EVALUACIÓN DE LAS PATOLOGÍAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE EL ÍNDICE PCI EN EL SECTOR SANTA MARÍA, FUSAGASUGÁ

YENIRE AGUILAR CASTRO|

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ D.C.

2025

EVALUACIÓN DE LAS PATOLOGÍAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE EL ÍNDICE PCI EN EL SECTOR SANTA MARÍA, FUSAGASUGÁ

YENIRE AGUILAR CASTRO

PROYECTO DE GRADO (MONOGRAFÍA), BAJO LA MODALIDAD DE PRACTICA CON PROYECCION EMPRESARIAL PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL

DIRECTOR:

ANDRES DAVID ROGRIGUEZ

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVL

BOGOTÁ D.C.

2026

Contenido

1 DEDICATORIA 8
2 RESUMEN 9
3 ABSTRACT 10
4 DESCRIPCION DE LAS ACTIVIDADES DESARROLLADAS 11
5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 12
5.1 Alcance de la monografía 13
6 OBJETIVOS 14
6.1 OBJETIVO GENERAL 14
6.2 OBEJETIVOS ESPECIFICOS 14
7 MARCO REFERENCIAL 15
7.1 Fusagasugá Cundinamarca 15
7.2 Santa María Fusagasugá 15
7.3 Área de influencia 17
7.4 Caracterización ambiental 18
7.4.1 Hidrología 19
7.4.2 Abastecimientos hídricos 21
7.4.3 Clima 21
7.4.4 Flora 22
7.4.5 Fauna 23
7.5 Componente socio-económico 23
7.5.1 Social 23
7.5.2 Economía 24
8 MARCO TEÓRICO 25
8.1 Definición del pavimento 25
8.2 Pavimento Flexible 25
8.2.1 Estructura del pavimento flexible 26
8.3 Diseños de pavimentos 29
8.3.1 Método AASHTO (1993) para pavimentos flexibles 29
8.4 Deterioro del pavimento 30
8.4.1 Factores que influyen en el deterioro del pavimento 30
8.5 Patologías del pavimento 32

8.5.1 Piel de cocodrilo: 32
8.5.2 Exudación 34
8.5.3 Agrietamiento en bloque 35
8.5.4 Abultamientos y hundimientos 35
8.5.5 Corrugación 36
8.5.6 Depresión 37
8.5.7 Grieta de borde 37
8.5.8 Grieta de reflexión de junta (de losas de concreto de cemento pórtland). 38
Desnivel carril / berma. 38
8.5.9 Grietas longitudinales y transversales 39
8.5.10 Parcheo y acometidas de servicios públicos. 39
8.5.11 Pulimento de agregados. 39
8.5.12 Huecos 40
8.5.13 Ahuellamiento. 40
8.5.14 Desplazamiento 41
8.5.15 Grietas parabólicas (slippage) 41
8.5.16 Hinchamiento. 41
8.5.17 Meteorización o desprendimiento de agregados. 41
8.6 Índice de condición del pavimento (PCI) 42
8.6.1 Procedimiento de evaluación de la condición del pavimento. 43
8.6.2 Determinación de las unidades de muestreo 43
8.7 Cálculo del PCI 49
8.7.1 Determinación de las unidades de muestreo para evaluación 49
8.7.2 Unidades de muestra 50
8.7.3 Selección de las Unidades de Muestreo para Inspección: 50
8.7.4 Selección de Unidades de Muestreo Adicionales: 51
8.7.5 Evaluación de la condición 51
8.7.6 Cálculo para Carreteras con Capa de Rodadura Asfáltica: 52
8.7.7 Cálculo del PCI de una sección de pavimento. 53
9 MARCO LEGAL 54
10 METODOLOGIA 55
10.1 Enfoque del diseño metodológico 55

10.2 Tipo de investigación 55
10.3 Técnicas de recolección de datos 55
10.4 Técnicas de análisis 56
10.4.1 Fase 1. 56
10.4.2 Fase 1. 56
10.4.3 Fase 3. 56
10.4.4 Fase 4. 57
11 Diseño metodológico paso a paso. 57
11.1 Área de estudio 57
11.2 Muestreo y unidades de muestra 60
11.2.1 Cálculo de unidades de muestra según la norma ASTM D 6433 60
11.3 Evaluación visual de las patologías 62
11.3.1 Tramo 1 K0+000 al K0+360 m 62
11.4 Criterios de clasificación de patologías 64
Fuente: Elaboración propia 66
11.4.1 Tramo excluido 1 67
11.4.2 Tramo 2 K0+540 a K0+720 m 68
11.5 Calculo del Índice de condición del pavimento PCI 69
12 RESULTADOS Y DISCUSIÓN 78
12.1.1 TRAMO 1 79
12.1.2 RESUMEN TRAMO 1 86
12.1.3 TRAMO 2 87
13 RECOMENDACIONES 90
14 ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS 91
14.1.1 Aforos tramo 1 91
14.1.2 Estudios de suelo 92
15 CONCLUSIONES 93
16 REFERENCIAS 95
17 ANEXOS 98

Ilustración 1. Localización del municipio. 8
Ilustración 2. Sector Santa María 16
Ilustración 3. Medidas de la vía 16
Ilustración 4. Áreas de influencia de la zona de estudio 17
Ilustración 5. Área de influencia indirecta del tramo de estudio 18
Ilustración 6.Plancha 264 Fusagasugá 19
Ilustración 7. Cuenca del río Cuja 21
Ilustración 8.Cuenca del rio Chocho 21
Ilustración 9. Clima en Fusagasugá hoy 22
Ilustración 10.Espesor y distribución de cargas del pavimento flexible 26
Ilustración 11. Perfil de una estructura de pavimento flexible 27
Ilustración 12. Factores ambientales que afectan el pavimento flexible 32
Ilustración 13. Severidad nivel **1** 33
Ilustración 14. Severidad nivel 2 33
Ilustración 15. Severidad nivel 3 33
Ilustración 16. Nivel de severidad medio 34
Ilustración 17. Nivel de severidad bajo. 34
Ilustración 18. Nivel de severidad alto 34
Ilustración 19. Grietas en bloque 35
Ilustración 20. Hundimiento en pavimento flexible 36
Ilustración 21. Corrugaciones nivel de severidad: Medio 36
Ilustración 22. Grietas de borde 37
Ilustración 23. Grieta de reflexión de juntas 38
Ilustración 24. Formato índice de condición del pavimento 49
Ilustración 25. Vista en planta de la vía 58
Ilustración 26.Vista de cerca del tramo a estudiar 58
Ilustración 27.Registro fotográfico del sitio 59
Ilustración 28. Unidades de muestra 61
Ilustración 29. Formato de clasificación de los pavimentos 63
Ilustración 30. Clasificación patologías TRAMO 1 64
Ilustración 31. Clasificación tramo 1 65
Ilustración 32. Tramos excluidos K0+360 a K0+540 67
Ilustración 33. Vista de perfil del tramo excluido 1 67
Ilustración 34. Vista en planta del tramo excluido 1 67
Ilustración 35 Formato de clasificación de patologías. 70
Ilustración 36. Calculo PCI Tramo 1 71
Ilustración 37. Sumatorias patologías 73
Ilustración 38. Curvas piel de cocodrilo 74
Ilustración 39. Valor deducido 74
Ilustración 40. Calculo VDT 75
Ilustración 41. Curva de valor deducido corregido VDC 76
Ilustración 42. Calculo PCI 77
Ilustración 43.Clasificacion de daños Tramo 2 78
Ilustración 44. Resultados tramo 1 UM 1. 79
Ilustración 45. Resultados PCI UM 2 Tramo 1 80
Ilustración 46. Resultados PCI UM 3 Tramo 1 81

Ilustración 47. Resultados PCI UM 4 Tramo 1 81
Ilustración 48. Resultados PCI UM6 Tramo 1 82
Ilustración 49. Resultados PCI UM 5 Tramo 1 82
Ilustración 51. Resultados PCI UM7 Tramo1 83
Ilustración 50. Resultados PCI UM8 Tramo 1 83
Ilustración 52. Resultados PCI UM 9 Tramo1 84
Ilustración 53. Resultados PCI UM10 Tramo 1 84
Ilustración 55. Resultados PCI UM11 Tramo 1 85
Ilustración 54. Resultados PCI UM12 Tramo 1 85
Ilustración 56. Resultados PCI UM 1 Tramo 2 87
Ilustración 57. Claculo PCI UM2 TRAMO 2 87
Ilustración 58. Cálculo de PCI UM3 TRAMO 2 88
Ilustración 59. Cálculo PCI UM4 TRAMO2 88
Ilustración 60. Cálculo del PCI UM5 Tramo 2 89
Ilustración 61. Aforo 1 91
Ilustración 62. Humedad natural 92

1 DEDICATORIA

Dedico este logro primeramente a Dios, quien ha sido mi guía y mi fortaleza, llenándome desabiduría, fe y perseverancia. A mi familia, especialmente a mi madre **Yeny Victoria Castro Castro**, y a mi padre **Rigoberto Aguilar Amaris**, por su apoyo incondicional, por enseñarme el valor del esfuerzo y por ser mis cimientos fuertes tras las adversidades y momentos difíciles durante mi carrera profesional. A mis hermanos, amigos y aquellas personas, que por alguna razón ya no están presentes, pero en su momento me brindaron su apoyo y motivación.

Agradezco profundamente a mis profesores y docentes, porque fueron un pilar fundamental en mi desarrollo académico, gracias por su guía, enseñanza y paciencia, gracias a ustedes hoy logro completar con éxito mi carrera.

Muchas gracias a todos.

2 RESUMEN

El presente trabajo realizo una evaluación del pavimento flexible por medio de una inspección visual para dos tramos el primer tramo con una longitud de 360 metros y el segundo tramo con 150 metros, empleando el método de PCI (Índice de condición del Pavimento). Para esto se dividió el tramo en unidades de muestreo con una longitud de 30 metros de largo y 6 metros de ancho. Se realizó el cálculo del PCI utilizando como herramienta principal Excel.

Los resultados obtenidos muestran valores de PCI que en promedio están entre 25 a 93, lo que indica una condición del pavimento bastante preocupante, ya que a lo largo del tramo varía significativamente, mostrando un nivel de severidad bastante alto. Mediante la inspección visual se encontraron diferentes tipos de patologías, entre ellas piel de cocodrilo, grietas longitudinales y transversales, abultamientos y hundimientos, desprendimientos, baches y huecos.

Durante la evaluación del pavimento se tuvieron en cuenta otros aportes importantes, que ayudan a entender más a fondo el comportamiento de la sobrante y analizar desde diferentes puntos de vistas las posibles causas de estas fallas y soluciones. Se tuvieron en cuenta estudios de transito y estudios de geotecnia.

En conclusión, este método proporciona una evaluación integral del pavimento, permitiendo integrar secciones críticas y ofrecer alternativas de mantenimiento y rehabilitación para prolongar la vida útil de la estructura.

