relacionadas a la preservación de las vías, es decir la construcción, mantenimiento y rehabilitación propone la integración de los diferentes actores que Sus resultados destacan que estrategias de mantenimiento preventivo, como el recapeo asfáltico, son más rentables que las medidas correctivas. Además, priorizar materiales duraderos y técnicas innovadoras puede reducir costos de mantenimiento recurrente y optimizar la asignación de recursos, factores de los cuales son motivos de demora de construcción de obras de infraestructura vial.

La implementación de capas ultra delgadas de asfalto poroso (PUAO) ha demostrado ser viable en proyectos de mantenimiento urbano. Jiang et al. (2022) reportan que estos materiales ofrecen beneficios en resistencia al deslizamiento y reducción de ruido, además de ser compatibles con la infraestructura existente. Sin embargo, su éxito depende de la selección adecuada de mezclas y de la preparación previa del

pavimento base. Por otro lado, Shafabakhsh & Ahmadi (2021) resaltan que modificar las capas intermedias o el uso de ligantes mejorados puede ser una estrategia costo-efectiva para prolongar la vida útil de los recubrimientos asfálticos.

Reconociendo al método PCI como herramienta para el diagnóstico de pavimentos, es importante estudiarlo y acondicionarlo de modo que presente el menor error posible; en ese sentido Ibragimov et al. (2024), con su investigación buscó orientar la aplicación de métodos prácticos y estandarizados de PCI. La propuesta de este autor es un método automatizado de evaluación del estado del pavimento, este método consiste en un enfoque híbrido, integra la precisión del aprendizaje profundo con el uso de un modelo el cual es preparado con imágenes de grietas con el fin que el modelo aprenda de manera eficiente y precisa. El modelo automatizado de PCI emplea una variada gama de indicadores de deterioro del pavimento de ese modo logra un diagnóstico de las imágenes evaluadas. Esta herramienta tendría amplio uso ya que en la avenida Tingo María presenta diferentes anomalías de pavimento.

En el caso del trabajo de Paredes & Torres (2022b) indica que el avance tecnológico ha permitido mejorar los procesos de evaluación mediante el uso de sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS). Investigaciones recientes han demostrado que la incorporación de drones en la evaluación de pavimentos permite la obtención de imágenes georreferenciadas de alta resolución, las cuales pueden ser procesadas mediante fotogrametría para generar modelos tridimensionales detallados. Esto no solo reduce costos y tiempos de inspección, sino que también mejora la precisión de los diagnósticos. El estudio realizado en la carretera Reposo-Saramiriza, en Bagua, Amazonas, utilizando los métodos PCI y VIZIR con drones, permitió determinar que

la vía se encuentra en un estado "regular", con fallas predominantes como la "piel de cocodrilo". Este resultado valida la necesidad de intervención en la infraestructura vial, especialmente en regiones donde las condiciones climáticas adversas afectan el mantenimiento de las vías. Además, el estudio confirma la efectividad de los drones en la inspección de pavimentos, ofreciendo una metodología viable y eficiente para futuras evaluaciones. La evaluación del pavimento mediante PCI y VIZIR con drones representa una innovación significativa en la gestión de infraestructura vial, permitiendo diagnósticos más rápidos y precisos. Los resultados obtenidos en esta investigación subrayan la importancia de implementar metodologías tecnológicas en la evaluación de pavimentos en Perú, contribuyendo a mejorar la seguridad y eficiencia del transporte terrestre.

Mientras en el trabajo de Bravo (2020), se compararon la metodología PCI y MTC Perú, ambos métodos presentan ventajas y desventajas en su aplicación. La metodología PCI permite una evaluación detallada de las condiciones del pavimento mediante una clasificación basada en la severidad y tipo de fallas, proporcionando resultados más precisos y aplicables a una gran variedad de escenarios viales. Por otro lado, el MTC Perú presenta una clasificación más general de las fallas, lo que puede llevar a diagnósticos menos específicos. No obstante, su aplicación en el contexto nacional ha sido fundamental para la planificación del mantenimiento vial. Al ser una investigación comparativa entre permitió demostrar que el uso del PCI brinda una evaluación más precisa del estado de los pavimentos asfálticos, facilitando la planificación de estrategias de mantenimiento. Los resultados obtenidos subrayan la necesidad de adoptar metodologías más detalladas para mejorar la infraestructura vial en Perú. Esta investigación aporta herramientas clave para la optimización de los

recursos destinados al mantenimiento y rehabilitación de carreteras, asegurando mayor seguridad y eficiencia en el transporte terrestre. Se concluyó que, ambos métodos son útiles por ser herramientas avanzadas para la evaluación de pavimentos. La implementación de técnicas más precisas permitirá mejorar la gestión vial en el país, optimizando los procesos de mantenimiento y prolongando la vida útil de las carreteras. Los resultados de esta investigación constituyen una base sólida para futuras mejoras en la evaluación de infraestructura vial en Perú.

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Pavimento

Es una capa o revestimiento construido sobre la superficie de una carretera, calle u otra área de tránsito, diseñado para soportar el tráfico vehicular y proporcionar una superficie firme y nivelada para el movimiento seguro de vehículos y peatones. Por lo general, está compuesto por materiales como asfalto, concreto u otros aglomerantes que se aplican sobre una base preparada, como grava o suelo compactado, para crear una superficie resistente y duradera. El pavimento también puede incluir características como señalización vial, drenaje adecuado y elementos de seguridad para mejorar la circulación y la seguridad en las vías de tránsito (Chu et al., 2023).

2.2.2. Tipos de pavimento

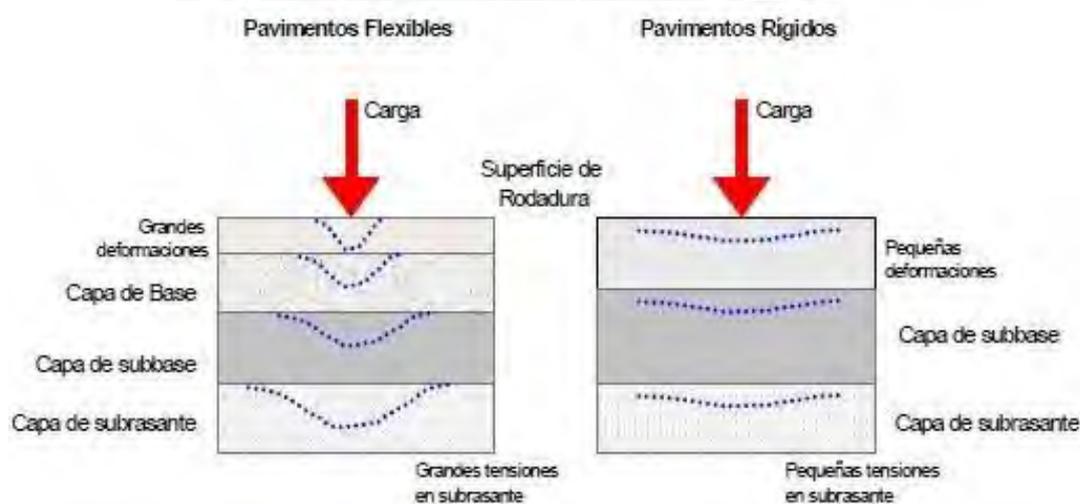
Los pavimentos son elementos fundamentales en la infraestructura vial, proporcionando una superficie segura y resistente para el tránsito de vehículos y peatones. Existen varios tipos de pavimentos, cada uno diseñado con características específicas para adaptarse a diferentes condiciones de tráfico, climáticas y geológicas. Entre los principales tipos de pavimentos se encuentran los rígidos, flexibles, semirrígidos y articulados, cada uno con sus propias ventajas y aplicaciones particulares.

- **Pavimentos rígidos:** Estos pavimentos se caracterizan por su estructura sólida y resistente, generalmente compuesta por losas de concreto reforzado. Cada losa se coloca sobre una base de material granular compactado, como grava o piedra triturada, que proporciona soporte y estabilidad. Las losas de concreto están unidas entre sí mediante juntas para permitir pequeños movimientos y evitar grietas. Los pavimentos rígidos son ideales para áreas con tráfico intenso y cargas pesadas, como autopistas y aeropuertos, ya que distribuyen eficazmente las cargas y resisten el desgaste causado por el tráfico y el clima (Barriento, 2021).
- **Pavimentos flexibles:** Estos pavimentos están compuestos principalmente por una capa de asfalto (también conocida como mezcla asfáltica) colocada sobre una base flexible, como una capa de grava o suelo estabilizado. La capa de asfalto es elástica y puede deformarse bajo cargas de tráfico, redistribuyendo así las tensiones y reduciendo la probabilidad de agrietamiento. Esta flexibilidad los hace adecuados para terrenos con movimientos y asentamientos, así como para áreas con climas variables donde se necesite una superficie adaptable y resistente (Aziz et al., 2015).
- **Pavimentos semirrígidos:** Estos pavimentos combinan características de los pavimentos rígidos y flexibles. Generalmente consisten en una capa de concreto de menor espesor que los pavimentos rígidos tradicionales, lo que les otorga cierta flexibilidad. Esta capa de concreto puede estar reforzada con materiales como mallas metálicas o fibras para aumentar su resistencia a las grietas. Los pavimentos semirrígidos son adecuados para áreas con cargas moderadas y terrenos con movimientos moderados, ofreciendo una buena durabilidad y resistencia a un costo menor que los pavimentos rígidos convencionales. (Abantos & Tantalean, 2020).

- **Pavimentos articulados:** Estos pavimentos se componen de unidades individuales, como adoquines, losas de concreto prefabricadas o bloques de piedra, que están colocadas de manera articulada o separadas entre sí. Estas unidades permiten cierta flexibilidad y movimiento, lo que les permite adaptarse a terrenos irregulares y absorber cargas de tráfico de manera efectiva. Los pavimentos articulados son comunes en áreas peatonales, plazas y calles residenciales, donde se valora la estética y se necesita una superficie durable y resistente al mismo tiempo (Chávarri & Falen, 2020).

Figura 1.

Comportamiento del pavimento rígido y flexible.



Nota. Tomado de Villagran et al. (2024).

2.2.3. Patologías del pavimento

Las patologías en los pavimentos no solo representan un riesgo para la integridad estructural de las vías de tránsito, sino que también pueden ser una causa significativa de accidentes automovilísticos. Estos problemas, que incluyen grietas, baches y deformaciones, pueden ser difíciles de detectar, especialmente cuando se necesita inspeccionar largas distancias de pavimento. La inspección visual tradicional, aunque efectiva, puede resultar tediosa y consumir mucho tiempo. Sin embargo, con la

aparición de tecnologías móviles avanzadas, como aplicaciones especializadas, ahora es posible identificar estas patologías de manera más rápida y precisa. Estas aplicaciones pueden escanear y analizar el pavimento utilizando la cámara de un dispositivo móvil, detectando de manera eficiente grietas, baches y otros defectos. Esta innovación no solo simplifica el proceso de inspección, sino que también permite una respuesta más rápida a las necesidades de mantenimiento, mejorando así la seguridad vial y prolongando la vida útil de las carreteras y calles (Shtayat et al., 2020).

- **Fisuras:** Las fisuras en el pavimento son grietas pequeñas que se forman en la capa superficial del mismo, extendiéndose en general de manera longitudinal o transversal. Estas fisuras pueden surgir debido a diversos factores, como la contracción y expansión del pavimento causada por cambios de temperatura, tensiones mecánicas originadas por el tráfico vehicular, movimientos del suelo o asentamientos diferenciales. Aunque al principio pueden ser de tamaño reducido, si no se tratan adecuadamente, estas fisuras tienden a propagarse y aumentar de tamaño con el tiempo, comprometiendo la resistencia y la durabilidad del pavimento. Además, las fisuras pueden facilitar la penetración de agua y otros agentes corrosivos, acelerando así el proceso de deterioro del pavimento y aumentando la necesidad de mantenimiento y reparación (Mackiewicz, 2018).

Figura 2.*Fisura en el pavimento*

Nota. Tomado Vásquez (2022).

Además, según el “Ministerio de Transportes y Comunicaciones” en su manual de referencia del año 2018, proporciona detalles sobre los diversos tipos de fisuras observadas en los pavimentos rígidos, clasificándolas según su gravedad. Esta información se encuentra detallada en la tabla que se presenta a continuación.

Tabla 1.*Fisuras en el pavimento y niveles de gravedad*

Tipo de fisura	Gravedad
Fisuras longitudinales	G-1: Fisuras finas (ancho ≤ 1 mm). G-2: Fisuras medias, corresponden a fisuras abiertas y/o ramificadas, sin pérdida de material (ancho > 1 mm y ≤ 3 mm).
Fisuras transversales	
Fisuras oblicuas	G-3: Fisuras gruesas, corresponden a fisuras abiertas y/o ramificadas, con pérdida de material (ancho > 3 mm)
Fisuras de esquina	G-1: Solamente una esquina quebrada G-2: Dos Esquinas quebradas G-3: Más que dos esquinasquebradas

Nota. Tomado de Vásquez (2022).

- **Grietas:** Son aberturas lineales que se desarrollan en su superficie, pudiendo ser longitudinales, transversales o en forma de malla. Estas grietas pueden originarse por una variedad de causas, entre las que se incluyen los movimientos del suelo, la fatiga del material, los cambios de temperatura, la humedad y la acción repetida del

tráfico vehicular. A medida que estas grietas se propagan y se profundizan, comprometen la integridad estructural del pavimento, reduciendo su capacidad para soportar cargas y resistir las fuerzas del tráfico. Además, las grietas permiten la infiltración de agua en las capas inferiores del pavimento, lo que puede provocar un deterioro acelerado y la formación de más grietas. Por tanto, es fundamental detectar y reparar las grietas de manera oportuna para prevenir daños mayores y prolongar la vida útil del pavimento (Farfan & Pinzon, 2022).

- **Erosión por bombeo:** Es un tipo específico de deterioro del pavimento que se caracteriza por la formación de depresiones o hundimientos localizados en su superficie. Este fenómeno ocurre principalmente en áreas donde el agua se acumula durante periodos de lluvia o riego, y se debe a la acción erosiva del agua sobre los materiales que componen el pavimento. La presión del agua provoca la erosión de los materiales subyacentes, creando cavidades que eventualmente colapsan, dando lugar a hundimientos en la superficie del pavimento. La erosión por bombeo puede ser exacerbada por la falta de drenaje adecuado, la compactación deficiente del suelo subyacente o la presencia de materiales poco resistentes en la base del pavimento. Esta patología no solo afecta la apariencia estética del pavimento, sino que también compromete su funcionalidad y seguridad, especialmente en áreas de alto tráfico. Por lo tanto, es importante tomar medidas para corregir la erosión por bombeo y prevenir su recurrencia mediante el mejoramiento del sistema de drenaje y la reparación adecuada del pavimento afectado (Al-Altroush, 2022).

Figura 3.

Erosión por bombeo en el pavimento



Nota. Tomado de Salazar (2019).

- **Baches o huecos:** Son irregularidades en la superficie del pavimento que se caracterizan por la formación de depresiones o cavidades. Estas deformaciones pueden variar en tamaño y profundidad, desde pequeños baches hasta grandes áreas degradadas. Los baches se forman principalmente debido al tráfico vehicular continuo, que ejerce presión sobre el pavimento y causa su deformación. Además, factores como la exposición a condiciones climáticas extremas, la falta de drenaje adecuado o deficiencias en el diseño y construcción del pavimento pueden contribuir a su formación. Los baches no solo afectan la suavidad y la seguridad del viaje, sino que también pueden causar daños en los vehículos y aumentar el riesgo de accidentes, especialmente durante condiciones climáticas adversas (Cárdenas et al., 2023).

El manual de carreteras "Mantenimiento o Conservación Vial" proporciona detalles sobre los baches o huecos y su grado de severidad, tal como se ilustra en la tabla que se presenta a continuación.

Tabla 2.*Baches en el pavimento y niveles de gravedad*

Tipo de patología	Gravedad
Baches	G-1: Diámetro < 0.2 m.
	G-2: Diámetro entre 0.2 y 0.5
	mG-3: Diámetro > 0.5 m.

Nota. Tomado de Vásquez (2022).

- **Desniveles entre losas:** Los desniveles entre las losas se refieren a las diferencias de altura o discontinuidades que se presentan en la superficie del pavimento, especialmente en las juntas entre las losas de concreto. Estos desniveles pueden ser causados por varios factores, como asentamientos diferenciales del suelo, movimientos térmicos, expansión y contracción del pavimento, o deficiencias en la construcción de las juntas. Los desniveles entre las losas no solo afectan la comodidad del viaje, sino que también pueden aumentar el desgaste de los neumáticos y provocar fatiga en la estructura del pavimento. Además, pueden representar un riesgo para la seguridad vial, especialmente para los conductores de vehículos de dos ruedas (Farfan & Pinzon, 2022).

A continuación, se muestran los distintos niveles de gravedad para esta problemática según lo establecido en el manual de carreteras "Mantenimiento o Conservación Vial".

Tabla 3.*Desniveles en el pavimento y niveles de gravedad*

Tipo de patología	Gravedad
Desnivel entre losas	G-1: Sensible al usuario sin reducción de la velocidad
	G-2: Resultado en una reducción significativa de la velocidad
	G-3: Resultado en una reducción drástica de la velocidad

Nota. Tomado de Vásquez (2022).

- Despotillamiento de juntas:** Se refiere al deterioro o pérdida de material en las juntas entre las losas de pavimento de concreto. Este fenómeno puede ser el resultado de la exposición prolongada a condiciones climáticas adversas, como la lluvia, el viento o el sol, así como al tráfico vehicular continuo. Además, la falta de sellado adecuado de las juntas durante la construcción o el mantenimiento del pavimento puede contribuir al despotillamiento. Asimismo, puede comprometer la integridad estructural del pavimento, permitiendo la infiltración de agua y otros agentes corrosivos, lo que eventualmente puede llevar a la formación de grietas y el deterioro del pavimento.

Tabla 4.*Despotillamiento de juntas en el pavimento y niveles de gravedad*

Tipo de patología	Gravedad
Despotillamiento de juntas	<p>G-1: Fracturamiento o desintegración de bordes menor-igual que el 50% de la longitud dentro de los 5 cm de la junta</p> <p>G-2: Fracturamiento o desintegración de bordes mayores que el 50% de la longitud dentro de los 5 cm de la junta</p> <p>G-3: Fracturamiento o desintegración hasta una distancia superior a 5 cm de la junta</p>

Nota. Tomado de Vásquez (2022).

Desprendimiento: Se produce cuando la capa superficial del pavimento se separa o desintegra, creando escamas, fragmentos o parches sueltos. Esta condición puede ser causada por la falta de adherencia entre las capas del pavimento, el tráfico vehicular pesado, la exposición a condiciones climáticas extremas, o deficiencias en el proceso de construcción o mantenimiento. El desprendimiento no solo afecta la apariencia estética del pavimento, sino que también puede comprometer su resistencia y durabilidad. Además, puede aumentar el riesgo de accidentes y daños en los vehículos, especialmente durante la conducción a alta velocidad. Por lo tanto, es importante abordar el desprendimiento de manera oportuna mediante técnicas de reparación adecuadas para mantener la seguridad y la funcionalidad del pavimento (Cárdenas et al., 2023).

Tabla 5.*Desprendimiento en el pavimento y niveles de gravedad*

Tipo de patología	Gravedad
Desprendimiento	G-1: Pérdida de material menor al 10% de la superficie de las losas afectadas
	G-2: Pérdida de material entre el 10% y 30% de la superficie de las losas afectadas
	G-3: Pérdida de material mayor al 30% de la superficie de las losas afectadas

Nota. Tomado Vásquez (2022).

2.3. Recapeo asfáltico

Es un procedimiento esencial dentro del mantenimiento vial que tiene como objetivo principal restaurar y mejorar la superficie de las carreteras y calles. Este proceso se lleva a cabo cuando la capa superficial del pavimento presenta un deterioro considerable debido al desgaste por el tráfico, la exposición a condiciones climáticas extremas o el paso del tiempo. Durante el recapeo asfáltico, se aplica una nueva capa de asfalto sobre la superficie existente, lo que permite corregir defectos como grietas, baches, desgaste superficial y deformaciones. Este procedimiento no solo mejora la apariencia estética del pavimento, sino que también restaura su funcionalidad y seguridad. Al proporcionar una superficie más suave y uniforme, el recapeo asfáltico reduce el riesgo de accidentes, mejora la comodidad del viaje y prolonga la vida útil de la vía (Condori, 2021).

El proceso de recapeo asfáltico generalmente incluye varias etapas, como la preparación de la superficie existente, que puede involucrar la reparación de áreas dañadas, la limpieza y el sellado de grietas, y la aplicación de una capa de imprimación para mejorar la adherencia entre la capa existente y la nueva capa de asfalto. Luego,

se coloca y compacta la nueva capa de asfalto mediante equipos especializados, asegurando una superficie uniforme y duradera.

El recapeo asfáltico según Pérez & Leyva (2018) este trabajo implica la instalación de uno o varios dispositivos capas de mezcla asfáltica en la superficie de rodamiento de un coche asfalto de la carretera, incluyendo los vinculados a los túneles, puentes y otros componentes.

Según Nuñez (2022), se entiende como la colocación de una o más capas de mezcla asfáltica aplicada sobre la superficie de rodadura de un pavimento construido, de manera de brindarle mantenimiento o rehabilitación a la vía.

Figura 4

Recapeo asfáltico en el pavimento



Nota. Tomado de Radio Nacional (2024).

2.4. Método PCI (Índice de Condición de Pavimentos)

Según Nuñez (2022) con este método se buscó desarrollar un procedimiento para la obtención de un índice de la integridad estructural del pavimento y de la condición operacional de la superficie, de ese modo la conclusión del procedimiento tendría como resultado un valor con el cual se puede cuantificar el estado del pavimento para su mantenimiento o tratamiento.

Para Ibragimov et al. (2024) el método PCI, es una métrica crítica utilizar para evaluar las condiciones del pavimento, es esencial para una distribución eficiente del presupuesto y un monitoreo del desempeño. Aunque presenta ciertas limitaciones por intensa labora, subjetividad y exposición al error humano.

Según Nuñez (2022), el método PCI logra obtener un índice de la integridad estructural del pavimento y de la condición funcional de la vía. Este valor al ser cuantificable permite concluir en el estado del pavimento y así determinar el mantenimiento o tratamiento de la vía. Para obtener este valor se recurre a factor de ponderación, para determinar hasta qué punto influye en la condición del pavimento cada mezcla de deterioro, grado de gravedad y densidad (cantidad). Este valor se denomina deducido, el cual representa la irregularidad del pavimento y la condicional funcional, este valor varía entre 0 para pavimentos en estado fallido y un valor de 100 para pavimentos en excelentes condiciones.

2.4.1. Curvas de valor deducido

Para este ítem se utilizaran las curvas utilizadas por Paredes & Torres (2022), estas han sido adaptaciones de Vásquez (2002). Ver Anexo 2. Abaco del estudio Vásquez 2022.

Capítulo III. Metodología

3.1. Enfoque de investigación

El enfoque de investigación adoptado para este estudio fue del tipo cuantitativo, en concordancia con la metodología propuesta por Azuero (2019). En este tipo de enfoque, se lleva a cabo la recolección y el análisis de datos con el propósito de responder a las interrogantes planteadas en la investigación y verificar las hipótesis formuladas. Este método se basa en el conteo, las mediciones numéricas y el uso de técnicas estadísticas para establecer mediciones precisas de los datos obtenidos.

La elección de un enfoque cuantitativo se justifica por la naturaleza de los resultados que se esperan obtener en los ensayos propuestos y análisis planificados. Estos resultados serán expresados en forma de datos numéricos medibles, los cuales serán sometidos a un riguroso análisis estadístico. De esta manera, se busca obtener una comprensión profunda y objetiva de las variables estudiadas, permitiendo así realizar inferencias válidas y fundamentadas.

3.2. Tipo de investigación

La investigación aplicada se distingue por su énfasis en la resolución de dificultades reconocidas y su propósito de crear una base sólida para afrontar retos concretos. Este tipo de estudio tiene la capacidad de emplear con éxito la información obtenida en bases de datos anteriores, para contribuir a su desarrollo y aplicación práctica (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018).

La presente investigación será de tipo aplicado ya que tiene como objetivo principal proponer soluciones concretas para contrarrestar las patologías del pavimento de la Av. Tingo María en Lima para el año 2024. En lugar de centrarse únicamente en la generación de conocimiento teórico, este estudio se enfocará en la resolución

de una problemática específica y relevante en el ámbito de la ingeniería vial.

El énfasis estará puesto en la aplicación práctica de los hallazgos obtenidos a partir del análisis de datos, así como en la utilización efectiva de información proveniente de bases de datos anteriores relacionadas con el tema. De esta manera, se buscará no solo comprender las causas subyacentes de las patologías del pavimento, sino también proponer medidas concretas de recapeo asfáltico que puedan implementarse de manera efectiva, con el fin de mejorar su estado y garantizar una mayor durabilidad y seguridad vial.

3.3. Nivel de investigación

La presente investigación se enmarca en el nivel explicativo. Este enfoque se caracteriza por su interés en descubrir las causas subyacentes y los vínculos entre los fenómenos estudiados. Su objetivo fundamental es comprender por qué se producen ciertos eventos y cómo se relacionan entre sí (Ñaupas et al., 2014), este nivel de investigación se orienta a explicar fenómenos mediante el análisis de sus factores determinantes, permitiendo establecer relaciones de causa y efecto. En este estudio, se identifican los principales problemas que afectan la infraestructura vial de la avenida, como la falta de mantenimiento preventivo, el impacto del tráfico pesado, las condiciones climáticas adversas y la calidad de los materiales utilizados en su construcción. Sin embargo, no basta con reconocer estos factores de forma aislada; es fundamental analizar cómo interactúan entre sí y contribuyen al deterioro progresivo del pavimento.

Asimismo, esta investigación no se limita a señalar el problema, sino que propone una solución técnica fundamentada: la aplicación del recapeo asfáltico. Para ello, se emplea el método PCI (Índice de Condición de Pavimentos), el cual permite evaluar

el estado del pavimento de manera objetiva y determinar qué tipo de intervención es la más adecuada en cada segmento de la avenida.

Al adoptar un enfoque explicativo, se pretende contribuir al avance del conocimiento científico en el campo de la ingeniería vial, proporcionando una base teórica sólida para comprender las razones detrás de las patologías del pavimento. Además, se busca ofrecer una perspectiva más completa que permita tomar decisiones informadas sobre las medidas necesarias para mejorar la situación de la Av. Tingo María.

3.4. Diseño de investigación

El diseño de la presente investigación sigue una metodología no experimental. En este tipo de diseño, no se manipulan variables ni se llevan a cabo intervenciones controladas sobre los sujetos de estudio (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018). En el caso de esta propuesta de repavimentación asfáltica para contrarrestar las patologías del pavimento de la Av. Tingo María, no se realizarán experimentos que impliquen modificar o intervenir en el entorno físico de la vía o en las condiciones de tráfico. En lugar de eso, se llevará a cabo un análisis exhaustivo de la situación actual del pavimento, se identificarán las principales causas de las patologías presentes y se propondrán soluciones basadas en el conocimiento técnico y las mejores prácticas en ingeniería vial. Este enfoque se centra en la recopilación, análisis e interpretación de datos existentes, así como en la elaboración de recomendaciones para la mejora del pavimento, sin la necesidad de realizar intervenciones directas en el terreno.

3.5. Variables de estudio

Variable independiente:

Propuesta de recapeo asfáltico.

Variable dependiente:

Patologías del pavimento de la Av. Tingo María.

3.6. Operacionalización de las variables

En la siguiente **Tabla 6** se representa la operacionalización de las variables con sus respectivas definiciones e identificación de dimensiones e indicadores.



Tabla 6.*Matriz Operacionalización de variables*

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
VI: Propuesta de recapeo asfáltico	Se refiere a la intervención planificada para aplicar una nueva capa de asfalto sobre el pavimento existente. Esta propuesta implica la implementación de medidas específicas destinadas a mejorar la calidad, durabilidad y seguridad del pavimento.	En el estudio, se refiere a los procedimientos específicos y acciones planificadas para llevar a cabo la mejora del pavimento de la avenida. Esto incluye la evaluación detallada de las condiciones del pavimento actual, la selección cuidadosa de materiales de recapeo, la planificación precisa de la aplicación del asfalto y la evaluación de la viabilidad económica del proyecto. Para toda la recolección de datos, se empleará las fichas de observación pertinentes.	Selección de materiales	Calidad del asfalto seleccionado Durabilidad esperada
			Planificación de la aplicación	Programación de los trabajos de recapeo Coordinación de los recursos humanos y materiales
			Viabilidad económica	Costo total estimado del proyecto de recapeo Relación costo-beneficio del recapeo asfáltico
VD: Patologías del pavimento de la Av. Tingo María	Se refiere a los problemas o defectos presentes en el pavimento de la Av. Tingo María en Lima, tales como grietas, fisuras, baches, desgaste, desniveles, entre otros. Estas patologías afectan la durabilidad, seguridad y calidad del pavimento, así como la experiencia de conducción de los usuarios.	En el contexto de esta investigación implica la identificación y cuantificación precisa de los diferentes tipos de defectos y deterioros presentes en el pavimento. Esto incluye grietas, fisuras, baches, desgaste irregular, hundimientos, entre otros, para los cuales se usará métodos específicos para la detección y medición de estas patologías, como mediante inspecciones visuales, mediciones de profundidad y anchura de grietas, evaluaciones de la rugosidad del pavimento, entre otros procedimientos.	Grietas y fisuras	Área, densidad y severidad de falla
			Baches	
			Piel de cocodrilo	
			Grieta de borde	
			Falla de parches	
Falla de exudación				

oeste, conectando diferentes barrios y distritos de la capital peruana.

Este tramo, con una longitud de 0.53 kilómetros, se caracteriza por su ubicación estratégica y su relevancia como corredor urbano. Rodeada por una diversidad de establecimientos comerciales, instituciones educativas y zonas residenciales, la Avenida Tingo María se erige como un espacio dinámico donde convergen actividades comerciales, sociales y culturales. Además de su función como vía de acceso y tránsito, la Avenida Tingo María desempeña un papel crucial en la movilidad urbana de Lima. Su conexión con otras arterias viales importantes la convierte en un punto de confluencia clave para el transporte público y privado, facilitando el desplazamiento de miles de personas a diario.