Palabras clave: metodología pci, pavimento, patologías

3 ABSTRACT

This study evaluated flexible pavement through visual inspection of two sections, the first section measuring 360 meters in length and the second section measuring 150 meters in length, using the PCI (Pavement Condition Index) method. To do this, the section was divided into sampling units measuring 30 meters in length and 6 meters in width. The PCI was calculated using Excel as the main tool.

The results obtained show PCI values that average between 25 and 93, indicating a rather worrying pavement condition, as it varies significantly along the section, showing a fairly high level of severity. Visual inspection revealed different types of pathologies, including alligator cracking, longitudinal and transverse cracks, bulges and subsidence, detachments, potholes, and holes.

During the pavement assessment, other important contributions were taken into account, which help to understand the behavior of the pavement more thoroughly and analyze the possible causes of these failures and solutions from different points of view. Traffic studies and geotechnical studies were taken into account.

In conclusion, this method provides a comprehensive assessment of the pavement, allowing critical sections to be integrated and offering maintenance and rehabilitation alternatives to extend the useful life of the structure.

Keywords: pci, methodology, pavement, pato

4 DESCRIPCION DE LAS ACTIVIDADES DESARROLLADAS

Durante mis prácticas empresariales participé en diversas actividades de apoyo a los procesos técnicos y administrativos de la empresa, es importante destacar que esta no solo se dedica tanto a la ejecución de obras civiles sino también se enfoca en áreas especializadas como geotecnia, estudios de suelos y evaluación de pavimentos. Esta variedad de actividades permitió fortalecer mi formación y aplicar conocimientos adquiridos durante la carrera.

Mi labor principal se desarrolló en el laboratorio de geotecnia, donde apoyé la toma, preparación y análisis de muestras de suelo, así como la realización de ensayos como granulometría, límites de Atterberg, humedad natural, densidad, compactación y CBR, de acuerdo con la normativa vigente y los requerimientos de cada proyecto. Estas actividades me permitieron adquirir experiencia en el manejo de equipos de laboratorio y en el registro de información técnica confiable.

La práctica se llevó a cabo en las instalaciones de la empresa y en apoyo a trabajos de campo, con el objetivo de contribuir al desarrollo de estudios técnicos que sirvieran como base para la toma de decisiones en proyectos de infraestructura, fortaleciendo competencias como el trabajo en equipo, la responsabilidad y la aplicación práctica de los conocimientos teóricos.

5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La infraestructura vial actualmente es un factor determinante para el desarrollo económico y social del país, Colombia tiene un red vial estimada de 205.745 Km de carretera de los cuales 18.323 km corresponden a la red primaria en un 9% , gestionada por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS), alrededor del 22% de la malla vial corresponden principalmente a carreteras secundarias y el 67% a las terciarias de acuerdo con los datos del Departamento Nacional de planeación (DNP), de los cuales 2.394,38 kilómetros equivalente a un 25.5 % están en malas condiciones y 3.053,03 kilómetros equivalentes al 32,65% en condiciones regulares especialmente en pavimentos flexibles ((Balaguera, 2023), esto se debe a la falta de mantenimiento, aumento de tránsito y en muchas ocasiones deficiencias en el diseño. Estas condiciones generan diferentes patologías en el pavimento afectando directamente la seguridad vial y la calidad del servicio de la vía. (Gaviria, 2023)

En el municipio de Fusagasugá específicamente en el tramo vial del sector de Santa María se evidencia principalmente que es una zona de alto flujo vehicular y también un deterioro notable del pavimento flexible, se logra visualizar diferentes tipos de daños que posee la capa de rodadura. Razón por la cual, es necesario determinar las causas o consecuencias de las diferentes patologías, y el grado de severidad que presentan junto con posibles soluciones. La alcaldía municipal de Fusagasugá ha sugerido realizar un análisis del tramo del sector de Santa María, contemplando también dentro de este proyecto la construcción, rehabilitación y mejoramiento de esta vía, mediante un diagnóstico. El estudio se delimita a un tramo específico de la vía y se enfoca en la inspección visual en campo y la aplicación del índice de PCI como herramienta para determinar el

estado actual de la vía, con el fin de generar información técnica que sirva como base para formular posibles soluciones y recomendaciones orientadas al mantenimiento y mejoramiento de la infraestructura vial del sector.

5.1 Alcance de la monografía

El alcance de la presente monografía abarca de manera técnica la evaluación del estado actual de la vía en un tramo específico del sector de Santa María, en el municipio de Fusagasugá, el cual se va a realizar mediante una inspección en campo de manera visual y con equipos de medición manual y la aplicación del Índice de Condición del Pavimento (PCI). Este estudio se enfoca principalmente identificación, clasificación y análisis de los diferentes tipos de patologías que presenta el pavimento flexible, evaluando también cuál es su nivel de severidad y posibles causas.

Adicionalmente, la monografía detalla e incorpora los estudios de tránsito, estudios geotécnicos y el diseño geométrico del pavimento, con la finalidad de hacer un diagnostico completo y sustentar técnicamente las alternativas y posibles soluciones propuestas, el trabajo de grado se limita únicamente al análisis y soporte técnico sin llegar a la elaboración de planos constructivos detallados ni a la ejecución de obras.

Como resultado satisfactorio se plantean soluciones, recomendaciones y propuestas de mejoramiento y rehabilitación del pavimento que vayan acordes al estado actual de la vía y a la información de laboratorio y técnica disponible.

6 OBJETIVOS

6.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la condición actual del tramo y las diferentes patologías presentes en el pavimento flexible, mediante la inspección visual de la superficie y empleando el índice de PCI. Con la finalidad de saber el estado actual de la vía y plantear posibles soluciones de mejoramiento y manteamiento de la vía

6.2 OBEJETIVOS ESPECIFICOS

- Caracterizar los diferentes tipos de patologías presentes en el tramo de Santa María, municipio de Fusagasugá, mediante una inspección visual en campo
- Evaluar el estado actual del pavimento flexible y obtener el nivel de severidad a partir de una cuantificación de daños y empleando el método de índice de condición del pavimento PCI.
- Identificar las posibles causas y plantear alternativas de mantenimiento, mejoramiento y rehabilitación de la vía, con base a los resultados obtenidos del índice PCI y con apoyo de la información técnica disponible.

7 MARCO REFERENCIAL

7.1 Fusagasugá Cundinamarca

Fusagasugá es un municipio situado en el departamento de Colombio, ubicado en la provincia de Sumapaz, el municipio se encuentra a 70 kilómetros de distancia de la capital de Colombia Bogotá, lo que representa alrededor de 2 horas de viaje en automóvil, es conocido por su clima templado y por el un municipio turístico . (Gobernación de Cundinamarca, s.f.)

Ilustración 1. Localización del municipio.

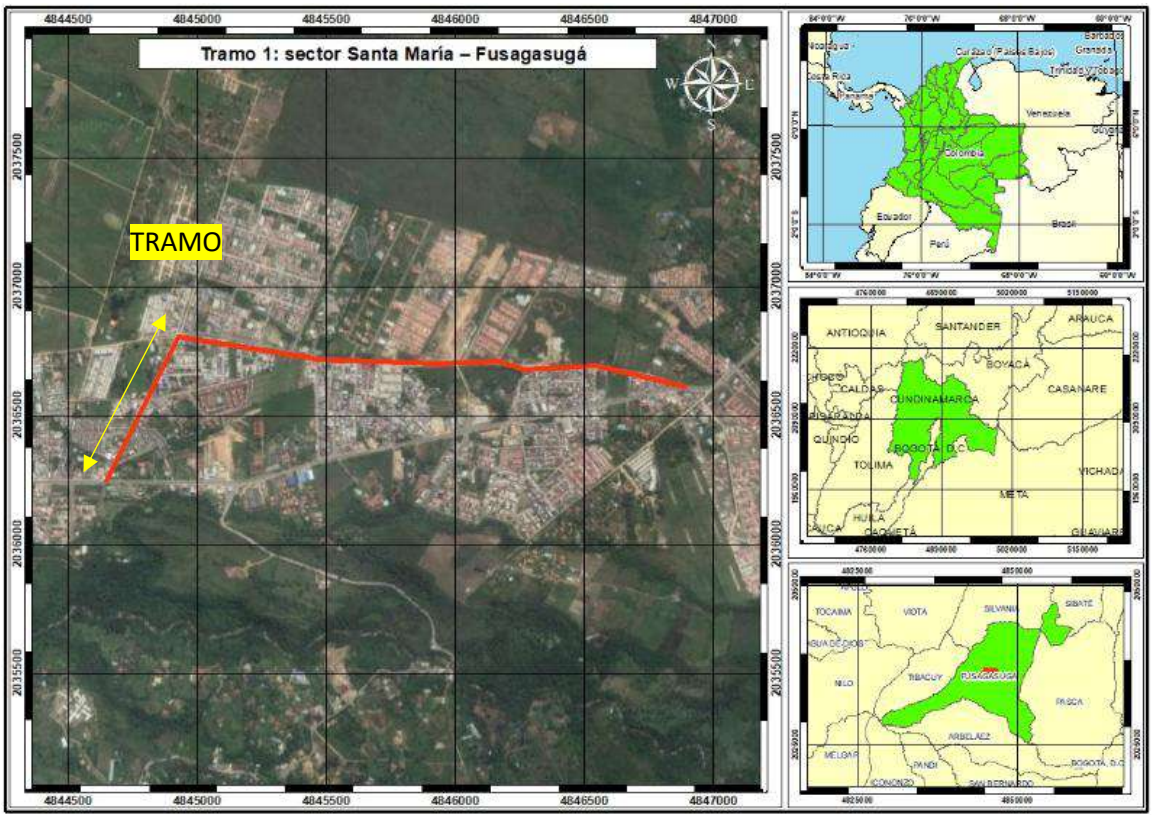


Fuente: Google Earth

7.2 Santa María Fusagasugá

El sector de Santa María queda situado dentro del municipio y corresponde a corredor urbano en el cual está enfocado el proyecto.

Ilustración 2. Sector Santa María



Nota. La ruta marcada de color morado corresponde al corredor de Santa María.

Fuente: Google Earth

Ilustración 3. Medidas de la vía

Longitud	510 metros
Ancho de vía	El ancho de vía observado se encuentra entre 6.0 m
Número de carriles	1

Fuente: Elaboración propia

7.3 Área de influencia

Esta área se delimitó considerando las condiciones topográficas, ambientales y de ocupación del suelo de cada corredor, estableciendo un rango promedio de 100 metros a cada lado del eje vial, dentro del cual se desarrollarán las obras y donde se espera la manifestación directa de los impactos sobre los medios físico, biótico y social.

Ilustración 4. Áreas de influencia de la zona de estudio

Tramo	Descripción	Características del Área de Influencia Directa
Tramo 1. Santa María – Fusagasugá (510 m)	Sector urbano consolidado con predominio de áreas residenciales y equipamientos locales.	AID delimitada a 15 m a cada lado del eje vial por tratarse de zona urbana. Abarca calzada, andenes, redes de servicios y espacio público inmediato.