Sin embargo, a pesar de su importancia enfrenta desafíos en términos de su estado actual. El pavimento de esta vía presenta diversas patologías, como grietas, fisuras, baches y pérdida de capa de rodadura, que afectan tanto su durabilidad como la seguridad vial de quienes transitan por ella.

3.7.2. Población

Según Árias et al. (2016) la población se define como el conjunto de elementos que comparten características similares en un determinado lugar, país, sujeto, ciudad, grupo, entidad, entre otros, ya sea de manera finita o infinita.

En el contexto de la presente investigación, se considerará como población a todos los tramos de la Avenida Tingo María en Lima, lo cuales suman 0.53 km aproximadamente. Esta definición abarca tanto las secciones que presentan patologías en el pavimento como aquellas que aún no han sido afectadas, proporcionando así un marco completo para el análisis y la propuesta de recapeo asfáltico.

Figura 6.

Población de estudio (2024)



Nota. Google Earth (2024)

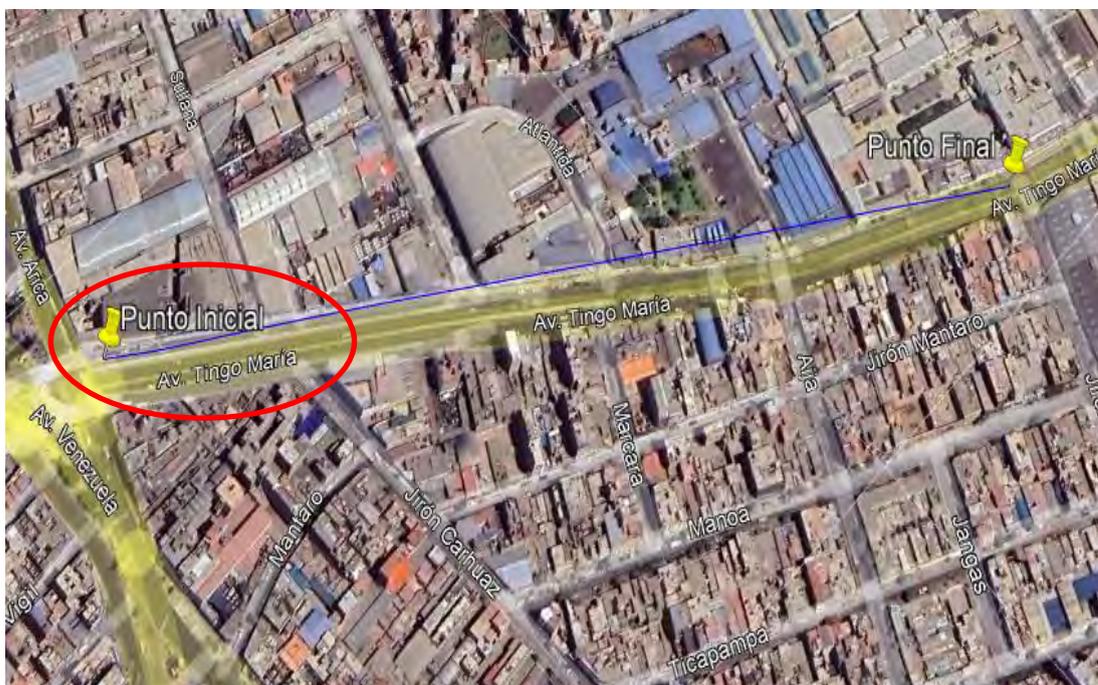
3.7.3. Muestra

La muestra se define como un subconjunto representativo de individuos, elementos, objetos o eventos seleccionados de una población de estudio más amplia (Árias et al., 2016).

En el contexto de esta investigación, la muestra estará limitada al tramo específico de la Av. Tingo María definido en el capítulo anterior, que abarca una extensión de 0.5 kilómetros. Esta selección se justifica debido a que este tramo ha sido identificado como el más afectado por las patologías del pavimento, lo que lo convierte en el foco principal de análisis y atención. Además, esta restricción en la muestra se debe a limitaciones logísticas y de recursos que impiden evaluar toda la extensión de la vía. Por lo tanto, el análisis y las conclusiones de esta investigación se basarán en la información recopilada y analizada específicamente para este tramo de la Avenida Tingo María.

Figura 7.

Muestra de estudio (2024)



Nota. Google Earth (2024)

3.7.4. Muestreo

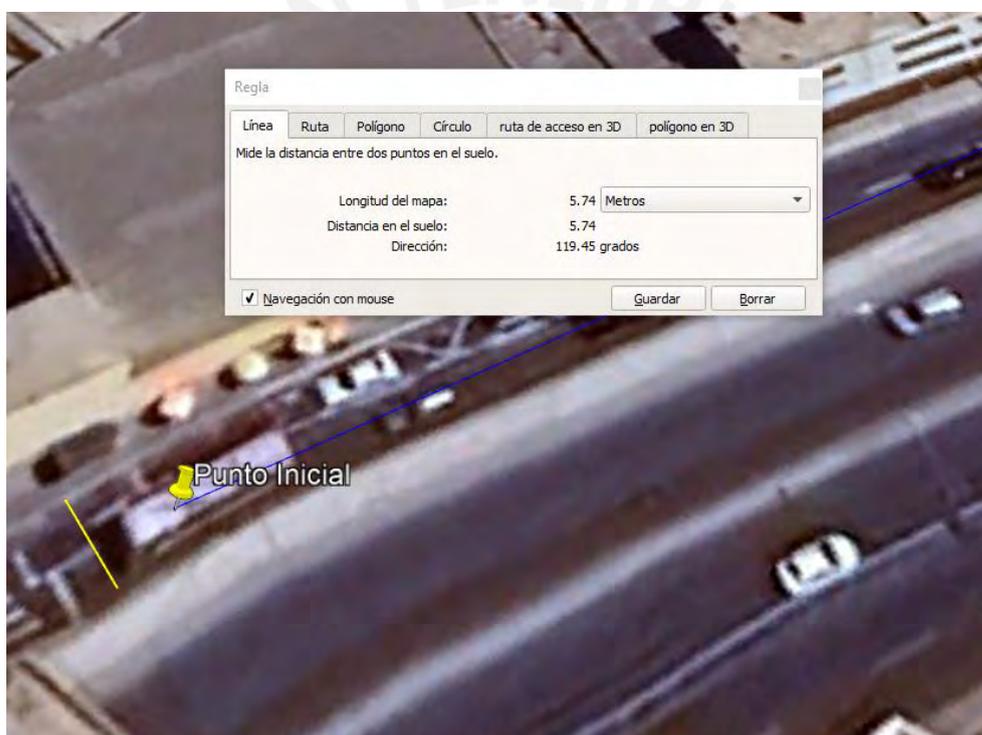
Según Diaz (2014) para la metodología PCI si este número es inferior a 5, entonces se debe de tomar el total de las unidades a ser evaluadas. Sin embargo, en esta investigación se utilizará un método de muestreo no probabilístico, específicamente el muestreo por conveniencia. Este muestreo implica seleccionar el tramo de la Av. Tingo María que es más accesible y conveniente para el estudio, en este caso, el tramo que ha sido identificado como el más afectado por las patologías del pavimento. Esto permitirá obtener información relevante y detallada sobre las condiciones del pavimento en este tramo específico, lo cual será fundamental para desarrollar la propuesta de reapeo asfáltico y abordar las patologías identificadas. En el caso de la presente investigación se segmentarán en 6 secciones, ver **Figura 8**.

Lima.

Es importante determinar el área de muestra, para ello en base a Paredes & Torres (2022), con ella se podrá determinar el área de cada muestra de la presente investigación la Av. Tingo María de Lima. A continuación, se muestran los valores de los anchos de calzada de dos puntos, punto inicial y punto final del tramo de estudio en la Av. Tingo María de Lima. Ver Figura 10 y Figura 11.

Figura 10.

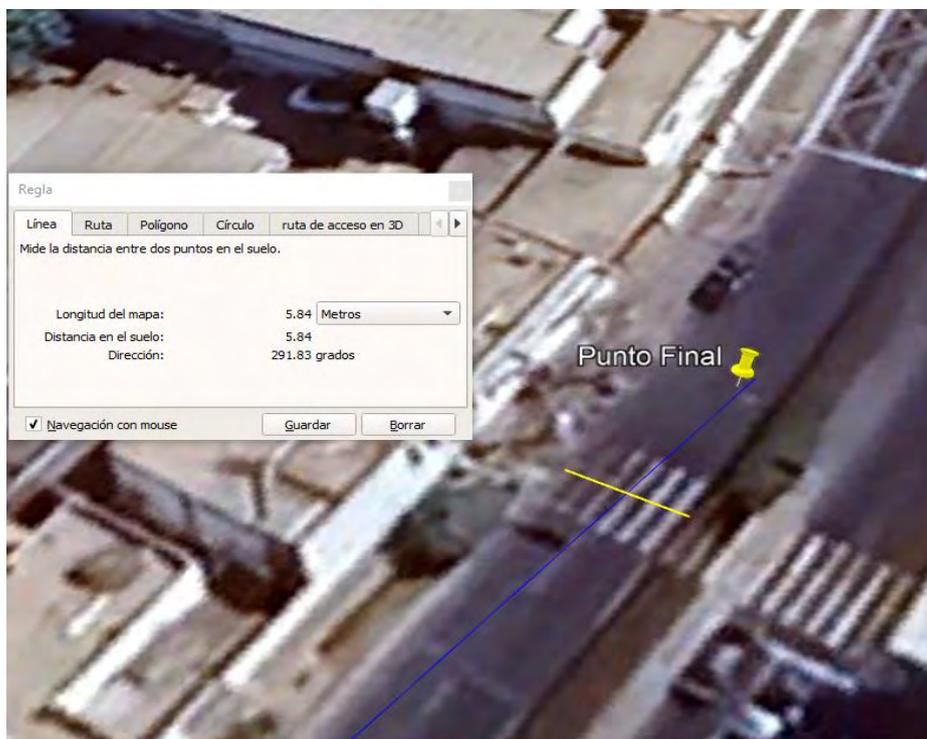
Ancho de calzada de la Av. Tingo María, punto inicial (2024)



Nota. Tomado de Google Earth (2024)

Figura 11.

Ancho de calzada de la Av. Tingo María, punto final (2024)



Nota. Tomado de Google Earth (2024)

Entonces, en base a las **Figura 10** y **Figura 11** se determina que el valor promedio de ancho de calzada sería, ver **Tabla 7**.

Tabla 7.

Longitud de unidades de muestreo del pavimento asfáltico

Ancho de calzada (m)	Longitud de la unidad de muestreo (m)
5	46
5.5	41.8
6	38.3
6.5	35.4
7.3 (máximo)	31.5

Nota. Tomado de Paredes & Torres (2022),

Por lo tanto, con el ancho de calzada determinado se calcula el área de muestra para la metodología PCI, esta es **229.8 m²**.

3.7.5.2. Toma de fotografías

Tabla 8.

Unidades de muestra

Unidad de muestra	Fotografía general
UM 1	
UM 2	
UM 3	
UM 4	
UM 5	
UM 6	
UM 7	
UM 8	

Nota. Elaboración propia

3.7.6. Trabajo de gabinete

Se realizarán los cálculos y se asociarán con las curvas por verse, sino se empleará metodología de otros autores, se tendrá en cuenta que el valor de área para la metodología PCI es de **229.8 m²**.

La fase de gabinete se resume en los siguientes pasos:

1. Determinar el área para la metodología PCI = **229.8 m²**
2. Ordenar los datos recogidos en el instrumento de recolección, por falla y severidad. Obtener los valores deducidos a partir de los ábacos por falla y la densidad porcentual, esta se halla con la siguiente formula:

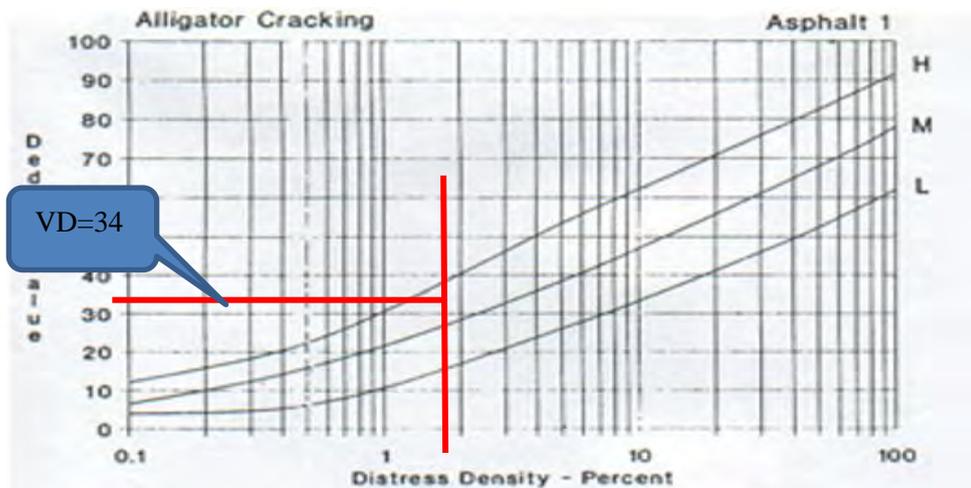
$$Densidad\ Porcentual = \frac{\{(A * L)\ m^2\} * 100}{229.8\ m^2}$$

Densidad porcentual por falla en cada UM.

3. Obtenidos los valores de densidad porcentual, se identifican con las curvas de valores deducidos por falla y con la severidad según criterio, mostrado en Paredes & Torres (2022).
4. Trabajo con el ábaco, según falla y se calculan los valores deducidos (VD), como en la imagen. Ver Figura 12

Figura 12.

Abaco para piel de cocodrilo



Nota. Tomado de (Vásquez, 2022).

Con el cálculo de la densidad porcentual y la severidad se determina el **m**, **VD** y **q**

$$m_i = 1.00 + \frac{9}{98} (100 - HDV_i)$$

HDV= el máximo valor deducido por unidad muestral.

Con **m** se forma la siguiente. Ver Figura 13.

Figura 13.