Fuente: Elaboración propia

Guía de Manejo Ambiental (INVÍAS, 2022), el área corresponde al espacio geográfico donde se le manifiestan los efectos ambientales y sociales secundarios o inducidos por la ejecución del proyecto vial. En esta zona los impactos no son inmediatos, pero se perciben a través de cambios en la dinámica social, económica, ambiental o de movilidad, generados por la operación o presencia de la infraestructura.

Ilustración 5. Área de influencia indirecta del tramo de estudio

Tramo	Descripción	Características del Área de Influencia Indirecta
Tramo 1. Santa María – Fusagasugá (510 m)	Sector urbano con conexión directa a barrios residenciales.	El área de influencia indirecta comprende la zona del casco urbano de Fusagasugá, donde se esperan beneficios en movilidad y accesibilidad.

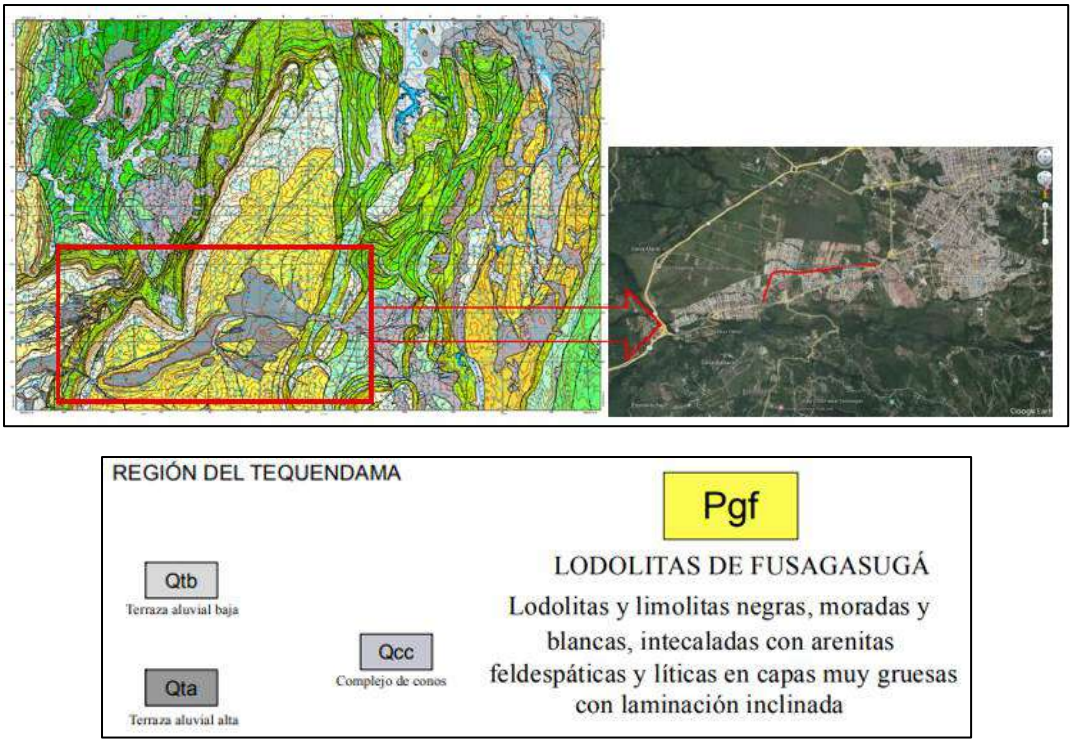
Fuente: Elaboración propia

7.4 Caracterización ambiental

Según (1998-INGEOMINAS, 2014), el municipio de Fusagasugá pertenece al sector central de la plancha 246, el cual limita al occidente por la Falla de Salcedo y al oriente por la Falla de Fusagasugá. Las zonas de falla más importantes se pudieron reconocer en estos dos sectores.

En la Plancha 264 Fusagasugá se presentan rocas sedimentarias del Cretácico y Terciario cubiertas opuesto por grandes depósitos del Cuaternario. Estas rocas presentan relaciones estructurales complejas, las cuales impiden la elaboración de la cartografía geológica. Estas secuencias están bastante abiertas entre sí por fallas regionales de cabalgamiento, las cuales permiten dividir la plancha en tres regiones estratigráficas denominadas para esta plancha como Región Oriental, Región Central y Región Occidental, debido a que cada una de ellas posee una secuencia sedimentaria característica. (FUSAGASUGÁ, 2021)

Ilustración 6.Plancha 264 Fusagasugá



Fuente: Obtenida de la cartografía (1998-INGEOMINAS, 2014)

El municipio de Fusagasugá cuenta con la presencia de rocas tipo Lodolitas y limolitas negras, moradas y blancas. De igual forma cuenta con la presencia de terrazas aluviales altas y bajas. (FUSAGASUGÁ, 2021)

7.4.1 Hidrología

Fusagasugá hace parte de la cuenca del río Sumapaz que tiene una superficie de 2531.5 km2 de los cuales el municipio ocupa el 8,05%. Dos cuencas importantes: la del río Cuja con 86.7 km² (57.5% del municipio) y la del río Chocho que tiene 117.3 km² (42.5% del municipio). (FUSAGASUGÁ, 2021)

- **Cuenca del río Cuja**

Esta cuenca se encuentra distribuida entre los municipios de Pasca, Arbeláez y Fusagasugá. Corresponde al municipio de la cuenca media y baja de la vertiente norte. Sus principales afluentes son el río Batán y el río Guavio.

- **Cuenca del río Chochó**

La cuenca del río Chocho se comparte con el municipio de Silvania. La cuenca comprende la subcuenca del río Subía y la subcuenca del río Barro blanco. La cual corresponde a Fusagasugá donde su vertiente sur-este, está situada entre los municipios de Tibacuy, Silvania y Fusagasugá. La longitud de todo el recorrido del río Chocho desde la desembocadura del río Subía hasta encontrarse con el río Sumapaz es de 25.3 km. (FUSAGASUGÁ, 2021)

Ilustración 8.Cuenca del rio Chocho

Ilustración 7. Cuenca del río Cuja





Fuente: Imagen tomada de (FUSAGASUGA CIUDAD JARDIN, 2009)

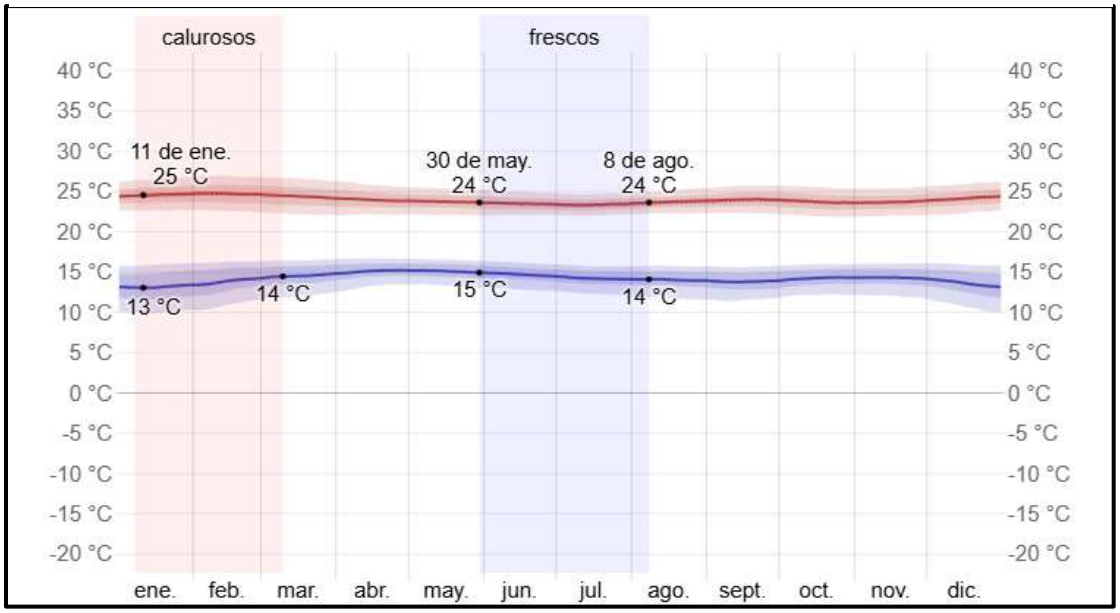
7.4.2 Abastecimientos hídricos

Fusagasugá es regada por los ríos Barroblanco, Batán, Cuja, Chocho y Guavio. Cuenta además con un gran potencial hídrico, pues posee cerca de 32 pequeñas quebradas, sin embargo, el mal manejo de este recurso y la falta de políticas proteccionistas, han permitido que se desarrolle problemáticas ambientales ligadas a la contaminación de gran parte de este cuerpo de agua. (Barragán)

7.4.3 Clima

En Fusagasuga, los veranos son cortos y calurosos; los inviernos son cortos, cómodos y mojados y está nublado durante todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 13 °C a 25 °C y rara vez baja a menos de 10 °C o sube a más de 27 °C. (SparkWeather, s.f.)

Ilustración 9. Clima en Fusagasugá hoy



Fuente: Imagen obtenida de (SparkWeather, s.f.)

7.4.4 Flora

En Fusagasugá se han identificado especies representativas de los ecosistemas de montaña, páramo y bosque andino. Por ejemplo: Escallonia myrtilloides, Berberis goudotii, Puya clava-herculis, Espeletia sp. (frailejón) y otras más de 30 especies listadas en un formulario local. El municipio presenta condiciones geográficas favorecedoras para la biodiversidad vegetal: altitudes entre aproximadamente 1.700 m s.n.m., clima templado, bosques húmedos de transición. Por ejemplo, se menciona que Fusagasugá se ubica a ~1.765 m s.n.m. en la provincia del Sumapaz.

En el departamento de Cundinamarca — al cual pertenece Fusagasugá — se registran más de 13.136 especies entre plantas, invertebrados, vertebrados, algas, líquenes y hongos. Existe una preocupación por amenazas a la flora local: por ejemplo, se han reportado operativos por tala ilegal de árboles nativos en Fusagasugá.

7.4.5 Fauna

En Fusagasugá se han documentado casos específicos interesantes: por ejemplo, una boa constrictora de más de dos metros fue rescatada en el municipio. También se registró el hallazgo de ranas toro (Lithobates catesbeianus) como especie invasora en el área de Fusagasugá. En el campo del aviturismo y fauna silvestre: el municipio forma parte de la región Cundinamarca en la que se promueven recorridos de observación de aves debido a su diversidad – se menciona a Fusagasugá entre los municipios donde se hizo conducción del programa de avistamiento de aves.

En 2023 un operativo de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) rescató dos flamencos en estado de cautiverio en fincas de Fusagasugá.

7.5 Componente socio-económico

7.5.1 Social

Fusagasugá es uno de los 116 municipios del departamento de Cundinamarca, Colombia. De acuerdo con las proyecciones 2del Fusagasugá tenía 165,143 habitantes: 86,003 mujeres (52.1%) y 79,140 hombres (47.9%). Los habitantes de Fusagasugá representaban el 4.8% de la población total de Cundinamarca en 2023. Fusagasugá es el tercer municipio más poblado del departamento de Cundinamarca.

El crecimiento urbano de Fusagasugá ha sido considerable en los últimos años. La ciudad ha visto un aumento relevante en su población, esto ha llevado a una expansión de sus límites urbanos y a la construcción de nuevos desarrollos residenciales y comerciales. Este crecimiento ha sido impulsado en parte por su proximidad a Bogotá, convirtiendo a Fusagasugá en una opción atractiva para quienes buscan un ambiente más tranquilo sin alejarse demasiado de la capital.

El desarrollo de infraestructura ha sido un pilar crucial en este proceso. La mejora de las vías de comunicación, incluyendo carreteras y transporte público, ha facilitado el desplazamiento tanto dentro de la ciudad como hacia otras áreas. La construcción de nuevas instalaciones educativas, de salud y recreativas ha mejorado la calidad de vida de los habitantes, proporcionando acceso a servicios esenciales y oportunidades de esparcimiento.

7.5.2 Economía.

La economía de Fusagasugá ha evolucionado de ser predominantemente agrícola a una estructura más diversificada. Aunque la agricultura sigue siendo una actividad económica importante, especialmente en la producción de flores y frutas, otros sectores han ganado relevancia. El comercio y los servicios han crecido significativamente, impulsados por el aumento de la población y el turismo.

El turismo, en particular, ha sido un motor de crecimiento económico para Fusagasugá. La ciudad atrae a visitantes gracias a sus paisajes naturales y su oferta cultural, que incluye festivales, mercados y eventos comunitarios. Además, la creciente popularidad del turismo ecológico y de aventura ha beneficiado a Fusagasugá, que cuenta con numerosos senderos y áreas naturales protegidas.

La industria también ha encontrado un lugar en la economía local. La presencia de pequeñas y medianas empresas en sectores como la manufactura, la construcción y la tecnología ha contribuido a la creación de empleo y al desarrollo económico. El apoyo del gobierno local y de instituciones financieras ha sido crucial para fomentar el emprendimiento y la innovación en la ciudad.

8 MARCO TEÓRICO

8.1 Definición del pavimento

Un pavimento es una estructura de capas superpuestas de asfalto o de concreto; es un sistema de ingeniería creado para soportar y dispersar las cargas que varían. Se puede describir como un conjunto de capas que están comprimidas y colocadas de manera horizontal, cuyo propósito es trasladar las cargas del tráfico de manera controlada hacia la subrasante. (CONSTRUNEIC, 2025)

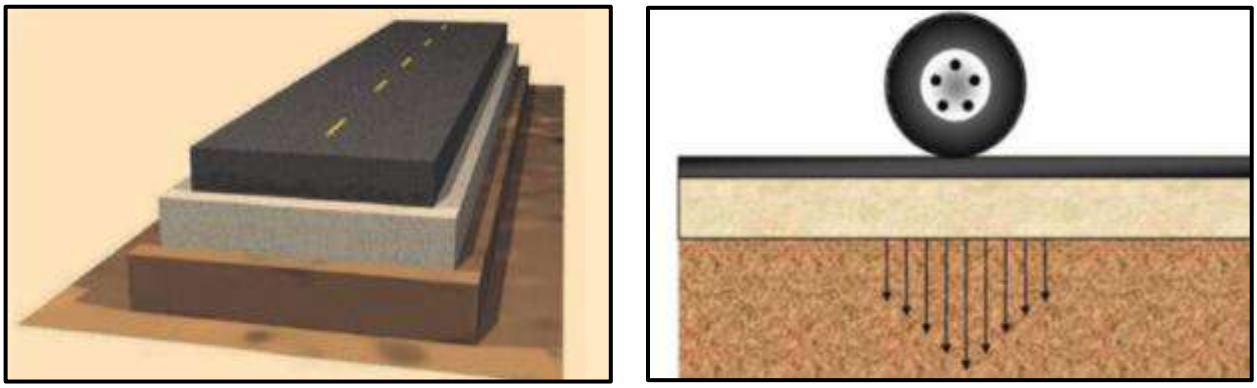
Para que una estructura se clasifique como un pavimento de alto rendimiento, es necesario que esté construida sobre una subrasante (ya sea natural o mejorada) que ha sido optimizada a través de trabajos de tierra y estabilización. El objetivo principal es proporcionar una superficie de rodadura que integre tres elementos esenciales: seguridad vial, resistencia estructural y eficiencia económica. Cuales se diseñan y constituyen teniendo en cuenta diferentes normas y especificaciones técnicas. (CONSTRUNEIC, 2025)

8.2 Pavimento Flexible

Se denomina pavimento asfaltico a aquella estructura que es capaz de deflactarse y/o flexionarse dependiendo de las cargas móviles que transitan sobre él. El uso de este tipo de pavimentos se realiza su implementación en zonas con fluctuaciones altas de tráfico como puedan ser vías, aceras o parkings y se caracterizan principalmente por una capa bituminosa, que se apoya de otras capas inferiores llamadas base y subbase; sin embargo, es posible omitir algunas de estas capas dependiendo de su calidad correspondiente a la subrasante y de las exigencias de cada obra. Cada capa recibe los esfuerzos por encima de la capa, se extiende en ella, entonces pasa estas

cargas a la siguiente capa inferior (CONSTRUNEIC, 2025). Estructuralmente la carpeta absorbe los esfuerzos horizontales y parte de los verticales, ya que las diferentes cargas de los vehículos se distribuyen hacia las capas inferiores del terreno por medio de las características de fricción y cohesión de partículas de los materiales y la carpeta asfáltica se pliega a pequeñas deformaciones de las capas inferiores sin que su estructura se rompa. (REBOLLEDO, 2010).

Ilustración 10.Espesor y distribución de cargas del pavimento flexible



Fuente : (CONSTRUNEIC, 2025)

8.2.1 Estructura del pavimento flexible

La estructura del pavimento flexible se compone por varias capas tanto asfálticas como de material granular, las cuales trabajan en equipo para distribuir las cargas y proporcionar una superficie del pavimento duradera y estable. Estas capas incluyen una carpeta de rodadura, una base, y una sub base, cada una con funciones específicas que contribuyen a la estabilidad y la resistencia del pavimento. (CONSTRUNEIC, 2025).Las principales funciones de la capa asfáltica se clasifican en:

- **Estructural:** (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2022) mencionan que esta primera capa debe estar diseñada y construida de manera que sea resistente a

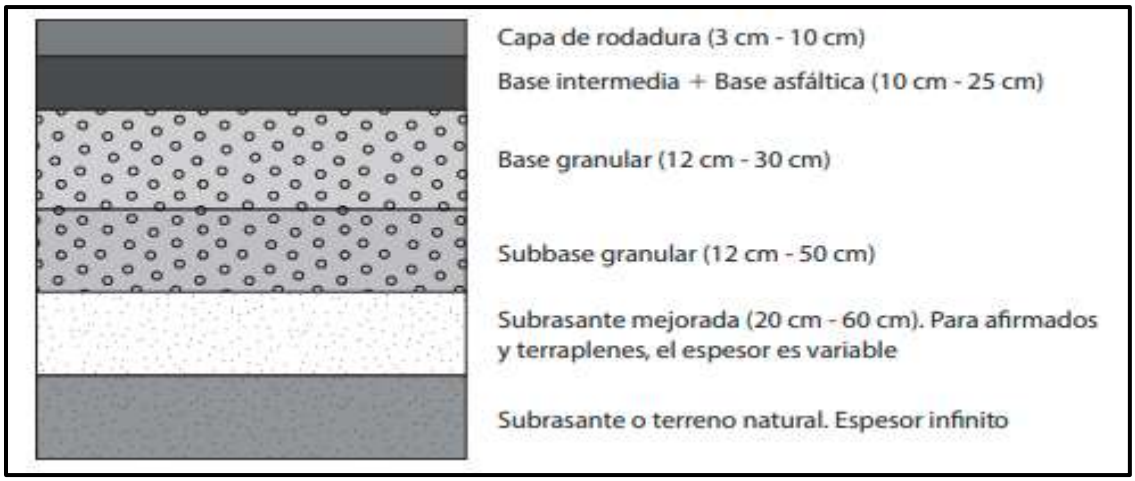
cambios de deformaciones permanentes y fatiga, causadas por las cargas cíclicas que generan los vehículos y a la vez resistir a efectos climáticos.

- **Funcional:** Esta capa asfáltica por otro lado recibe directamente las cargas que se distribuyen en la superficie del pavimento, por lo que (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2022) recalcan que es importante que este diseñada correctamente y construida de manera que se permita la circulación cómoda y segura de los automóviles durante su vida útil.

- **Impermeabilización:** Finalmente en esta capa se impide la penetración del agua directamente a la estructura, evitando la perdida de resistencia al corte que pueden

- experimentar las capas granulares de base y sub base así como la subrasante.

Ilustración 11. Perfil de una estructura de pavimento flexible



Nota. La imagen representa como está conformado por capas el pavimento flexible. Tomado de (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2022).

Cada una de estas capas cumple una función fundamental dentro del comportamiento del pavimento flexible:

- **Capa de rodadura**: Es la capa superior del pavimento flexible y está compuesta por mezclas asfálticas, su función principal es proporcionar una superficie segura, como y estable, la cual actúa como una capa protectora o impermeable para impedir la infiltración del agua a la estructura. (CONSTRUNEIC, 2025). Según (Ortiz, 2017), esta capa recibe directamente los efectos ambientales como lo es la lluvia y la radiación solar.

- **Base granular**: Esta capa está ubicada debajo de la capa asfáltica y su función principal es transportar las cargas recibidas por el tránsito hacia capas inferiores. (Ortiz, 2017)

- **Subbsase:** Esta está construida con materiales más económicos que las anteriores capas, su función principal es facilitar el drenaje del agua que pueda filtrarse por la superficie o primera capa. (Ortiz, 2017).

- Subrasante: Según (CONSTRUNEIC, 2025) la capacidad de carga de la subrasante es un factor fundamental que incide indirectamente en la elección del espesor total del pavimento. Su propósito es resistir la carga trasmitida por el tráfico, distribuir y transferir esta misma. De esta manera se evita que el material plástico del terraplén contamine la superficie de la carretera.

8.3 Diseños de pavimentos

8.3.1 Método AASHTO (1993) para pavimentos flexibles

El método AASHTO-1993 se utiliza principalmente para el diseño de pavimentos flexibles, con el fin de identificar el numero estrtucral "SN" para que el pavimento pueda soportar el nivel de carga solicitado. Para establecer el número estructural, el procedimiento se basa en una fórmula que conecta los coeficientes con sus números estructurales asignados, los que se obtienen usando un programa informático (AASHTO 93). Este programa necesita ciertos datos iniciales, como el número de ejes equivalentes, el intervalo de servicio, la fiabilidad y el módulo resiliente de la capa que se está evaluando.