Formato para la Obtención del Máximo Valor Deducido Corregido

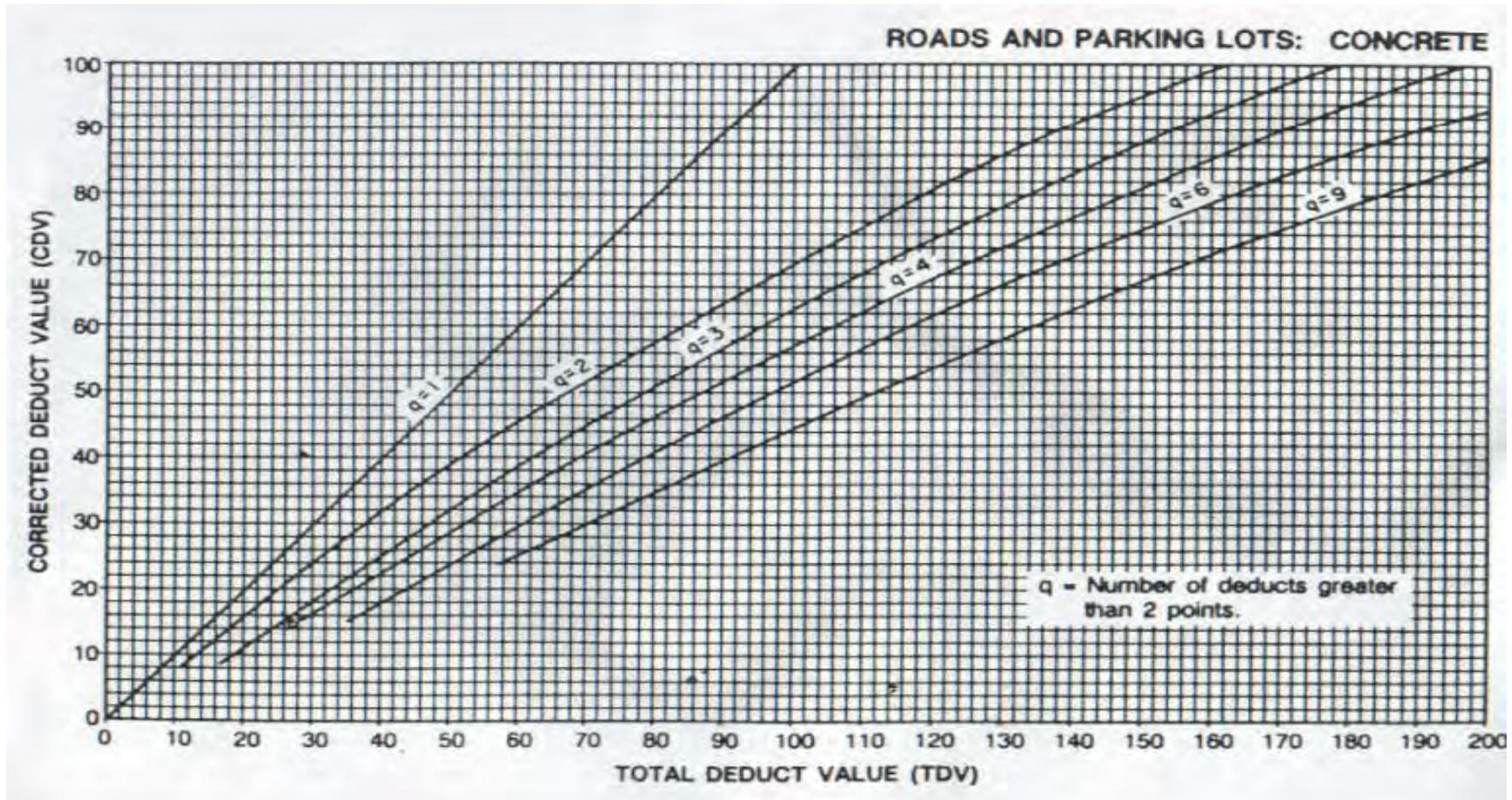
No.	Valores Deducidos								Total	q	CDV
1											
2											
3											
4											

Nota. Tomado de (Vásquez, 2022).

Con los valores de las columnas “Total” y “q” aplicados en la Figura 14, se obtienen los valores de la columna CDV.

Figura 14.

Abaco para correcciones de Valor deducido



Nota. Tomado de (Vásquez, 2022).

De la columna CDV se destaca el máximo valor para finalmente aplicarse la siguiente fórmula, para cada unidad muestral.

$$PCI = 100 - \text{Max CDV}$$

El procedimiento concluye con la clasificación del valor obtenido con la escala de la Figura 15.

Figura 15.

Rangos de calificación

RANGO	CLASIFICACION
100 – 85	Excelente
85 – 70	Muy bueno
70 – 55	Bueno
55 – 40	Regular
40 – 25	Malo
25 – 10	Muy Malo
10 - 0	Fallado

Nota. Tomado de Zapana (2022b).

En resumen, se seguirá el procedimiento detallado en la Figura 16

Desde el trabajo e recojo de información fotográfica hasta el diagnóstico del método PCI.

Figura 16.

Secuencia de metodología PCI



- **Toma de fotografía**

El paso inicial implica tomar fotografías minuciosas del pavimento en la Av. Tingo María. Estas imágenes facilitan la documentación visual del estado de la superficie y actúan como fundamento para la valoración de los daños. Es crucial que las imágenes sean nítidas y cubran toda la zona impactada, dado que serán examinadas en las fases subsiguientes.

- **Diagnóstico de severidad y falla**

Tras recolectar las imágenes, se lleva a cabo un diagnóstico para determinar las clases de defectos existentes, tales como fisuras, fisuras o piel de cocodrilo. Además, cada patología se categoriza en función de su grado de gravedad (alto, medio o bajo). Esta fase es vital, ya que facilita la priorización de las intervenciones según el daño detectado.

- **Determinación de VD (Valor Deducido) - Ábaco metodología PCI**

En este punto, se aplica el método PCI, que usa un ábaco para asignar un valor deducido (VD) a cada falla detectada. Este valor representa la afectación del pavimento y es un factor clave en la evaluación de su estado.

- **Cálculo de valores deducidos metodología PCI**

Una vez determinados los VD, se realiza el cálculo total considerando la cantidad y severidad de las fallas. Esto permite obtener una puntuación preliminar del estado del pavimento en cada unidad muestral (UM).

- **Ajuste del valor deducido corregido mediante el ábaco**

Para obtener un resultado más preciso, se aplica un ajuste al valor deducido. En este proceso se corrigen los valores según la metodología PCI, asegurando que el diagnóstico refleje de manera fiel el estado real del pavimento.

- **Determinación final del valor PCI por UM y clasificación**

Finalmente, una vez ajustados todos los cálculos, se otorga un índice PCI final a cada unidad muestral. Este valor, que oscila entre 0 (pavimento en mal estado) y 100 (pavimento en óptimas condiciones), refleja el estado general del camino y facilita la determinación de qué tipo de acción se requiere: mantenimiento, recapeo o reconstrucción total.



Capítulo IV. Resultados y Discusiones

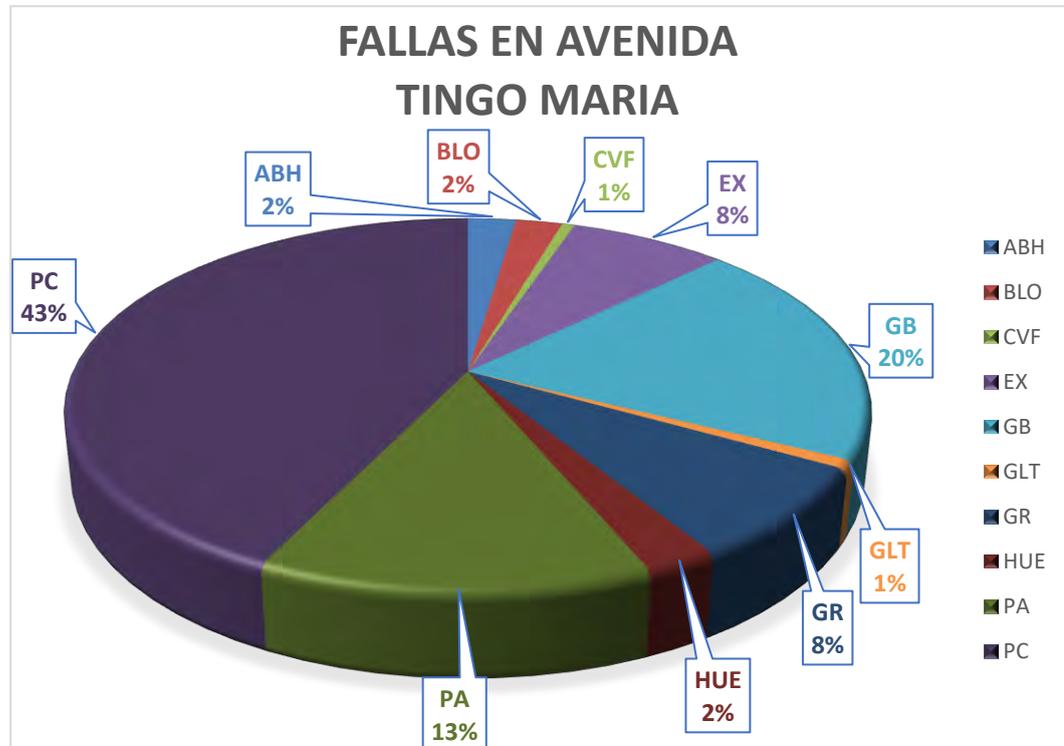
4.1. Resultados

En base al trabajo en campo se recogió la siguiente información, ver resumida en la **Figura 17.**

Figura 17.

Resumen de fallas

N°	Ubicación	Tipo de fallas	SEVERIDAD	Área	Densidad
1	UM-1	GB	L	4.6	2.001740644
2	UM-1	PC	L	8.448	3.676240209
3	UM-1	PA	M	3.411	1.484334204
4	UM-1	PC	H	3.3	1.436031332
5	UM-1	EX	L	15.98	6.953872933
6	UM-1	CVF	M	0.7225	0.314403829
7	UM-1	BLO	L	1.9723	0.858268059
8	UM-1	PA	M	3.51	1.527415144
9	UM-1	HUE	L	0.56	0.243690165
10	UM-1	PC	M	0.645	0.280678851
11	UM-2	GB	L	6.816	2.966057441
12	UM-2	ABH	H	0.6399	0.27845953
13	UM-2	GLT	L	2.6	1.131418625
14	UM-2	GR	L	61.36	26.70147955
15	UM-2	PA	M	38.025	16.54699739
16	UM-2	PA	M	1.144	0.497824195
17	UM-2	PC	L	3.85	1.675369887
18	UM-2	PC	L	96.2624	41.88964317
19	UM-3	PC	M	0.2535	0.110313316
20	UM-3	ABH	H	6.67	2.902523934
21	UM-3	PC	L	21.632	9.413402959
22	UM-3	PC	M	4.6656	2.030287206
23	UM-3	HUE	M	1.7171	0.74721497
24	UM-3	BLO	M	2.1476	0.934551784
25	UM-3	BLO	L	2.25225	0.980091384
26	UM-3	PC	M	14.22	6.187989556
27	UM-3	HUE	M	3.2175	1.400130548
28	UM-3	HUE	M	0.1066	0.046388164
29	UM-3	ABH	M	5.4536	2.373194082
30	UM-3	PC	M	7.8	3.394255875
31	UM-3	PC	M	10.5885	4.60770235
32	UM-4	BLO	M	8.45325	3.678524804
33	UM-4	CVF	M	3.8445	1.672976501
34	UM-4	PA	L	8.5995	3.742167102
35	UM-4	PA	M	2.2064	0.960139252
36	UM-4	PC	L	8.3655	3.640339426
37	UM-4	PC	M	1.152	0.501305483
38	UM-4	EX	L	41.8	18.1897302
39	UM-4	PA	M	4.6332	2.01618799
40	UM-5	PC	L	1.625	0.707136641
41	UM-5	PA	L	2.4948	1.085639687
42	UM-5	PC	L	5.07	2.206266319
43	UM-5	PA	M	0.5016	0.218276762
44	UM-5	PC	L	5.499	2.392950392
45	UM-5	PC	M	1.833	0.797650131
46	UM-5	PC	M	1.755	0.763707572
47	UM-5	PC	M	3.51	1.527415144
48	UM-5	PC	L	0.9494	0.413141862
49	UM-5	GB	H	3.185	1.385987815
50	UM-5	GB	L	12.76	5.552654482
51	UM-5	HUE	H	3.3	1.436031332
52	UM-6	PC	L	4.225	1.838555265
53	UM-6	PC	L	1.7784	0.773890339
54	UM-6	PC	L	5.138	2.235857267
55	UM-6	GLT	L	0.6705	0.291775457
56	UM-6	BLO	L	1.1102	0.483115753
57	UM-6	BLO	M	1.116	0.485639687
58	UM-6	PA	L	8.125	3.535683203
59	UM-6	PA	L	0.6996	0.304438642
60	UM-6	GB	L	112.32	48.8772846
61	UM-6	PC	M	57.472	25.00957354
62	UM-6	PA	M	1.7476	0.76048738
63	UM-6	PA	H	1.53725	0.668951262
64	UM-6	HUE	M	0.798	0.347258486
65	UM-7	HUE	H	0.4148	0.180504787
66	UM-7	PC	M	27.17	11.82332463
67	UM-7	HUE	H	2.397	1.04308094
68	UM-7	ABH	H	4.875	2.121409922
69	UM-7	PC	L	25.935	11.28590078
70	UM-7	PA	M	21.242	9.243690165
71	UM-7	HUE	H	1.3284	0.578067885
72	UM-8	GLT	M	2.288	0.99564839
73	UM-8	PA	M	5.7528	2.503394256
74	UM-8	HUE	M	5.1264	2.230809399
75	UM-8	PC	M	3.7609	1.636597041
76	UM-8	GB	L	11.3872	4.955265448

Figura 18.*Fallas en Av. Tingo María*

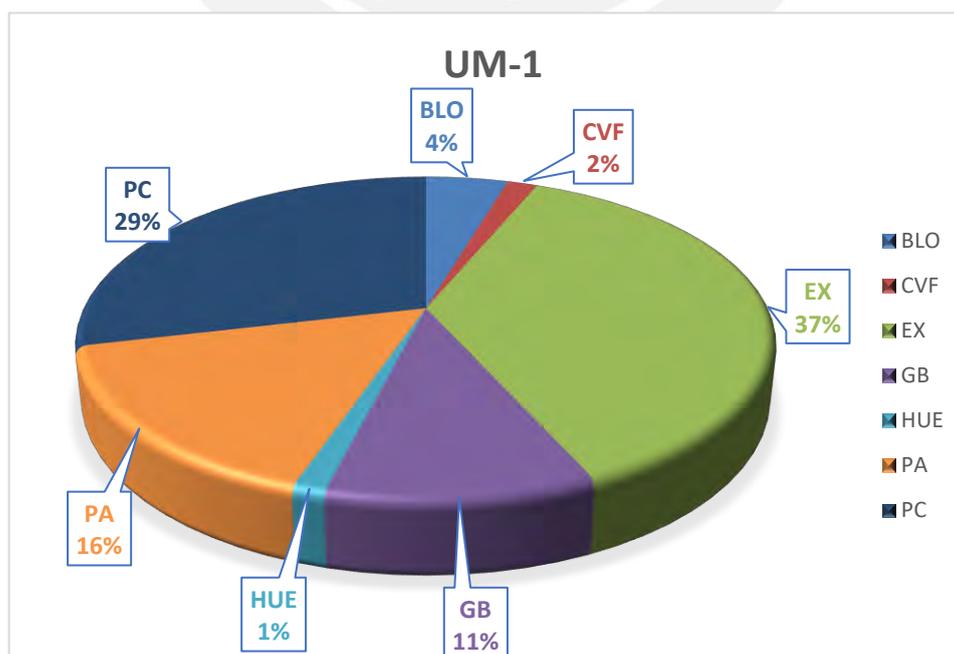
En base a la información recogida en campo, se obtiene la **Figura 18**, en la cual se observa a la falla de Piel de cocodrilo (PC) como la falla con mayor porcentaje de incidencia con un valor de 43%, seguida de la falla Grieta de Borde (GB) con un valor de 20% y por último con un porcentaje de 13% se presenta la falla Parches (PA). A continuación, se tienen la lista de las fallas frecuentes en las Unidades de muestras (UM), ver **Tabla 9**.

Tabla 9.*Tipos de falla de la Avenida Tingo María*

Tipos de falla	Área (m2)
ABH	17.6385
BLO	17.0516
CVF	4.567
EX	57.78
GB	151.0682
GLT	5.5585
GR	61.36
HUE	18.9658
PA	103.62975
PC	326.9032
Total general	764.52255

En base a la metodología PCI se diagnosticaron las fotografías clasificadas por Unidades muestrales (UM-1, UM-2, UM-3, UM-4, UM-5, UM-6, UM-7 y UM-8), estas fotografías fueron clasificadas según tipo de falla y severidad, ver Tabla 8.