Las variables necesarias para emplear este método de diseño son:

1. **Subrasante:** Según (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2022) la subrasante se define por medio del módulo resiliente (M r = 1500 CBR en psi), como lo explica la siguiente ecuación.

Heukelom y Foster (1960) y Heukelom y Klomp (1962)

$$M_r = 10\ CBR\ (MPA) \text{ ó } M_r = 1500\ CBR\ (psi), para\ CBR < 10\%$$

Esta ecuación indica que el CBR conocido como (California Bearing Ratio) es utilizado para medir la capacidad portante, como se logra apreciar en la ecuación este ensayo empírico se representa en porcentaje. El diseño de estos pavimentos flexibles requiere una comprensión profunda de los materiales granulares, ahí es donde entra el módulo de resiliencia o M_r el cual tiene la capacidad para medir la resistencia y la capacidad de recuperación de los materiales. (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2022)

1. **Tránsito (W 18):** Esta variable se caracteriza por el número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas que circulan en el carril y el período de diseño. (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2022). El subíndice 18 significa la masa del eje simple equivalente en kips (kilo-libras).

8.4 Deterioro del pavimento

Dentro de pavimento flexible se clasifican diferentes tipos de deterioros del pavimento, los cuales se originan por diferentes factores, estos daños se han establecido de diferente manera, la primera es mediante la revisión bibliográfica y el segundo mediante la revisión visual de campo y ensayos de laboratorio. De acuerdo al manual de inspección visual de pavimentos flexibles otorgado por el Instituto Nacional de Vías ((INVIAS), 2006) , los deteriores del pavimento se pueden clasificar según su severidad (Baja, media, alta) de esta manera se puede medir el daño, sus causas y sus posibles soluciones.

8.4.1 Factores que influyen en el deterioro del pavimento

- **Falta de mantenimiento:** Este es un tipo de pavimento en el que regularmente se le debe hacer su debido mantenimiento y de estar manera evitar su deterioro prematuro. Dentro de estos mantenimientos están el sellado, reparación de grietas y parcheo de baches. Sin este tipo de mantenimiento periódico el pavimento comenzara a agrietarse, ocasionando lo que se le llama patologías del pavimento.

- **Subrasante deficiente:** Si la subrasante no está en condiciones regulares para soportar el peso de la estructura, puede provocar que esta colapse provocando fisuras.

- **Deterioro de las uniones:** Esto es un elemento fundamental en el pavimento, si las uniones no están selladas adecuadamente pueden ocasionar inoportunamente

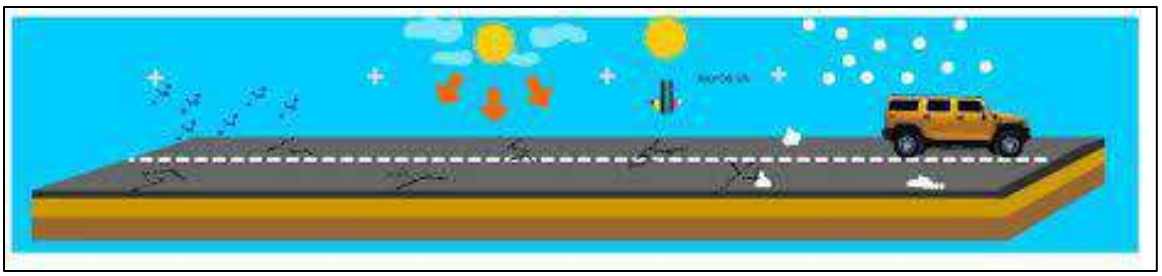
- **filtraciones de agua y humedad**: Es la principal causa del deterioro.

- **Calidad de los materiales utilizados:** En la durabilidad de los pavimentos influye principalmente la calidad de los materiales, por eso es importante utilizar materiales de alta calidad especialmente los agregados para la base del pavimento. (Antoniolidia, 2023)

- **Diseño y construcción correcta del pavimento:** El principal factor que afecta la durabilidad de los pavimentos es el diseño y la construcción del mismo. Un pavimento bien diseñado y construido puede tener una vida útil alargada. (Antoniolidia, 2023)

- **Clima y condiciones meteorológicas:** Estos son factores determinantes ya que las variaciones extremas de temperatura, la lluvia, la nieve y el hielo pueden afectar de manera negativa la durabilidad del pavimento. (Antoniolidia, 2023)

Ilustración 12. Factores ambientales que afectan el pavimento flexible



Nota. Imagen tomada del informe universidad de los andes (Martinez, 2007)

8.5 Patologías del pavimento

8.5.1 Piel de cocodrilo:

Las grietas de fatiga o mejor conocidas como piel de cocodrilo son una serie de grietas interconectadas la cual su origen viene de la falla por fatiga de la capa de rodadura asfáltica producida un ciclo repetitivo de las cargas de tránsito. Esta patología comienza en el fondo de la capa asfáltica o base estabilizada, donde los esfuerzos y deformaciones unitarias de tensión son mayores bajo la carga de una rueda. Inicialmente, las grietas se propagan a la superficie como una serie de grietas longitudinales paralelas. (VARELA, 2002)

Esta patología se puede clasificar en tres niveles de severidad:

- L (Low: Bajo): Son grietas finas capilares y longitudinales que se desarrollan y conectan de forma paralela. (VARELA, 2002)
- M (Medium: Medio): En este caso es un desarrollo posterior a nivel L, en el cual las grietas se pueden descascarar. (VARELA, 2002)

- H (High: Alto): Han evolucionado de la manera que los pedazos están bien definidos y descascarados, los cuales pueden moverse con el tránsito. (VARELA, 2002)

*Ilustración 13. Severidad nivel **1***



Ilustración 14. Severidad nivel 2



Ilustración 15. Severidad



Fuente: Elaboración propia

8.5.2 Exudación

Según el manual de ingeniería de pavimentos (VARELA, 2002), la exudación es una película de material bituminoso en la superficie del pavimento, la cual forma una superficie brillante, cristalina y reflectora que usualmente llega a ser pegajosa. La exudación es originada por exceso de asfalto en la mezcla, exceso de aplicación de un sellante asfáltico o un bajo contenido de vacíos de aire.

Ilustración 17. Nivel de severidad bajo.



Ilustración 16. Nivel de severidad medio



Ilustración 18. Nivel de severidad alto



Fuente. Imágenes obtenidas la página web (Unknown, 2014)

8.5.3 Agrietamiento en bloque

Las grietas en bloque son grietas interconectadas que dividen el pavimento en pedazos aproximadamente rectangulares. Los bloques pueden variar en tamaño de 0.30 m x 0.3 m a 3.0 m x 3.0 m. Las grietas en bloque se originan principalmente por la contracción del concreto asfáltico y los ciclos de temperatura diarios (lo cual origina ciclos diarios de esfuerzo / deformación unitaria). (VARELA, 2002)

Ilustración 19. Grietas en bloque



Nota. Agrietamiento en bloque de pavimento flexible (CONSTRUNEIC, 2025)

8.5.4 Abultamientos y hundimientos

Son pequeños desplazamientos hacia arriba localizados en la superficie del pavimento. Se diferencian de los desplazamientos, pues estos últimos son causados por pavimentos inestables.

1. Levantamiento o combadura de losas de concreto de cemento Pórtland con una sobrecarpeta de concreto asfáltico.

2. Expansión por congelación (crecimiento de lentes de hielo).

3. Infiltración y elevación del material en una grieta en combinación con las cargas del tránsito (algunas veces denominado “tenting”). (VARELA, 2002).

Ilustración 20. Hundimiento en pavimento flexible



Fuente: . Hundimiento en pavimento flexible obtenida de (RÍOS, 2012)

8.5.5 Corrugación

es una serie de cimas y depresiones muy próximas que ocurren a intervalos bastante regulares, usualmente a menos de 3.0 m. Las cimas son perpendiculares a la dirección del tránsito.

Ilustración 21. Corrugaciones nivel de severidad: Medio



Fuente: La imagen representa corrugaciones en el pavimento flexible, tomada de (Unknown, 2014)

8.5.6 Depresión

Es un tipo de patología que se caracterizan por ser áreas localizadas de la superficie del pavimento con niveles ligeramente más bajos que el pavimento a su alrededor. En múltiples ocasiones, las depresiones suaves sólo son visibles después de la lluvia, cuando el agua almacenada forma un "baño de pájaros" (bird bath). (VARELA, 2002)

8.5.7 Grieta de borde

Este tipo de grietas son paralelas y, generalmente, están a una distancia entre 0.30 y 0.60 m del borde exterior del pavimento. Esta patología se acelera por las cargas de tránsito y puede originarse por debilitamiento, debido a condiciones climáticas, de la base o de la subrasante próximas al borde del pavimento. (VARELA, 2002). Con tendencia longitudinal a semicircular localizadas cerca del borde de la calzada, se presentan principalmente por la ausencia de berma o por la diferencia de nivel entre la berma y la calzada. (REBOLLEDO, 2010)

Ilustración 22. Grietas de borde



Fuente: Imagen obtenida del sitio (Genfelder, 2022)

8.5.8 Grieta de reflexión de junta (de losas de concreto de cemento pórtland).

Este tipo de patología ocurre solamente en pavimentos con superficie asfáltica construidos sobre una losa de concreto de cemento Pórtland. No incluye las grietas de reflexión de otros tipos de base (por ejemplo, estabilizadas con cemento o cal). (VARELA, 2002)

Ilustración 23. Grieta de reflexión de juntas



Fuente: Imagen obtenida de (VARELA, 2002)

Desnivel carril / berma.

Es una diferencia de niveles entre el borde del pavimento y la berma debido a la erosión de la misma. (Vásquez, 2002)

Desplazamiento: Corrimiento longitudinal y permanente de un área localizada de superficie producida por las cargas del tránsito. (Vásquez, 2002)

Desprendimiento de agregados: Perdida de la superficie del pavimento debido a la pérdida del ligante asfaltico y de las partículas de agregado. Indicador de que el asfalto se ha endurecido o que la mezcla es de mala calidad, también producido por vehículos de orugas o por 12 derramamientos de aceites. (Vásquez, 2002).

8.5.9 Grietas longitudinales y transversales

8.5.9.1 Longitudinales:

Son grietas paralelas al eje principal de la solera. Pueden desarrollarse desde una junta transversal hasta los extremos de la losa. (Gonzalo, 2020)

8.5.9.2 Transversales:

A diferencia de las anteriores, estas grietas son perpendiculares al eje principal, y pueden desarrollarse desde una junta transversal hasta una junta longitudinal. (Gonzalo, 2020)

8.5.10 Parcheo y acometidas de servicios públicos.

Es un parche en el área del pavimento en el cual se reemplaza con material nuevo para reparar el existente. Esto es considerado más que una patología un defecto no importa que también se comporte en el área afectada. (VARELA, 2002)

8.5.11 Pulimento de agregados.

Este daño es causado por la reiteración de cargas de movimiento. En el momento en que el total a primera vista resulta ser delicado al tacto, el accesorio con las sensaciones quemadas en el vehículo disminuye considerablemente. En el punto en que el segmento de total que a primera vista es pequeño, la superficie del asfalto no contribuye fundamentalmente a disminuir la velocidad

(VARELA, 2002)se extiende sobre la superficie es degradable y que la superficie del total es delicada al tacto. (PCI - 1998).

8.5.12 Huecos.

Este tipo de patologías se producen cuando el factor del tráfico arranca pequeños pedazos de la superficie del pavimento. La desintegración del pavimento progresa debido a mezclas pobres en la superficie, puntos débiles de la base o la subrasante, o porque se ha alcanzado una condición de piel de cocodrilo de severidad alta. Con frecuencia los huecos son daños asociados a la condición de la estructura y no deben confundirse con desprendimiento o meteorización. Cuando los huecos son producidos por piel de cocodrilo de alta severidad deben registrarse como huecos, no como meteorización. (VARELA, 2002)

Tabla 1. Niveles de severidad para los huecos

Profundidad del hueco	Diámetro medio (mm)		
	102 a 203 mm	203 A 457 MM	457 A 762
12.7 a 25.4 mm	L	L	M
>25.4 a 50.8 mm	L	M	H
>50.8 mm	M	M	H

Fuente: Elaboración propia

8.5.13 Ahuellamiento.

Se manifiesta como el deterioro de la superficie la cual se presenta como una ondulación bajo las bandas de la circulación vehicular. (Spinel, Triviño, & Hormaza, S.f) Algunas posibles causas de esta patología son:

1. La acumulación de deformaciones plásticas en las capas de materiales asfalticos.
2. La disgregación de material en las capas asfálticas.

Estudios también han comprobado que esta problemática también se debe a factores como las características de la mezcla asfáltica. (Spinel, Triviño, & Hormaza, S.f)

8.5.14 Desplazamiento.

Es el corrimiento longitudinal y permanente de un área localizada en la superficie del pavimento la cual es producido por las cargas generadas por los vehículos. Cuando el tráfico empuja hacia el pavimento produce una onda, generalmente este tipo de daño es por causa de la mezcla asfáltica inestable. (VARELA, 2002)

8.5.15 Grietas parabólicas (slippage)

Estas grietas se presentan en líneas de rotura que forman curvas las cuales se asemejan a parábolas o a medias lunas crecientes. En muchos casos se presentan en la capa de rodadura como un conjunto de fisuras paralelas unas a otras y, entre ellas, se pueden observar fracturas o fisuras de menos entidad. La media luna formada coincide con el sentido del esfuerzo generado por el tráfico. (Ingenieros civiles , 2021)

8.5.16 Hinchamiento.

Este deterioro se le conoce como “abombamientos” o prominencias que se presentan en la superficie del pavimento. Pueden presentarse bruscamente ocupando pequeñas áreas o gradualmente en áreas grandes, acompañados en algunos casos por fisuras. (CONSTRUNEIC, 2025). El hinchamiento se caracteriza por un pandeo hacia arriba de la superficie del pavimento una onda larga y gradual con una longitud mayor que 3.0 m. (VARELA, 2002)

8.5.17 Meteorización o desprendimiento de agregados.

También conocida como desprendimiento de materiales pétreos haciendo de la superficie rugosa y exponiendo los materiales a la acción del tráfico y los agentes climáticos. Una de las posibles causas de esta patología es la adherencia entre los agregados y el asfalto. (Castillo, 2009)

8.6 Índice de condición del pavimento (PCI)

El índice de condición del pavimento es una metodología ampliamente utilizada para la inspección del estado de los pavimentos flexibles y rígidos gracias a su fácil implementación debido a que no requiere equipo especializado. En toda estructura de pavimento los deterioros que son producidos por la acción de las cargas del tráfico, clima y otros se pueden clasificar de acuerdo a su clase, severidad y cantidad presente, esta metodología se desarrolló para obtener un Índice de integridad estructural del pavimento tiene rangos de calificación de 0 a 100 en donde 0 es malo y 100 es excelente para evaluar tramos de vía. (Cardenas, 2014)

Tabla 2 Rangos de Clasificación del PCI.

Rango	Clasificación
100-85	Excelente
85-70	Muy Bueno
70-55	Bueno
55-40	Regular
40-25	Malo
25-10	Muy Malo
10-0	Fallado

Fuente: Elaboración propia

El cálculo del PCI se fundamenta en los resultados de un inventario visual de la condición del pavimento en el cual se establecen CLASE, SEVERIDAD y CANTIDAD de cada daño presenta. El PCI se desarrolló para obtener un índice de la integridad estructural del pavimento y de la condición operacional de la superficie. La información de los daños obtenida como parte del

inventario ofrece una percepción clara de las causas de los daños y su relación con las cargas o con el clima. (VARELA, 2002)

8.6.1 Procedimiento de evaluación de la condición del pavimento.

Para poder determinar la clasificación de los tipos de patologías por medio de la inspección visual, se debe seguir una serie de pasos y llenar de manera adecuada los (Formato 1) en los cuales se registra de una manera ordenada la información del inventarío vial tal como tipo de daño, severidad y la cuantificación de las mismas de acuerdo a una unidad de muestreo. (Cardenas, 2014)

8.6.2 Determinación de las unidades de muestreo

Para la inspección visual realizada en campo la vía se debe dividir en secciones que varían de acuerdo al tipo, estas secciones del pavimento se debe visualizar claramente el tipo de rodadura con la que está construida la vía. (Cardenas, 2014)

Tabla 3. Nivel de severidad y daños PCI

N°	Tipo de Patologia	Unidad de Medida	Nivel de Severidad	Descripción
1	Piel de cocodrilo	m2	BAJA	Grietas finas capilares y longitudinales que se desarrollan de forma paralela con unas pocas o ninguna interconectadas.
			MEDIA	Desarrollo posterior de grietas piel de cocodrilo del nivel L, en un patrón o red de grietas que pueden estar ligeramente descascaradas.

			ALTA	Red o patrón de grietas que ha evolucionado de tal forma que las piezas o pedazos están bien definidos y descascarados los bordes.
2	**Exudación**	**m2**	**BAJA**	La exudación ha ocurrido solamente en un grado muy ligero y es detectable únicamente durante unos pocos días del año. El asfalto no se pega a los zapatos o a los vehículos
			MEDIA	La exudación ha ocurrido hasta un punto en el cual el asfalto se pega a los zapatos y vehículos únicamente durante unas pocas semanas del año.
			ALTA	La exudación ha ocurrido de forma extensa y gran cantidad de asfalto se pega a los zapatos y vehículos al menos durante varias semanas al año.
3	**Agrietamiento en bloque**	**m2**	**BAJA**	Bloques definidos por grietas de baja severidad, como se define para grietas longitudinales y transversales.
			MEDIA	Bloques definidos por grietas de severidad media
			ALTA	Bloques definidos por grietas de alta severidad.
4	**Abultamientos y hundimientos**	**m2**	**BAJA**	Los abultamientos o hundimientos originan una calidad de tránsito de baja severidad
			MEDIA	Los abultamientos o hundimientos originan una calidad de tránsito de severidad media.
			ALTA	Los abultamientos o hundimientos originan una calidad de tránsito de severidad alta.
5	**Corrugación**	**m2**	**BAJA**	Corrugaciones producen una calidad de tránsito de baja severidad.
			MEDIA	Corrugaciones producen una calidad de tránsito de mediana severidad.

			ALTA	Corrugaciones producen una calidad de tránsito de alta severidad.
6	**Depresión**	**m2**	**BAJA**	13.0 a 25.0 mm.
			MEDIA	25.0 a 51.0 mm.
			ALTA	Más de 51.0 mm.
7	**Grieta de borde**	**m2**	**BAJA**	Agrietamiento bajo o medio sin fragmentación o desprendimiento
			MEDIA	Grietas medias con algo de fragmentación y desprendimiento
			ALTA	Considerable fragmentación o desprendimiento a lo largo del borde.
8	**Grietas de reflexión de juntas**	**m2**	**BAJA**	1. Grieta sin relleno de ancho menor que 10.0 mm, o 2. Grieta rellena de cualquier ancho (con condición satisfactoria del material llenante).
			MEDIA	1. Grieta sin relleno con ancho entre 10.0 mm y 76.0 mm. 2. Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76.0 mm rodeada de un ligero agrietamiento aleatorio. 3. Grieta rellena de cualquier ancho rodeada de un ligero agrietamiento aleatorio.
			ALTA	1. Cualquier grieta rellena o no, rodeada de un agrietamiento aleatorio de media o alta severidad. 2. Grietas sin relleno de más de 76.0 mm. 3. Una grieta de cualquier ancho en la cual unas pocas pulgadas del pavimento alrededor de la misma están severamente fracturadas (la grieta está severamente fracturada).

9	**Desnivel Carril/berma**	**m2**	**BAJA**	La diferencia en elevación entre el borde del pavimento y la berma está entre 25.0 y 51.0 mm.
			MEDIA	La diferencia está entre 51.0 mm y 102.0 mm.
			ALTA	La diferencia en elevación es mayor que 102.00 mm.
10	**Grietas longitudinales y transversales**	**m2**	**BAJA**	1. Grieta sin relleno de ancho menor que 10.0 mm. 2. Grieta rellena de cualquier ancho (con condición satisfactoria del material llenante).
			MEDIA	1. Grieta sin relleno de ancho entre 10.0 mm y 76.0 mm. 2. Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76.0 mm, rodeada grietas aleatorias pequeñas. 3. Grieta rellena de cualquier ancho, rodeada de grietas aleatorias pequeñas.
			ALTA	2. Grieta sin relleno de más de 76.0 mm de ancho. 3. Una grieta de cualquier ancho en la cual unas pocas pulgadas del pavimento alrededor de la misma están severamente fracturadas.}
11	**Parcheo**	**m2**	**BAJA**	El parche está en buena condición buena y es satisfactorio. La calidad del tránsito se califica como de baja severidad o mejor.
			MEDIA	El parche está moderadamente deteriorado o la calidad del tránsito se califica como de severidad media.
			ALTA	El parche está muy deteriorado o la calidad del tránsito se califica como de alta severidad. Requiere pronta sustitución.

12	**Pulimento de agregados**	**m2**	**BAJA**	No se define ningún nivel de severidad. Sin embargo, el grado de pulimento deberá ser significativo antes de ser incluido en una evaluación de la condición y contabilizado como defecto.
			MEDIA	
			ALTA	
13	**Huecos**	**m2**	**BAJA**	Los niveles de severidad para los huecos de diámetro menor que 762 mm están basados en la profundidad y el diámetro de los mismos, de acuerdo a la tabla 1.
			MEDIA	
			ALTA	
14	**Cruce de vía férrea**	**m2**	**BAJA**	El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de baja severidad.
			MEDIA	El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de severidad media.
			ALTA	El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de severidad alta.
15	**Ahuellamiento**	**m2**	**BAJA**	6.0 a 13.0 mm.
			MEDIA	>13.0 mm a 25.0 mm.
			ALTA	> 25.0 mm.
16	**Desplazamiento**	**m2**	**BAJA**	El desplazamiento causa calidad de tránsito de baja severidad.