A continuación, se detallarán los procedimientos por unidades muestrales.

Figura 19.*Fallas en UM-1*

En la Figura 19, se tiene como porcentaje mayor a la falla de Exudación (EX) con un valor de 37%, en segundo lugar, se tiene a la falla Piel de Cocodrilo (PC) con un valor de 29% y en tercer lugar a la falla Parche (PA) con un valor de 16%. Al aplicar la Metodología PCI, se concluye con la tabla 12.

Tabla 10.

Valores deducidos de UM-1

N°	Valores deducidos							VDT	q	VDC
1	38	21	18	10	9	5	3	104	7	50
2	38	21	18	10	9	5	2	103	6	49
3	38	21	18	10	9	2	2	100	5	52
4	38	21	18	10	2	2	2	93	4	54
5	38	21	18	2	2	2	2	85	3	54
6	38	21	2	2	2	2	2	69	2	50
7	38	2	2	2	2	2	2	50	1	50

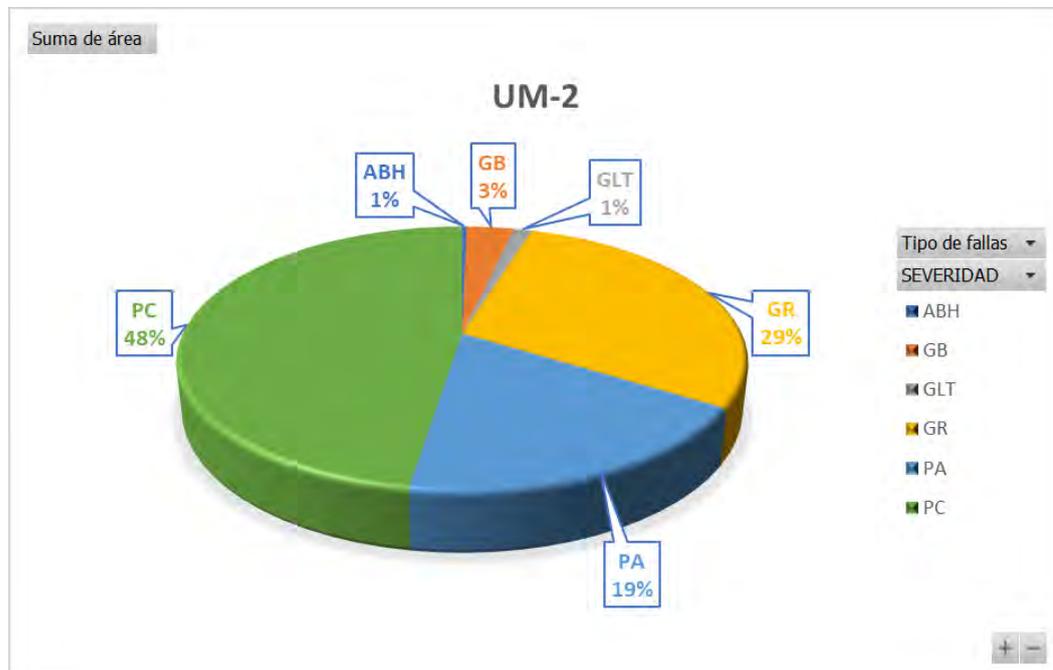
Con estos resultados del VDT y los valores de q, se utiliza el ábaco (anexo 3) para calcular los valores de VDC. Luego, se determina el máximo valor de VDC y se procede a la determinación de la clasificación de PCI con la siguiente formula:

$$PCI = 100 - CDV$$

Tabla 11.

Cálculo de PCI UM-1

MAX VDC=	54
PCI=	46
Diagnóstico =	Regular

Figura 20.*Fallas en UM-2*

En la Figura 20, se tiene como porcentaje mayor a la falla de Piel de Cocodrilo (PC) con un valor de 48%, en segundo lugar, la falla Grieta de Reflexión Junta (GR) con un porcentaje de 29% y en tercer lugar la falla Parches (PA) tuvo un valor de 19%.

Al aplicar la Metodología PCI, se concluye con la siguiente Tabla 12.

Tabla 12.*Valores deducidos de UM-2*

N°	Valores deducidos						VDT	q	VDC
1	60	50	20	10	8	2	150	5	78
2	60	50	20	10	2	2	144	4	80
3	60	50	20	2	2	2	136	3	82
4	60	50	2	2	2	2	118	2	80
5	60	2	2	2	2	2	70	1	70

Con estos resultados del VDT y los valores de q, se utiliza el ábaco (anexo 3) para calcular los valores de VDC. Luego, se determina el máximo valor de VDC y se procede a la determinación de la clasificación de PCI con la siguiente fórmula:

$$PCI = 100 - CDV$$

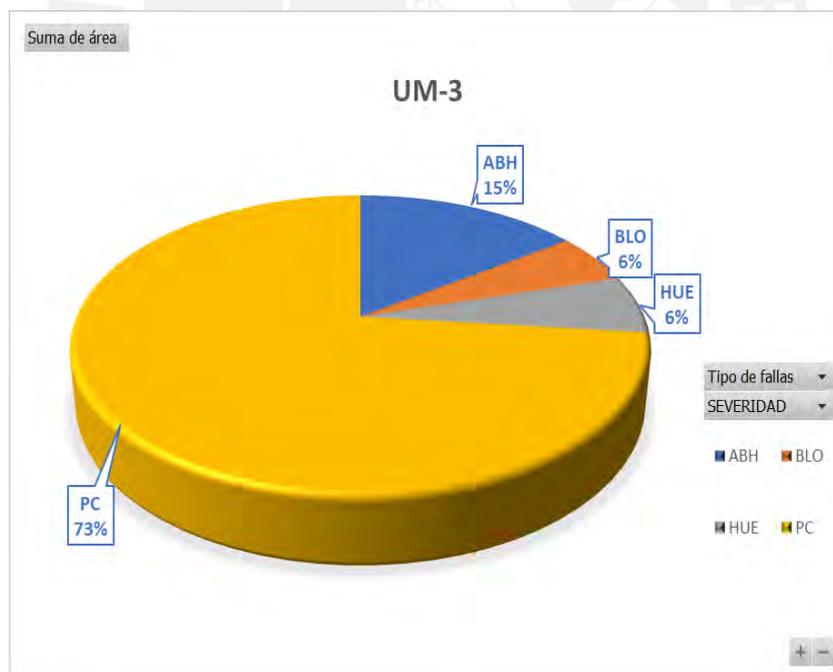
Tabla 13.

Cálculo de PCI UM-2

MAX VDC=	82
PCI=	18
Estado=	Muy Malo

Figura 21.

Fallas en UM-3



En la Figura 21, se tiene como porcentaje mayor a la falla de Piel de cocodrilo (PC) con un valor de 73%, seguido de Abultamiento y hundimientos (ABH) con un porcentaje de 15%. Al aplicar la Metodología PCI, se concluye con la siguiente Tabla 16.

Tabla 14.*Valores deducidos de UM-3*

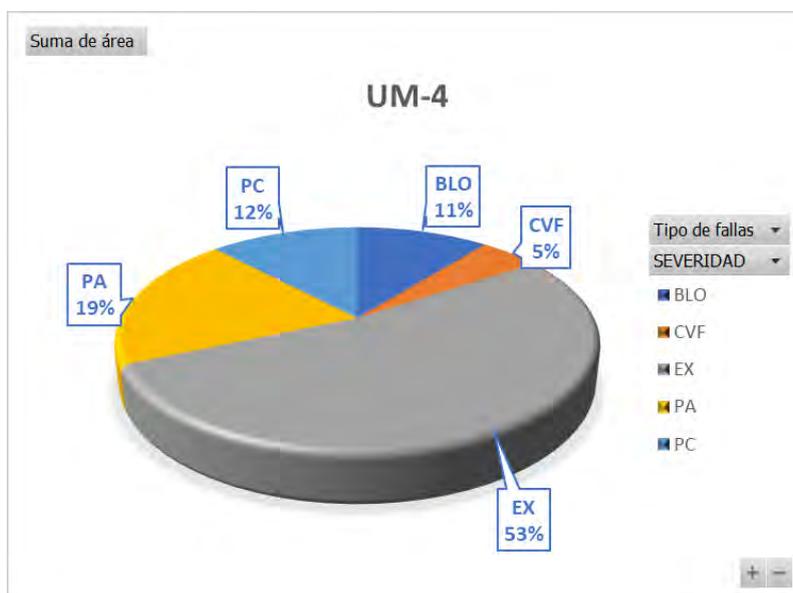
N°	Valores deducidos						VDT	q	VDC
1	55	50	50	30	20	3	208	5	84
2	55	50	50	30	2	2	189	4	98
3	55	50	50	2	2	2	161	3	98
4	55	50	2	2	2	2	113	2	92
5	55	2	2	2	2	2	65	1	76

Con estos resultados del VDT y los valores de q, se utiliza el ábaco (anexo 3) para calcular los valores de VDC. Luego, se determina el máximo valor de VDC y se procede a la determinación de la clasificación de PCI con la siguiente formula:

$$PCI = 100 - CDV$$

Tabla 15.*Cálculo de PCI UM-3*

MAX VDC=	98
PCI=	2
Estado=	Fallado

Figura 22.*Fallas en UM-4*

En la Figura 22 se tiene como porcentaje mayor a la falla de Exudación (EX) con un valor de 53%, seguido de la falla Parches (PA) con un porcentaje de 19% y por último a la falla Piel de Cocodrilo (PC) con un porcentaje de 12%.

Al aplicar la Metodología PCI, se concluye con la siguiente Tabla 16.

Tabla 16.*Valores deducidos de UM-4*

N°	Valores deducidos						VDT	q	VDC
1	23	16	10	10	8	7	74	6	32
2	23	16	10	10	8	2	69	5	32
3	23	16	10	10	2	2	63	4	34
4	23	16	10	2	2	2	55	3	35
5	23	16	2	2	2	2	47	2	34
6	23	2	2	2	2	2	33	1	34

Con estos resultados del VDT y los valores de q, se utiliza el ábaco (anexo 3) para calcular los valores de VDC. Luego, se determina el máximo valor de VDC y se procede a la determinación de la clasificación de PCI con la siguiente fórmula:

$$PCI = 100 - CDV$$

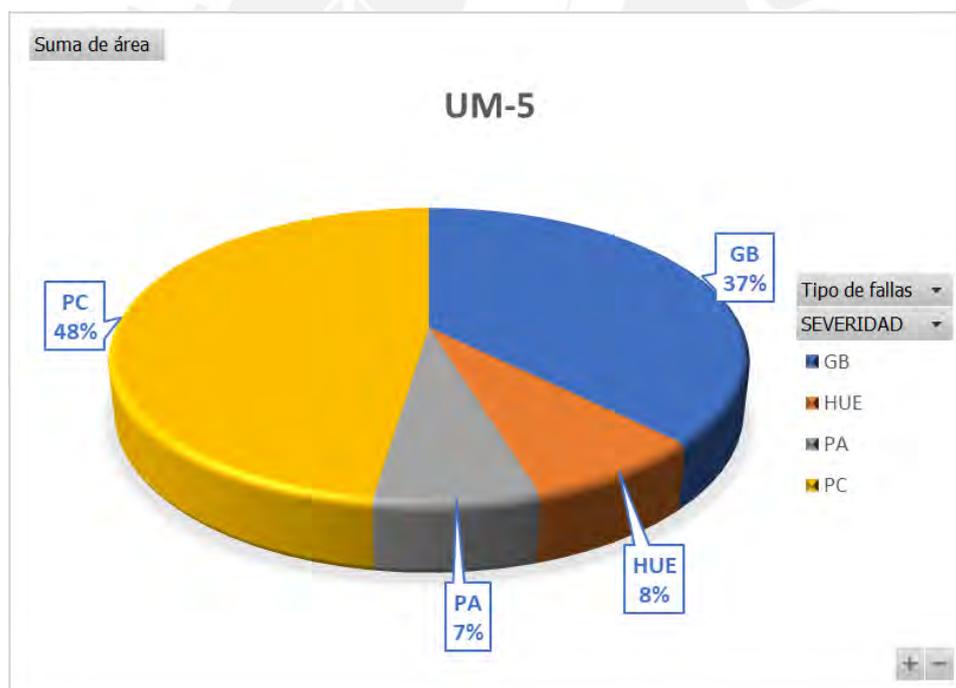
Tabla 17.

Cálculo de PCI UM-4

MAX VDC=	35
PCI=	65
Estado=	Bueno

Figura 23.

Fallas en UM-5



En la Figura 23, se tiene como porcentaje mayor a la falla de Piel de Cocodrilo (PC) con un valor de 48%, seguido de la falla Grieta de Borde con un valor de 37%.

Al aplicar la Metodología PCI, se concluye con la siguiente **Tabla 18.**

Tabla 18.*Valores deducidos de UM-5*

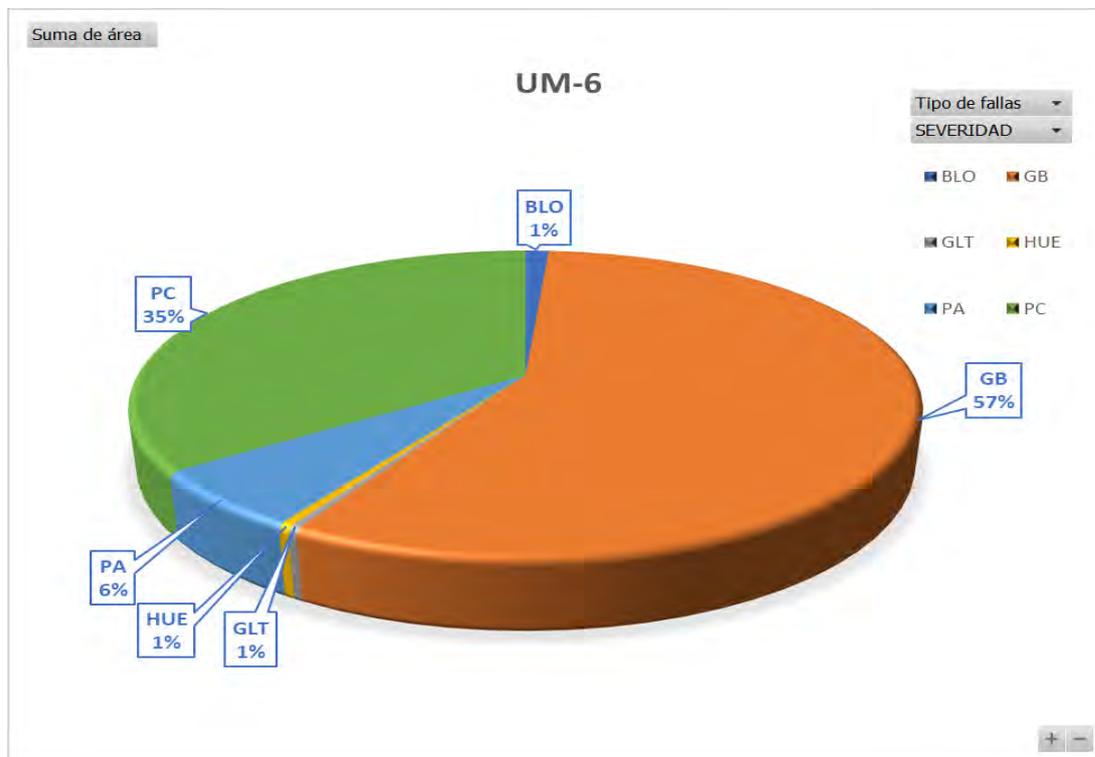
N°	Valores deducidos						VDT	q	VDC
1	63	33	29	10	5	3	143	6	68
2	63	33	29	10	5	2	142	5	72
3	63	33	29	10	2	2	139	4	78
4	63	33	29	2	2	2	131	3	80
5	63	33	2	2	2	2	104	2	72
6	63	2	2	2	2	2	73	1	72

Con estos resultados del VDT y los valores de q, se utiliza el ábaco (anexo 3) para calcular los valores de VDC. Luego, se determina el máximo valor de VDC y se procede a la determinación de la clasificación de PCI con la siguiente fórmula:

$$PCI = 100 - CDV$$

Tabla 19.*Cálculo de PCI UM-5*

MAX VDC=	80
PCI=	20
Estado=	Muy Malo

Figura 24.*Fallas en UM-6*

En la Figura 24 se tiene como porcentaje mayor a la falla de Grieta de Borde con un valor de 57%, seguido de la falla Piel de Cocodrilo (PC) con un valor de 35%.

Al aplicar la Metodología PCI, se concluye con la siguiente **Tabla 20**.

Tabla 20.*Valores deducidos de UM-6*

N°	Valores deducidos								VDT	q	VDC
1	60	28	19	19	13	9	7	2	157	7	74
2	60	28	19	19	13	9	2	2	152	6	74
3	60	28	19	19	13	2	2	2	145	5	74
4	60	28	19	19	2	2	2	2	134	4	76
5	60	28	19	2	2	2	2	2	117	3	72
6	60	28	2	2	2	2	2	2	100	2	70
7	60	2	2	2	2	2	2	2	74	1	74

Con estos resultados del VDT y los valores de q, se utiliza el ábaco (anexo 3) para calcular los valores de VDC. Luego, se determina el máximo valor de VDC y se procede a la determinación de la clasificación de PCI con la siguiente fórmula:

$$PCI = 100 - CDV$$

Tabla 21.

Cálculo de PCI UM-6

MAX VDC=	74
PCI=	26
Estado=	Malo

Figura 25.

Fallas en UM-7



En la **Figura 25**, se tiene como falla predominante a la de Piel de Cocodrilo (PC) con un porcentaje de 64%, seguido de la falla Parches (PA) con 25%.

En este caso los valores de deducidos resultan en la **Tabla 22**.

Tabla 22.*Valores deducidos de UM-7*

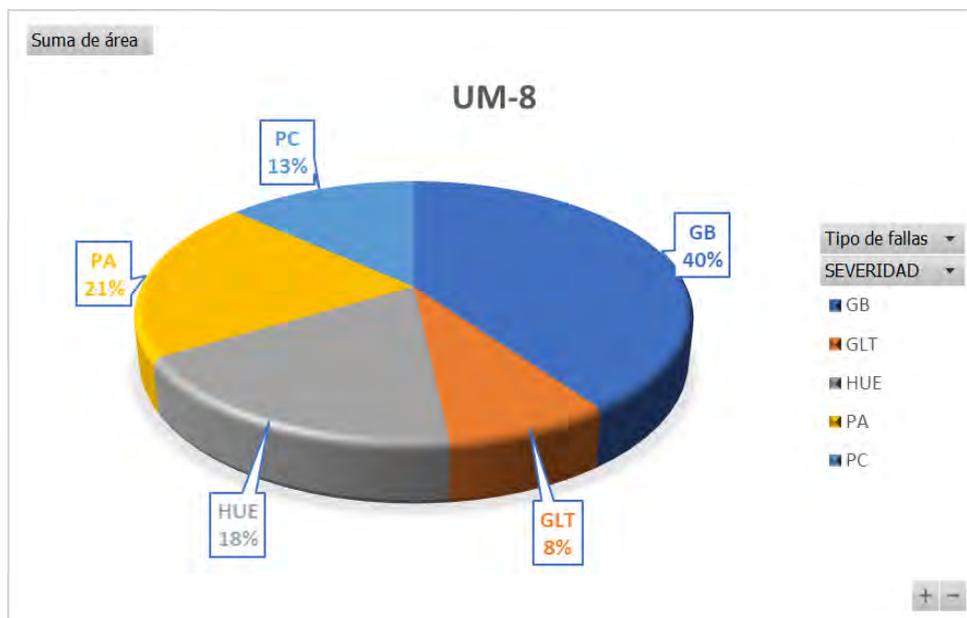
N	Valores deducidos					VDT	q	VDC
1	50	45	43	34	28	200	5	94
2	50	45	43	34	2	174	4	92
3	50	45	43	2	2	142	3	84
4	50	45	2	2	2	101	2	72
5	50	2	2	2	2	58	1	58

Con estos resultados del VDT y los valores de q, se utiliza el ábaco (anexo 3) para calcular los valores de VDC. Luego, se determina el máximo valor de VDC y se procede a la determinación de la clasificación de PCI con la siguiente formula:

$$PCI = 100 - CDV$$

Tabla 23.*Cálculo de PCI UM-7*

MAX VDC=	94
PCI=	6
Estado	Fallado

Figura 26.*Fallas en UM-8*

En la

Figura 26 se tiene como falla predominante a la de Grieta de Borde (GB) con un porcentaje de 40%, seguido de la falla Parches (PA) con 21%, seguido por la falla de Huecos con un 18%.

En este caso los valores de deducidos resultan en la **Tabla 24**.

Tabla 24*Valores deducidos de UM-8*

N	Valores deducidos					VDT	q	VDC
1	49	25	15	5	3	97	5	50
2	49	25	15	5	2	96	4	56
3	49	25	15	2	2	93	3	61
4	49	25	2	2	2	80	2	58
5	49	2	2	2	2	57	1	55

Con estos resultados del VDT y los valores de q, se utiliza el ábaco (anexo 3) para calcular los valores de VDC. Luego, se determina el máximo valor de VDC y se procede a la determinación de la clasificación de PCI con la siguiente fórmula:

Tabla 25.

Cálculo de PCI UM-8

MAX VDC=	61
PCI=	39
Estado	Malo

Figura 27.

Resumen del estado de las unidades muestrales - diagnóstico método PCI

Unidades muestrales	MAX_VDC	PCI	Estado
UM-1	54	46	Regular
UM-2	82	18	Muy Malo
UM-3	98	2	Fallado
UM-4	35	65	Bueno
UM-5	80	20	Muy Malo
UM-6	74	26	Malo
UM-7	94	6	Fallado
UM-8	61	39	Malo

Figura 28.

Escala de metodología PCI

Rangos del PCI	Color	Clasificación	Tipo de Mantenimiento
85-100	Verde	Excelente	Mantenimiento rutinario y preventivo
70-85	Verde claro	Muy bueno	(sello de fisuras, parches, lechadas asfálticas)
55-70	Amarillo	Bueno	Mantenimiento correctivo
40-55	Naranja	Regular	(Recapeado)
25-40	Rojo	Malo	Rehabilitación mayor (Reemplazo de la capa asfáltica)
10-25	Rojo oscuro	Muy malo	Reconstrucción
0-10	Grigio	Fallado	(Reemplazo base granular y capa asfáltica)

Nota. Tomado de Paredes & Torres (2022b).

Las unidades muestrales a las cuales se debe de aplicar reparaciones, mantenimiento o reconstrucciones, son:

Figura 29.

*Resumen del estado de las unidades muestrales - diagnóstico método PCI-
Tratamiento*

Unidades muestrales	MAX_VDC	PCI	Estado	Tratamiento
UM-1	54	46	Regular	Mantenimiento correctivo (Recapeo)
UM-2	82	18	Muy Malo	Reconstrucción (Reemplazo base granular y capa asfáltica)
UM-3	98	2	Fallado	Reconstrucción (Reemplazo base granular y capa asfáltica)
UM-4	35	65	Bueno	Mantenimiento correctivo (Recapeo)
UM-5	80	20	Muy Malo	Reconstrucción (Reemplazo base granular y capa asfáltica)
UM-6	74	26	Malo	Rehabilitación mayor (Reemplazo de la capa asfáltica)
UM-7	93	6	Fallado	Reconstrucción (Reemplazo base granular y capa asfáltica)
UM-8	61	39	Malo	Rehabilitación mayor (Reemplazo de la capa asfáltica)

En base, a los resultados Figura 29 y la escala de PCI en la Figura 28, se observan que las unidades muestrales UM-3 y UM-7 son las unidades con peor estado de funcionamiento, según metodología PCI. Además, UM-1 y UM-4 son las únicas unidades muestrales con necesidad de recapeo asfáltico.

Entonces, con los tratamientos asignados por cada unidad muestral, se presenta la

Tabla 26 con los costos por cada tratamiento.

Tabla 26.*Resumen de los tratamientos*

Unidades muestrales	Área (m ²)	Espesor (m)	Tratamientos	Precio unitario (US \$/.)	Total
UM-1	43.15	0.05	Mantenimiento correctivo (Recapeo)	10.50	22.65
UM-2	210.70	0.10	Reconstrucción (Reemplazo base granular y capa asfáltica)	12.70 x m ³ 16.30 x m ²	267.589 + 3434.41 = 3701.99
UM-3	80.72	0.10	Reconstrucción (Reemplazo base granular y capa asfáltica)	12.70 x m ³ 16.30 x m ²	102.51 + 1315.74 = 1418.246
UM-4	79.05	0.05	Mantenimiento correctivo (Recapeo)	10.50	41.50
UM-5	42.48	0.10	Reconstrucción (Reemplazo base granular y capa asfáltica)	12.70 x m ³ 16.30 x m ²	53.95 + 692.42 = 746.374
UM-6	196.74	0.10	Rehabilitación mayor (Reemplazo de la capa asfáltica)	16.30	320.686
UM-7	83.36	0.10	Reconstrucción (Reemplazo base granular y capa asfáltica)	12.70 x m ³ 16.30 x m ²	105.87 + 1358.77 = 1464.64
UM-8	28.32	0.10	Rehabilitación mayor (Reemplazo de la capa asfáltica)	16.30	461.616

En la **Tabla 26** el mantenimiento por recapeo asfáltico se aplicará para las unidades muestrales UM – 1 y UM- 4. Para las otras unidades muestrales es necesario un tratamiento de mayor corrección por el estado de las unidades, ya se encuentran dañadas con mayor severidad.

4.2. Discusiones

Si bien todas las unidades muestrales han sido tratadas por la metodología PCI y cuentan con diagnóstico según el tipo de falla relevante (**Tabla 26**), con el respectivo tratamiento (**Figura 28**). Si bien el método tuvo resultado los trabajos de Bravo (2020) y Paredes & Torres (2022b) trabajan con comparaciones de otras metodologías, comparación con metodología MTC Perú y metodología VZIR (una alternativa para análisis del pavimento flexible) en este se usa un sistema de aeronave guiada de forma remota (RPAS) con el cual se capturan fotografías georreferenciadas, es una aplicación de la fotogrametría. En comparación con las demás metodologías se promedian los valores de PCI de la presente investigación, resultando el valor de 27 clasificando a todas las unidades muestrales de la avenida Tingo María bajo el diagnóstico de “Malo”, según Figura 27. En comparación con la investigación de Paredes & Torres (2022b) aplicando ambas metodologías se diagnostica como “Regular” a la unidad de estudio; por su lado en el trabajo de Bravo (2020) se presenta diferencia entre los diagnósticos de las metodologías, ya que la metodología PCI brinda un diagnóstico de Justo y la metodología MTC PERU brinda un diagnóstico de Bueno. Sin embargo, el autor concluye que la metodología PCI es más precisa en el rango del 80% y 85% que la metodología MTC PERÚ. En el caso de la presente investigación no tiene con qué metodología comparar, sin embargo, se reconoce que posiblemente tendría un resultado diferente si se aplica otras metodologías.

Además, respecto al tratamiento aplicado para cada muestra esta se aplicará según el diagnóstico. Entonces, solo en las unidades muestrales UM-1 y UM-4 se puede aplicar el método de reapeo. Mientras que las otras según el diagnóstico propone otros tratamientos, como los de:

- Rehabilitación mayor (Reemplazo de la capa asfáltica)
- Reconstrucción (Reemplazo base granular y capa asfáltica)

Estas implican otras propuestas, ya que implican otros costos. Entonces, la investigación debe contemplar otras alternativas para restaurar el pavimento en las unidades muestrales indicadas en *Figura 29*.



Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

Según el Objetivo general y en base a los resultados, (ver **Figura 29**) es necesaria la aplicación de la técnica de recapeo asfáltico en las siguientes unidades muestrales: UM-1 y UM-4 con un diagnóstico de regular y bueno, respectivamente; mientras en las UM-6 y UM-8 con diagnósticos de “Malo”, se necesita otro tipo de tratamiento: Rehabilitación mayor (Reemplazo de la capa asfáltica); además UM-2 y UM-5 con diagnóstico de “Muy malo” necesita un tratamiento de: Reconstrucción (Reemplazo base granular y capa asfáltica), por último las UM-3 y UM-7 presentan un diagnóstico de fallado por lo cual necesita un tratamiento de Reconstrucción (Reemplazo base granular y capa asfáltica). Respecto al Objetivo específico 1, las patologías de la Av. Tingo María mediante el método PCI, Lima 2024, se resumen en la **Figura 18**. Se lograron identificar patologías en el transcurso de los 0.53 km de la avenida Tingo María. Esta longitud fue subdividida en ocho unidades muestrales, en cada una de ellas se aplicó la metodología PCI, con ello se lograron identificar 76 fallas, las cuales están diferenciadas en diez tipos de fallas a lo largo de la avenida Tingo María.

Para el **Objetivo específico 2**, se resume en la **Tabla 26**, según ProInversión (2005), los precios de estos tratamientos pueden ser de manera referencial:

Base granular = 12.70 S/. x m³

Carpeta asfáltica en frío (e=0.05 m²) = 10.50 x m²

Carpeta asfáltica en frío (e=0.10m²) = 16.30 x m²

Con estos valores, el servicio de recapeo asfáltico para la UM-1 y UM-4 tendrían los siguientes montos (S/.): 22.65 y 41.50, respectivamente.

5.2. Recomendaciones

- En base a los resultados de la metodología PCI, implementar de manera oportuna el recapeo asfáltico en las unidades muestrales UM 1 y UM 4, clasificados como Regular y Bueno, las cuales necesitan un mantenimiento correctivo.
- Respecto a las demás unidades muestrales se recomienda intervenir de forma inmediata en los tramos UM-2, UM-3, UM-5 y UM-7, cuyos valores PCI se encuentran por debajo de 25, ya que representan un riesgo crítico para la transitabilidad y la seguridad vial. Estas zonas evidencian patologías como piel de cocodrilo, parches y grietas estructurales que podrían agravarse rápidamente sin tratamiento adecuado. Para remediar los pavimentos se recomienda la reconstrucción del pavimento en las unidades muestrales.
- Para las unidades muestrales UM 6 y UM 8 también se recomienda una atención oportuna ya que necesitan rehabilitación mayor, es decir reemplazo de la capa asfáltica.
- Se recomienda Monitorear periódicamente el estado del pavimento mediante el método PCI.
- Se recomienda que la Municipalidad Distrital de Breña institucionalice el uso del método PCI como herramienta estándar de diagnóstico vial, dado que ha demostrado ser eficiente para categorizar y priorizar zonas de intervención según su nivel de daño.