			MEDIA	El desplazamiento causa calidad de tránsito de severidad media
			ALTA	El desplazamiento causa calidad de tránsito de alta severidad.
17	**Grietas parabólicas (Slippage)**	**m2**	**BAJA**	Ancho promedio de la grieta menor que 10.0 mm.
			MEDIA	1. Ancho promedio de la grieta entre 10.0 mm y 38.0 mm. 2. El área alrededor de la grieta está fracturada en pequeños pedazos ajustados.
			ALTA	1. Ancho promedio de la grieta mayor que 38.0 mm. 2. El área alrededor de la grieta está fracturada en pedazos fácilmente removibles.
18	**Hinchamiento**	**m2**	**BAJA**	El hinchamiento causa calidad de tránsito de baja severidad.
			MEDIA	El hinchamiento causa calidad de tránsito de severidad media.
			ALTA	El hinchamiento causa calidad de tránsito de alta severidad.
19	**Meteorización/ Desprendimiento de agregados.**	**m2**	**BAJA**	Han comenzado a perderse los agregados o el ligante. En algunas áreas la superficie ha comenzado a deprimirse
			MEDIA	Se han perdido los agregados o el ligante. La textura superficial es moderadamente rugosa y ahuecada. En el caso de derramamiento de aceite, la superficie es suave y puede penetrarse con una moneda.

			ALTA	Se han perdido de forma considerable los agregados o el ligante.

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 24. Formato índice de condición del pavimento

EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO

ZONA	ABSCISA INICIAL	UNIDAD DE MUESTREO
CÓDIGO VÍA	**ABSCISA FINAL**	**ÁREA MUESTREO (m²)**
INSPECCIONADA POR		**FECHA**

ESQUEMA

No.	Daño	No.	Daño
1	Piel de cocodrilo.	11	Parcheo.
2	Exudación.	12	Pulimento de agregados.
3	Agrietamiento en bloque.	13	Huecos.
4	Abultamientos y hundimientos.	14	Cruce de vía férrea.
5	Corrugación.	15	Ahuellamiento.
6	Depresión.	16	Desplazamiento.
7	Grieta de borde.	17	Grieta parabólica (slippage)
8	Grieta de reflexión de junta.	18	Hinchamiento.
9	Desnivel carril / berma.	19	Desprendimiento de agregados.
10	Grietas long y transversal.		

Daño	Severidad	Cantidades parciales	Total	Densidad (%)	Valor deducido

Fuente: Imagen obtenida de (VARELA, 2002)

8.7 Cálculo del PCI

8.7.1 Determinación de las unidades de muestreo para evaluación

Para calcular el PCI de un pavimento, se tomarán en cuenta todas las unidades de muestreo. Sin embargo, como el trabajo de campo requiere tiempo y recursos, no siempre se puede realizar. A través de este método, lo que generalmente de requiere seleccionar un número aleatorio y representativo de unidades de muestreo con un nivel de confianza del 95%. Lo que la mayoría de

veces implica que el PCI podría variar en ± 5 en comparación con el obtenido al considerar todas las unidades de muestreo, que sería el más preciso. (Cardenas, 2014)

8.7.2 Unidades de muestra

$$i = \frac{N}{n} = 1 \longrightarrow \textit{Ecuación}$$

Donde:

N: Número total de unidades de muestreo disponible.

n: Número mínimo de unidades para evaluar.

i: Intervalo de muestreo, se redondea al número entero inferior

Durante el proceso de la inspección inicial en campo, a criterio se asume la desviación estándar del PCI de 10 para pavimento asfáltico. Es importante tener en cuenta que cuando el número de unidades de la muestra sea menor que cinco (5), todas las unidades deberán evaluarse. (VARELA, 2002)

8.7.3 Selección de las Unidades de Muestreo para Inspección:

Para las unidades de muestreo se recomienda que la primera se elija al azar y que estén igualmente espaciadas como se puede visualizar a continuación:

$$n = \frac{N\ X\ O^2}{\frac{e^2}{4}\ x\ (N-1) + \ O^2} \longrightarrow \textit{Ecuación 2}$$

N: Número total de unidades de muestreo disponible.

n: Número mínimo de unidades para evaluar.

i: Intervalo de muestreo, se redondea al número entero inferior es decir de 5.7 a 5.

El intervalo i como se muestra en la ecuación 2, da un rango donde se puede seleccionar al azar teniendo en cuenta la primera muestra.

Si tenemos que el intervalo i=4 se determina de la siguiente forma:

La primera muestra es 6, de esa manera se puede expresar como 6+3=9; 9+6=15 ; 15+6= 21…

8.7.4 Selección de Unidades de Muestreo Adicionales:

Cual unidad de muestreo que presente daños y solo sea presentada una vez tendrá que reevaluarse o inspeccionarla como una unidad adicional.

8.7.5 Evaluación de la condición

Este procedimiento no es igual para todos los casos, puede variar dependiendo de la superficie del pavimento y debe seguirse rigurosamente las especificaciones del manual de PCI (VARELA, 2002). Para esta evolución visual se debe contar con los siguientes recursos:

8.7.5.1 Recursos o equipos

- Odómetro manual para medir las longitudes y las áreas de los daños.
- Regla y una cinta métrica para establecer las profundidades de los ahuellamientos o depresiones.
- Manual de Daños del PCI con los formatos correspondientes y en cantidad suficiente para el desarrollo de la actividad.

8.7.5.2 Formato PCI

- De esta manera también se debe registrar la información obtenida en campo en el formato que se encuentra en la imagen numero 5

8.7.5.3 Seguridad

- El equipo de medición que se utilizara debe mantener todas las medidas de seguridad para su desplazamiento en la vía.

8.7.6 Cálculo para Carreteras con Capa de Rodadura Asfáltica:

8.7.6.1 Etapa 1. Cálculo de los valores deducidos

1. Se debe totalizar el número de daños, digitarlos y organizarlos en la columna del formato PCI-01. (VARELA, 2002)
2. Se debe dividir la cantidad entre la totalidad de daños entre el área total de la unidad de muestreo que vendría siendo el pavimento
3. Determinar el valor deducido.

8.7.6.2 Etapa 2

2. a. Si ninguno ó tan uno de los valores es mayor que 2, se reemplaza por el valor deducido total en lugar del mayor valor deducido, CDV, obtenido en la Etapa 4. De lo contrario, deben seguirse los pasos:

2. b. Determine el "Número Máximo Admisible de Valores Deducidos" (m), utilizando la Ecuación 3:

$$mi = 1.00 + \frac{9}{98}(100 - HDV_1 \longrightarrow \textbf{\textit{Ecuación 3}}$$

Donde:

- mi: Número máximo admisible de "valores deducidos", incluyendo fracción, para la unidad de muestreo i.
- HDVi: El mayor valor deducido individual para la unidad de muestreo i.

8.7.7 Cálculo del PCI de una sección de pavimento.

Una sección de pavimento se divide en varias unidades, si estas unidades de muestreo son inventariadas, el PCI de esta sección será el promedio para todos los PCI.

$$PCI_S \frac{[(N-A)X\ PCI_{R]+(A\ X\ PCI_A)}}{N} \longrightarrow \textit{Ecuación 4}$$

Donde:

PCIS: PCI de la sección del pavimento.

PCIR: PCI promedio de las unidades de muestreo aleatorias o representativas.

PCIA: PCI promedio de las unidades de muestreo adicionales.

N: Número total de unidades de muestreo en la sección.

A: Número adicional de unidades de muestreo inspeccionadas.

9 MARCO LEGAL

El tramo de la Carrera 64 forma parte de la red vial urbana, construida con pavimentos flexibles diseñados para soportar el tránsito vehicular típico de la zona, pero con el tiempo, el incremento en el flujo de vehículos, incluyendo transporte de carga pesada, ha provocado un desgaste progresivo en el pavimento, manifestado en fisuras, abultamientos, desprendimientos y otros tipos de patologías. Esta situación evidencia la importancia de contar con evaluaciones periódicas que permitan identificar de manera temprana los daños y planificar intervenciones oportunas.

Desde el marco legal y técnico, la Norma ASTM D6433 establece los lineamientos para la evaluación visual de pavimentos mediante el Pavement Condition Index (PCI), definiendo criterios de identificación, severidad y cálculo del índice. Complementariamente, el Manual de Pavimentos Flexibles del INVIAS regula los procedimientos de diseño, construcción, mantenimiento y rehabilitación de pavimentos en Colombia, mientras que las normas ASTM de caracterización de suelos (D2487, D4318, D1557) permiten evaluar la subrasante, factor clave en el comportamiento estructural del pavimento. Finalmente, las regulaciones de tránsito y cargas vehiculares establecen los límites operativos que influyen directamente en la durabilidad del pavimento, integrando así criterios técnicos, normativos y de gestión vial en la evaluación del estado de la vía.

10 METODOLOGIA

10.1 Enfoque del diseño metodológico

El presente documento está enfocado en un estudio del cual esta principalmente estructurado bajo un enfoque mixto, debido a que integra herramientas cuantitativas y cualitativas. Principalmente el enfoque se emplea directamente en la medición, y estudio de dimensiones, áreas deterioradas y niveles de severidad de las diferentes patologías que posee el pavimento. Por otro lado, en cualitativo se aplica gracias a la inspección visual, encaminado más hacia un análisis minucioso del estado actual del pavimento y la interpretación de información. Este trabajo va enfocado principalmente a evaluar de manera visual el estado actual y superficial que posee la estructura, implementando un método o herramienta que hoy en día ha facilitado la obtención de los datos. Este método se conoce abreviadamente como el método el PCI o (Paviment Condition Index) en español (Índice de condición del pavimento).

10.2 Tipo de investigación

Este proyecto busca implementar un tipo de investigación aplicada descriptiva y documental, esto se debe a que, mediante la inspección visual del pavimento, se recolectaran de manera organizada datos actuales directamente de la vía, los cuales no se van a manipular, esto con el fin de proponer más adelante diferentes alternativas.

10.3 Técnicas de recolección de datos

Las técnicas de recolección de datos empleadas para este proyecto fueron las siguientes:

- ✓ Inspección visual en campo de las diferentes fallas del pavimento.
- ✓ Levantamiento de información con ayuda de un registro fotográfico y referenciado.

- ✓ Medición con herramientas manuales de las patologías, como es el largo, ancho, área y en algunas patologías profundidad.
- ✓ Revisión de guías técnicas, estudios, informes y normas manuales (INVIAS)

10.4 Técnicas de análisis

- ✓ Clasificación de las patologías con ayuda de un formato de clasificación de patologías.
- ✓ Análisis de las posibles causas del deterioro del pavimento.
- ✓ Tener en cuenta los criterios técnicos de las diferentes normativas aplicadas.