Referencia Bibliográficas

- Abantos, C., & Tantalean, E. (2020). *Efecto de la incorporación de caucho reciclado en el comportamiento del concreto para un pavimento rígido.*
- Al-Altroush, M. (2022). Structural behavior of the geothermo-electrical asphalt pavement: A critical review concerning climate change. *Heliyon.*
- Ansari, A., Jakarni, F., Muniandy, R., Hassim, S., & Elahi, Z. (2021). Natural rubber as a renewable and sustainable bio-modifier for pavement applications: A review. *Journal of Cleaner Production.*
- Árias, J., Villasís, M., & Miranda, M. (2016). El protocolo de investigación III: la población de estudio. *Redalyc.*
- Aziz, M., Rahman, T., Hainin, R., & Abu, W. (2015). An overview on alternative binders for flexible pavement. *Construction and Building Materials.*
- Azuero, Á. (2019). Significatividad del marco metodológico en el desarrollo de proyectos de investigación. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía.*
<https://fundacionkoinonia.com.ve/ojs/index.php/revistakoinonia/article/view/274>
- Barriento, S. (2021). *Propiedades físicas y mecánicas del concreto $f'c=210$ kg/cm² en pavimentos rígidos con adición de almidón de cebada, Cusco 2021.*
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/64582>
- Bravo, M. (2020). Evaluación Superficial De Pavimentos Asfálticos Mediante Las Metodologías Del Mtc Perú Y Pci. *Universidad Ricardo Palma*, 223.
- Cárdenas, C., Carrillo, J., Izarra, A., Murga, C., & Vásquez, A. (2023). Herramientas tecnológicas de evaluación de fallas en la superficie de pavimento flexible, una revisión sistemática. *Llamkasun.*
<https://llamkasun.unat.edu.pe/index.php/revista/article/view/121>
- Chavarrí, L., & Falen J. (2020). *Propuesta de concreto eco-sostenible con la adición de caucho reciclado para la construcción de pavimentos urbanos en la ciudad de Lima.* Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Chávarri, L., & Falen, J. (2020). *Propuesta de concreto eco-sostenible con la adición de caucho reciclado para la construcción de pavimentos urbanos en la ciudad de Lima.* <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/651661>
- Chu, X., Campos-Guereta, I., Dawson, A., & Thom, N. (2023). Sustainable pavement drainage systems: Subgrade moisture, subsurface drainage methods and drainage effectiveness. *Construction and Building Materials.*

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061822036066?via%3Dihub>

- Chura, N., & Flores, V. (2024). “Análisis Del Índice De Rugosidad Internacional Del Pavimento Flexible Mediante El Rugosímetro De Merlin Y La Aplicación Abakal Iri En La Av. Mariano Necochea, Tacna - 2023.” Universidad Nacional Jorge Basadre Grohman.
- Condori, S. (2021). Evaluación y recapeo asfáltico de la avenida el Triunfo del distrito de San Miguel Puno-2021. In *Google Academico*. Universidad César Vallejo.
- Diaz, J. (2014). *Evaluación de la metodología PCI como herramienta para la toma de decisiones en las intervenciones a realizar en los pavimentos flexibles*. UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA.
- Farfan, Y., & Pinzon, V. (2022). *Evaluación de patologías para mejorar la condición operacional del pavimento flexible de la avenida Luis Montero - Castilla - Piura - 2022*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/101471>
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. In *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill interamericana editores, s.a. de c.v.
- Ibragimov, E., Kim, Y., Lee, J. H., Cho, J., & Lee, J. J. (2024). Automated Pavement Condition Index Assessment with Deep Learning and Image Analysis: An End-to-End Approach. *Sensors*, 24(7), 1–17. <https://doi.org/10.3390/s24072333>
- Jiang, W., Yuan, D., Shan, J., Ye, W., Lu, H., & Sha, A. (2022). Experimental study of the performance of porous ultra-thin asphalt overlay. *International Journal of Pavement Engineering*, 23(6), 2049–2061. <https://doi.org/10.1080/10298436.2020.1837826>
- Macedo, A., & Marques, E. (2021). Survey of pathological manifestations in flexible pavement in the city of Manaus/AM. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*. <https://ijaers.com/detail/survey-of-pathological-manifestations-in-flexible-pavement-in-the-city-of-manaus-am/>
- Mackiewicz, P. (2018). Fatigue cracking in road pavement. *IOP Science*. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/356/1/012014>
- Ñaupas, H., Mejía, E., Novoa, E., & Villagomez, A. (2014). *Metodología de la investigación Cuantitativa - Cualitativa y Redacción de la Tesis*. <http://librodigital.sangregorio.edu.ec/librosusgp/B0028.pdf>

- Nuñez, N. (2022). EVALUACIÓN DEL ESTADO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA PE – 08A, ENTRE Dv. SAN PABLO (KM–00+00) Y Dv. SAN BERNARDINO (KM – 09+960), UTILIZANDO EL MÉTODO DE ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI), EN LA REGIÓN DE CAJAMARCA - 2020. In *Factores Relacionados En La No Implementación De Psicoprofilaxis Obstétrica Y Estimulación Prenatal. Establecimientos De Salud – Distrito Cajamarca, 2022*. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Paredes, C., & Torres, Y. (2022a). *Evaluación del pavimento-flexible-mediante-métodos-del PCI-y-VIZIR con dron en-un-tramo-de la-carretera-Reposo – Saramiriza, Bagua, Amazonas, para una propuesta de mejora - 2022*. Universidad Tecnológica del Perú.
- Paredes, C., & Torres, Y. (2022b). *Evaluación del pavimento flexible mediante métodos del PCI y VIZIR con dron en un tramo de la carretera Reposo Saramiriza, Bagua, Amazonas, para una propuesta de mejora 2022*. Universidad Tecnológica del Perú.
- Pereira, B., & Pinherio, E. (2021). Flexible Pavement Analysis - Study of a critical stretch on the AM highway - 010. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*. <https://ijaers.com/detail/flexible-pavement-analysis-study-of-a-critical-stretch-on-the-am-highway-010/>
- Pérez León, J., & Leyva, Ramirez, J. (2018). *Evaluación Y Determinación De Las Patologías Del Pavimento Asfáltico En La Av. Los Tréboles – Distrito De Chiclayo – Provincia De Chiclayo - Departamento Lambayeque*.
- ProInversión. (2005). *ANEXO V : PRECIOS UNITARIOS REFERENCIALES*.
- Radio Nacional. (2024, November). *MTC: se otorgó buena pro para mejorar la avenida Morales Duárez en el Callao*.
- Rifai, M., Setyawan, A., Handayani, F. S., & Arun, A. D. (2023). Evaluation of functional and structural conditions on flexible pavements using pavement condition index (PCI) and international roughness index (IRI) methods. *E3S Web of Conferences*, 429. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202342905011>
- Ruiz, A., & Guevara, J. (2020). Sustainable decision-making in road development: Analysis of road preservation policies. *Sustainability (Switzerland)*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/su12030872>
- Salazar, A. (2019). *Evaluación de las patologías del pavimento flexible aplicando el método PCI, para mejorar la transitabilidad de la carretera Pomalca - Tumán*.

Universidad César Vallejo.

Salazar, W. (2019). *Pavimento Rígidos*.

Schilhan, L., Lackner, K., & Kaier, C. (2021). Increasing visibility and discoverability of scholarly publications with academic search engine optimization. *Insights*. <https://insights.uksg.org/articles/10.1629/uksg.534>

Shafabakhsh, G., & Ahmadi, S. (2021). Reflective cracking reduction by a comparison between modifying asphalt overlay and sand asphalt interlayer: an experimental evaluation. *International Journal of Pavement Engineering*, 22(2), 192–200. <https://doi.org/10.1080/10298436.2019.1593410>

Shtayat, A., Moridpour, S., Best, B., Shroff, A., & Raol, D. (2020). A review of monitoring systems of pavement condition in paved and unpaved roads. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095756420301173?via%3Dihub>

Termini, F., Ali, A., & Obaidi, A. (2021). The Pavement Condition Index (PCI) Method for Evaluating Pavement Distresses of The Roads in Iraq- A Case Study in Al-Nasiriyah City. *University of Thi-Qar Journal for Engineering Sciences*, 11(2), 17–23. [https://doi.org/10.31663/tqjes.11.2.394\(2021\)](https://doi.org/10.31663/tqjes.11.2.394(2021))

Vásquez, L. (2002). Pavement Condition Index (PCI) Para Pavimentos Asfálticos Y De Concreto En Carreteras. *Ingepav*, 90.

Vásquez, L. (2022). Pavement Condition Index (PCI) Para Pavimentos Asfálticos Y De Concreto En Carreteras. *Ingepav*, 90.

Villagran, Y., González, A., Hernández, L., Volpi, V., Vital, S., & López, L. (2024). *Diseño de pavimento rígido con sustitución de agregados por arena sílica Design of rigid pavement with aggregates substitution by silica sand*. 12, 92–98.

Zapana, D. (2022a). *Propuesta de mejoramiento del pavimento rígido mediante recapeo asfáltico en la av. Huerta Huaraya, Puno 2022*. Universidad Cesar Vallejo.

Zapana, D. (2022b). *Propuesta de mejoramiento del pavimento rígido mediante recapeo asfáltico en la av. Huerta Huaraya, Puno 2022*. Universidad César Vallejo.

Zhang, M., Gong, H., Jia, X., Xiao, R., Jiang, X., Ma, Y., & Huang, B. (2020). Analysis of critical factors to asphalt overlay performance using gradient boosted models. *Construction and Building Materials*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061820320882?via%3Dihub>

Anexos

Anexo 1.

Registro de Patologías del Pavimento en la Av. Tingo María - Evaluación Mediante el Método PCI

N°	Ubicación	Tipo de fallas	SEVERIDAD	Área	Densidad
1	UM-1	GB	L	4,6	2,001740644
2	UM-1	PC	L	8,448	3,676240209
3	UM-1	PA	M	3,411	1,484334204
4	UM-1	PC	H	3,3	1,436031332
5	UM-1	EX	L	15,98	6,953872933
6	UM-1	CVF	M	0,7225	0,314403829
7	UM-1	BLO	L	1,9723	0,858268059
8	UM-1	PA	M	3,51	1,527415144
9	UM-1	HUE	L	0,56	0,243690165
10	UM-1	PC	M	0,645	0,280678851
11	UM-2	GB	L	6,816	2,966057441
12	UM-2	ABH	H	0,6399	0,27845953
13	UM-2	GLT	L	2,6	1,131418625
14	UM-2	GR	L	61,36	26,70147955
15	UM-2	PA	M	38,025	16,54699739
16	UM-2	PA	M	1,144	0,497824195
17	UM-2	PC	L	3,85	1,675369887
18	UM-2	PC	L	96,2624	41,88964317
19	UM-3	PC	M	0,2535	0,110313316
20	UM-3	ABH	H	6,67	2,902523934
21	UM-3	PC	L	21,632	9,413402959
22	UM-3	PC	M	4,6656	2,030287206
23	UM-3	HUE	M	1,7171	0,74721497
24	UM-3	BLO	M	2,1476	0,934551784
25	UM-3	BLO	L	2,25225	0,980091384
26	UM-3	PC	M	14,22	6,187989556
27	UM-3	HUE	M	3,2175	1,400130548
28	UM-3	HUE	M	0,1066	0,046388164
29	UM-3	ABH	M	5,4536	2,373194082
30	UM-3	PC	M	7,8	3,394255875
31	UM-3	PC	M	10,5885	4,60770235
32	UM-4	BLO	M	8,45325	3,678524804
33	UM-4	CVF	M	3,8445	1,672976501

34	UM-4	PA	L	8,5995	3,742167102
35	UM-4	PA	M	2,2064	0,960139252
36	UM-4	PC	L	8,3655	3,640339426
37	UM-4	PC	M	1,152	0,501305483
38	UM-4	EX	L	41,8	18,1897302
39	UM-4	PA	M	4,6332	2,01618799
40	UM-5	PC	L	1,625	0,707136641
41	UM-5	PA	L	2,4948	1,085639687
42	UM-5	PC	L	5,07	2,206266319
43	UM-5	PA	M	0,5016	0,218276762
44	UM-5	PC	L	5,499	2,392950392
45	UM-5	PC	M	1,833	0,797650131
46	UM-5	PC	M	1,755	0,763707572
47	UM-5	PC	M	3,51	1,527415144
48	UM-5	PC	L	0,9494	0,413141862
49	UM-5	GB	H	3,185	1,385987815
50	UM-5	GB	L	12,76	5,552654482
51	UM-5	HUE	H	3,3	1,436031332
52	UM-6	PC	L	4,225	1,838555265
53	UM-6	PC	L	1,7784	0,773890339
54	UM-6	PC	L	5,138	2,235857267
55	UM-6	GLT	L	0,6705	0,291775457
56	UM-6	BLO	L	1,1102	0,483115753
57	UM-6	BLO	M	1,116	0,485639687
58	UM-6	PA	L	8,125	3,535683203
59	UM-6	PA	L	0,6996	0,304438642
60	UM-6	GB	L	112,32	48,8772846
61	UM-6	PC	M	57,472	25,00957354
62	UM-6	PA	M	1,7476	0,76048738
63	UM-6	PA	H	1,53725	0,668951262
64	UM-6	HUE	M	0,798	0,347258486
65	UM-7	HUE	H	0,4148	0,180504787
66	UM-7	PC	M	27,17	11,82332463
67	UM-7	HUE	H	2,397	1,04308094
68	UM-7	ABH	H	4,875	2,121409922
69	UM-7	PC	L	25,935	11,28590078
70	UM-7	PA	M	21,242	9,243690165
71	UM-7	HUE	H	1,3284	0,578067885
72	UM-8	GLT	M	2,288	0,99564839
73	UM-8	PA	M	5,7528	2,503394256
74	UM-8	HUE	M	5,1264	2,230809399
75	UM-8	PC	M	3,7609	1,636597041
76	UM-8	GB	L	11,3872	4,955265448

Anexo 2.
Abaco del estudio Vásquez 2022

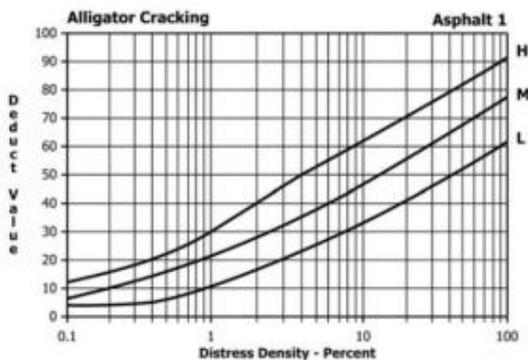


FIG. X3.1 Alligator Cracking

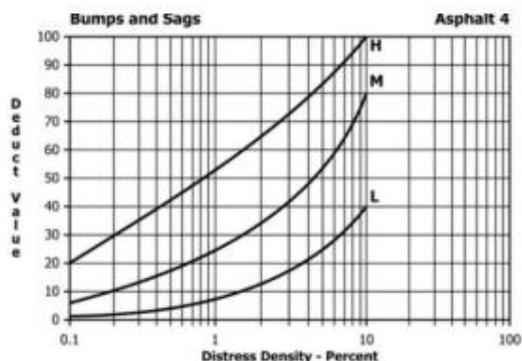


FIG. X3.4 Bumps and Sags

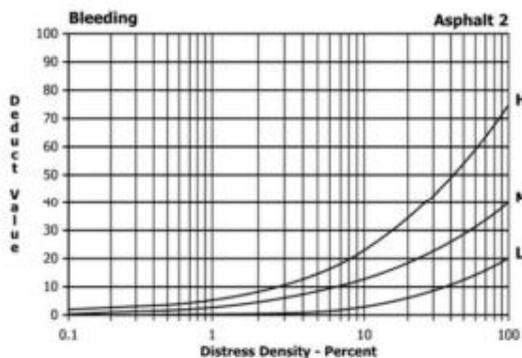


FIG. X3.2 Bleeding

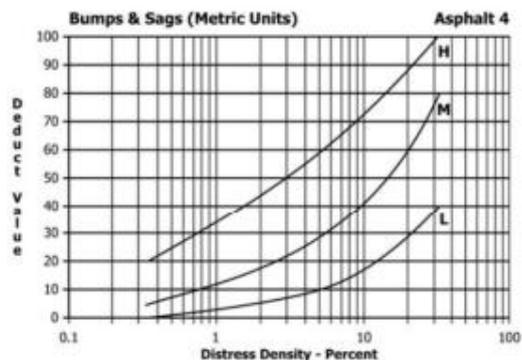


FIG. X3.5 Bumps and Sags (Metric Units)

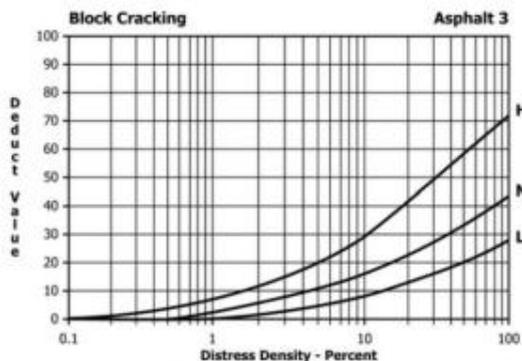


FIG. X3.3 Block Cracking

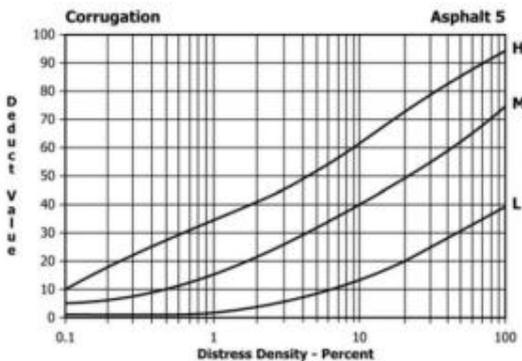


FIG. X3.6 Corrugation

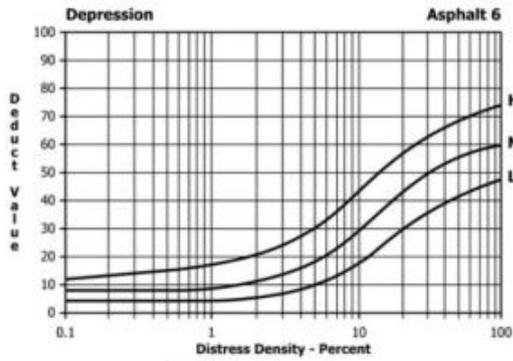


FIG. X3.7 Depression

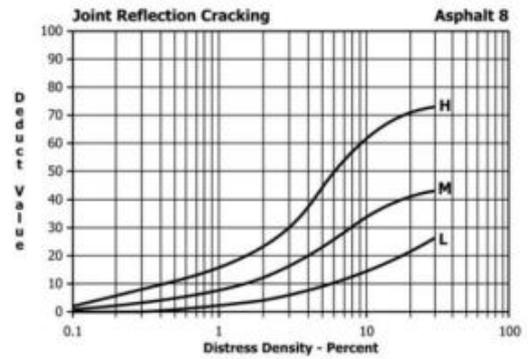


FIG. X3.10 Joint Reflection Cracking

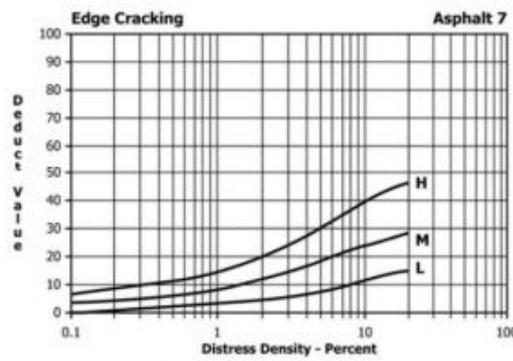


FIG. X3.8 Edge Cracking

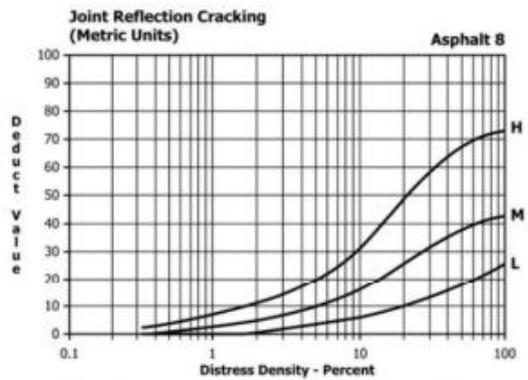


FIG. X3.11 Joint Reflection Cracking (Metric Units)

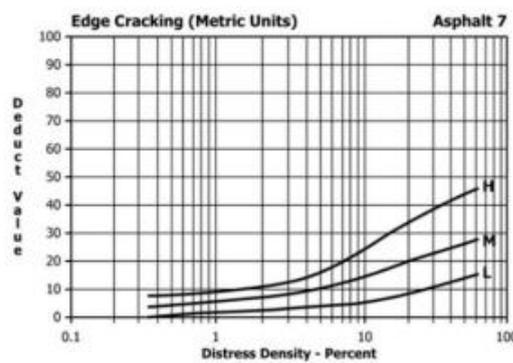


FIG. X3.9 Edge Cracking (Metric Units)

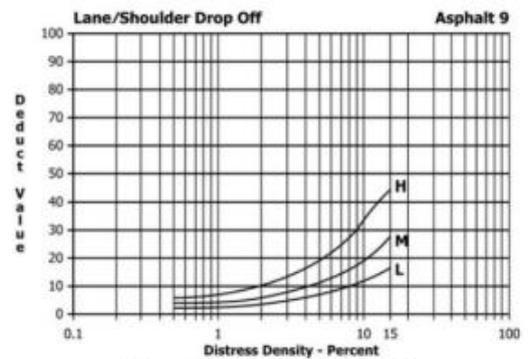


FIG. X3.12 Lane/Shoulder Drop-Off

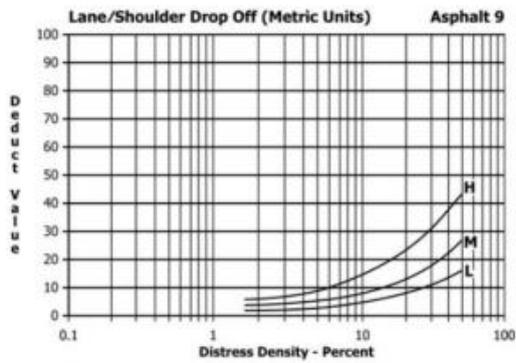


FIG. X3.13 Lane/Shoulder Drop-Off (Metric Units)

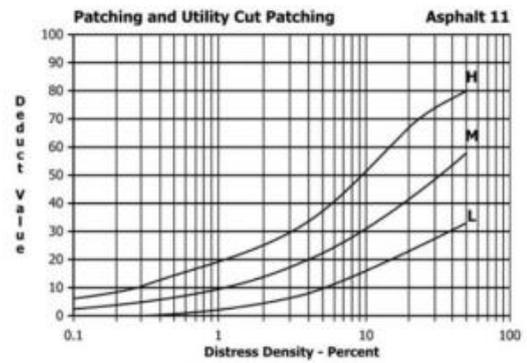


FIG. X3.16 Patching and Utility Cut Patching

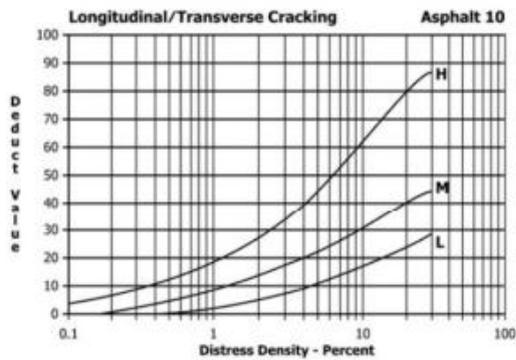


FIG. X3.14 Longitudinal/Transverse Cracking

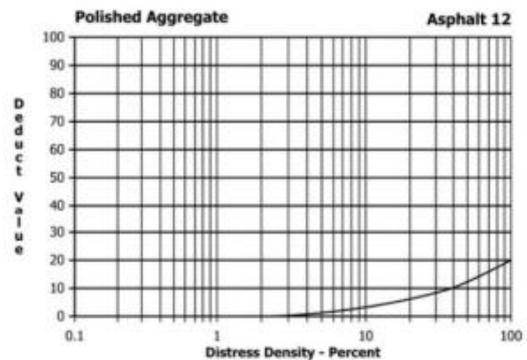


FIG. X3.17 Polished Aggregate

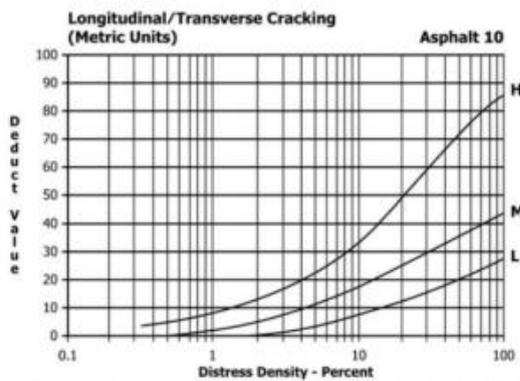


FIG. X3.15 Longitudinal/Transverse Cracking (Metric Units)

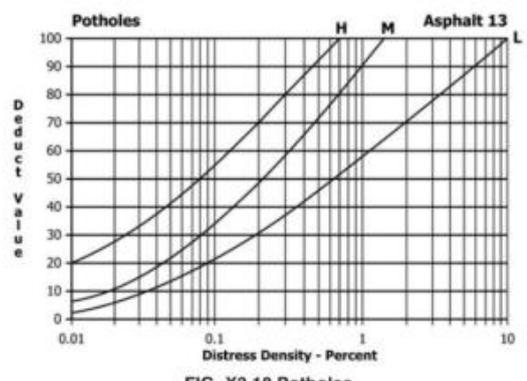


FIG. X3.18 Potholes

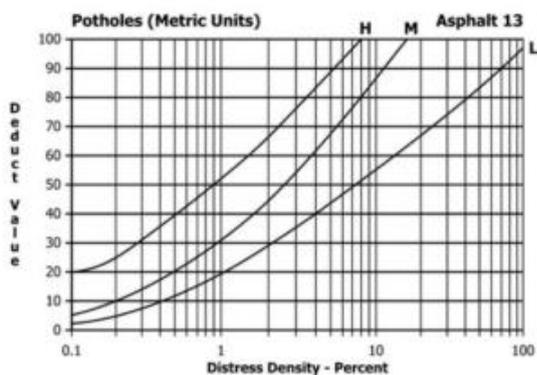


FIG. X3.19 Potholes (Metric Units)

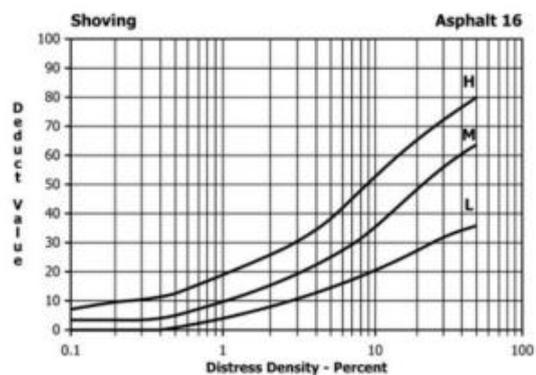


FIG. X3.22 Shoving

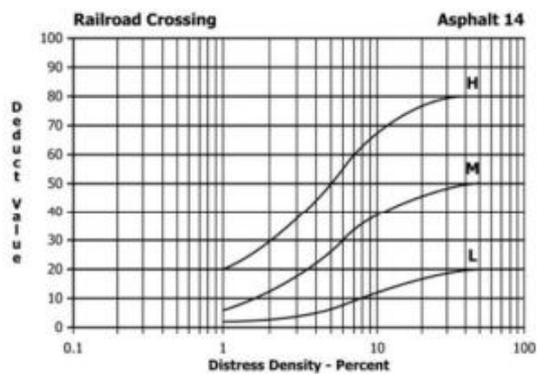


FIG. X3.20 Railroad Crossing

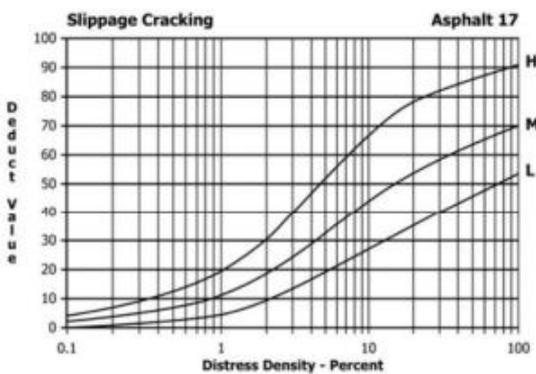


FIG. X3.23 Slippage Cracking

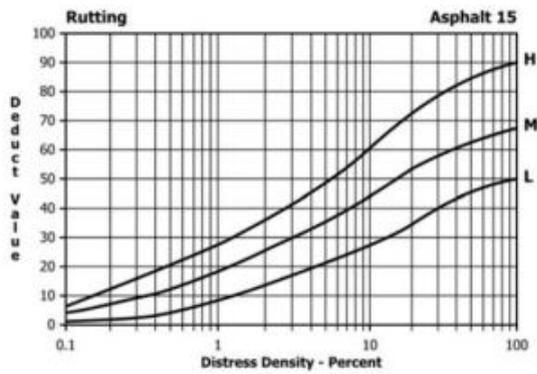


FIG. X3.21 Rutting

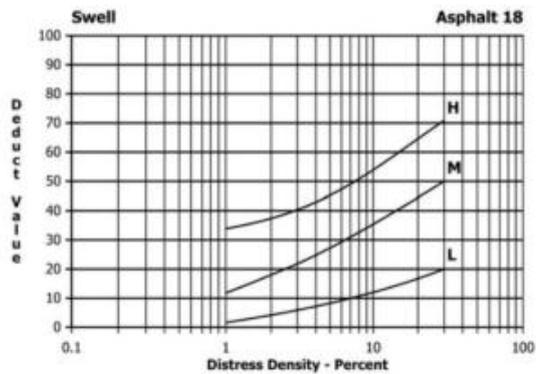


FIG. X3.24 Swell

Anexo 3.

Abaco del estudio Vásquez 2022