El trabajo se estructura bajo diferentes fases metodológicas, asociadas al cumplimiento puntual de los objetivos establecidos y teniendo en cuenta el alcance del proyecto, estas fases se van a dividir en 4.

10.4.1 Fase 1.

Esta fase corresponde a la recolección de información teórica, geográfica, normativa y antecedentes del proyecto, es fundamental para conocer y entender la magnitud y dificultad del estudio y tener las bases sólidas para desarrollarlo.

10.4.2 Fase 1.

Esta fase corresponde a la inspección visual del pavimento, en la cual se va a realizar una visita técnica, en la cual se va a realizar el levantamiento en campo de toda la información requerida para llevar a cabo el desarrollo del trabajo.

10.4.3 Fase 3.

En esta fase se realiza un análisis de las diferentes patologías y fallas encontradas en el pavimento, con el fin de encontrar las posibles causas, con apoyos de estudios de tránsitos.

10.4.4 Fase 4.

Por último, en la fase cuatro se van a dar recomendaciones de mitigación de estos daños, junto con sus posibles soluciones.

11 Diseño metodológico paso a paso.

11.1 Área de estudio

El área de estudio para el presente trabajo es el tramo vial de Santa María, ubicado en el sureste del casco urbano del municipio de Fusagasugá en los barrios Ciudad Eben-ezer y Villa Celeste. El corredor vial que se va a estudiar cuenta con una longitud de 510 metros, debido a las condiciones que posee actualmente este tramo se requiere encontrar e implementar soluciones que se adapten a la necesidad del entorno urbano, permitiendo la transitabilidad, conectividad y comodidad de las personas que transitan frecuentemente esta zona.

Ilustración 25. Vista en planta de la vía



Fuente: Elaboración propia

Este tramo conecta diferentes zonas residenciales y comerciales de los barrios Ciudad Ebenezer y Villa Celeste. La vía se caracteriza por un flujo mixto de tránsito local y de paso, con intersecciones relevantes que facilitan la conexión hacia la Calle 22 y vías arterias principales.

En la ilustración 26 se puede observar una ortofoto tomada con un drone, la cual sirve como herramienta para visualizar de manera clara la vista en planta de la vía.

Ilustración 26.Vista de cerca del tramo a estudiar



Ilustración 27.Registro fotográfico del sitio

RECONOCIMIENTO DEL LUGAR













Fuente: Elaboración propia

En el cuadro anterior se puede observar un registro fotográfico realizado el día 24 de Julio de 2025, ese nos desplazamos hasta el municipio de Fusagasugá para realizar la primera visita técnica con el fin de reconocer el área a estudiar. Se pudo visualizar que Santa María es una zona con un tráfico de alta relevancia y factores ambientales bastantes notorios, la zona carece de un sistema longitudinal robusto o lo que se conoce como "cunetas", lo que favorece al estancamiento de aguas. Se logró evidenciar que la escorrentía y el tráfico pesado son los mayores influyentes al deterioro del pavimento existente. Con este componente se dio inicio a la investigación.

11.2 Muestreo y unidades de muestra

A partir de la visita técnica se divide la vía en secciones o tramos, para el método PCI se establecen tramos de 30 metros lineales, de acuerdo con lo establecido en la guía (VARELA, 2002), cabe destacar que para esta vía se analizaron cuatro tramos, ya que en la mayoría de la vía se encontraron tramos sin pavimentar y este método es aplicable únicamente para una vía pavimentada.

Se establecieron de manera visual los tramos a analizar, con ayuda de los recursos mencionados más adelante y se delimitaron las unidades de muestra cada 30 metros, a continuación, se muestra una tabla donde se detalla el numero de unidades de muestran que posee cada tramo los cuales se mostraran en diferentes colores.

11.2.1 Cálculo de unidades de muestra según la norma ASTM D 6433

Ecuación 5. Cálculo de unidades de muestra tramo 1

$$i = \frac{360}{30} = 12$$

Ecuación 6. Calculo unidades de muestra tramo 2

$$i = \frac{150}{30} = 5$$

Ilustración 28. Unidades de muestra

TRAMOS	LONGITUD (m)	MUESTRAS
1	360	12
2	150	5
TOTAL	**510**	**17**

Fuente: Elaboración propia

Se determina que la longitud total de la vía a estudiar corresponde a un tramo de 510 metros, es importante resaltar que dentro de este tramo hay una sección que no posee carpeta asfáltica, Según la norma ASTM D 6433, la metodología del índice de condición de pavimento (PCI) solo se aplica a pavimentos con carpeta asfáltica, razón por la cual la sección será excluida del estudio.

El tramo a estudiar será dividido en dos secciones que cuentan con carpeta asfáltica, la primera corresponde a una longitud total de 360 metros y la segunda a 150 metros, el tramo excluido cuenta con una longitud de 112 metros. Para el estudio de las patologías se cuenta con un total de 17 unidades de muestreo

A partir de esta información se va a realizar de inspección visual, caracterización de las distintas patologías existentes en el pavimento y toma de información.

11.3 Evaluación visual de las patologías

La recolección de información se realizó con base a la metodología del índice de condición del pavimento (PCI), mediante una inspección visual del pavimento tramo, con ayuda de herramientas de medición e información, permitiendo registrar satisfactoriamente el registro de daños, el nivel de severidad y las dimensiones.

Equipos utilizados en campo:

- Cinta métrica (30 m)
- Flexómetro
- Tiza para señalización
- Guía PCI
- Formato de registro de daños

11.3.1 Tramo 1 K0+000 al K0+360 m

Se toma la abscisa de inicio (K0+000) en la carrera 64 21ª-39 con coordenadas N 4° 19’ 37”, W 74° 24’ 2” y termina en el (K0+360) con coordenadas N 4° 19’ 44”, W 74° 23’ 58”. Esta evaluación se realiza por medio de un registro fotográfico en el cual se puede evidenciar el mal estado de la vía.

Con el formato que se muestra en la ilustración número, se realiza un levantamiento de daños en campo analizando las 19 patologías que establece el manual de PCI (VARELA, 2002) donde se registran y el número de veces que se repiten en a lo largo del tramo y se clasificaron de acuerdo al nivel de severidad.

Ilustración 29. Formato de clasificación de los pavimentos

FECHA			INDICE DE CONDICIÓN DE PCI CLASIFICACIÓN DE DAÑOS EXPLORACIÓN VISUAL DEL PAVIMENTO						
ZONA									
INSPECCIONADO POR			ABCISA INICIAL			ANCHO CARRIL			
			ABCISA FINAL						
UND	PR INICIAL	PR FINAL	DAÑO N°	SEVERIDAD	LARGO	ANCHO	AREA (m2)		
								N°	TIPO DE DAÑO
								1	
								2	
								3	
								4	
								5	
								6	
								7	
								8	
								9	
								10	
								11	
								12	
								13	
								14	
								15	
								16	
								17	
								18	
								19	

Fuente: Elaboración propia

11.4 Criterios de clasificación de patologías

La clasificación de las patologías se realiza mediante un análisis e inspección visual en campo, teniendo en cuenta los lineamientos establecidos en las metodologías de Índice de condición de pavimento PCI establecida por la norma ASTM D 6433 y estudiando la guía (VARELA, 2002)

Ilustración 30. Clasificación patologías TRAMO 1

CLASIFICACIÓN	
	
TIPO DE PATOLOGÍA: Piel de cocodrilo	**TIPO DE PATOLOGÍA:**

	
TIPO DE PATOLOGÍA: Desprendimiento de agregados	**TIPO DE PATOLOGÍA:** Abultamiento y hundimiento

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 31. Clasificación tramo 1

CLASIFICACIÓN	
	
TIPO DE PATOLOGÍA: Abultamiento y hundimiento	**TIPO DE PATOLOGÍA:** Grietas longitudinales y transversales

	
TIPO DE PATOLOGÍA: Abultamiento y hundimiento	**TIPO DE PATOLOGÍA:** Baches

Fuente : Elaboración propia

Tabla 4. Tabla 4 Resume patologías tramo 1.

PATOLOGÍA	NIVEL DE SEVERIDAD	N° DE DAÑO	OBSERBVACIONES
Piel de cocodrilo	**Alta (H)**	**1**	Indica falla estructural o fatiga del pavimento
Abultamientos y hundimientos	**Media (M)**	**4**	Falla en el terreno o en la subrasante.
Grietas longitudinales y transversales	**Alta (H)**	**10**	Fatiga del pavimento ocasionada por factores de transito
Baches	**Media (M)**	**13**	Infiltración de agua
Desprendimiento de agregados	**Alta (H)**	**19**	Desgaste de la estructura por fatiga

Fuente: Elaboración propia

Durante la inspección del tramo 1, es notable una alta concentración de patologías que van de severidad media a alta, estos deteriores según un análisis poseen un deterioro estructural bastante avanzado. A esto se le suma unas cantidades significativas de grietas longitudinales y transversales, lo cual es posible que se deba a factores de carga de tránsito, falta de mantenimiento o deficiencias en el diseño estructural.

11.4.1 Tramo excluido 1

Durante la delimitación del área de estudio se encontraron tramos considerables sin carpeta asfáltica o más conocidos como destapadas, estos tramos se clasificaron como tramos no pavimentados. Estos tramos no se tuvieron en cuenta ya que la metodología PCI es solo aplicable para secciones con carpeta asfáltica, por lo que dichos tramos fueron excluidos. Los tramos excluidos no serán marcados con ningún tipo de color.

Ilustración 32. Tramos excluidos K0+360 a K0+540



Fuente Elaboración propia

Ilustración 34. Vista en planta del tramo excluido 1



Ilustración 33. Vista de perfil del tramo excluido 1



Fuente: Elaboración propia

11.4.2 Tramo 2 K0+540 a K0+720 m

Se toma la abscisa de inicio en el K0+540 en la carrera 64 con coordenadas N 4° 14’ 44”, W 74° 23’ 58” y termina en el K0+720 m con coordenadas N 4° 19’ 55”, W 74° 23’ 53”. Se realiza le evaluación mediante un registro fotográfico y clasificando los tipos de patologías existentes en el tramo.

Tabla 5. Clasificación TRAMO 2

CLASIFICACIÓN DE LAS PATOLOGÍAS	
	
TIPO DE PATOLOGÍA: Abultamiento y hundimiento	**TIPO DE PATOLOGÍA:** Grietas longitudinales y transversales
	
TIPO DE PATOLOGÍA: Desprendimiento de agregados	**TIPO DE PATOLOGÍA:** Desprendimiento

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Resumen patologías tramo

PATOLOGÍA	NIVEL DE SEVERIDAD	N° DE DAÑO	OBSERBVACIONES
Grietas longitudinales y transversales	**BAJA (L)**	**1**	Indica falla estructural o fatiga del pavimento
Pulimiento de agregados	**Media (M)**	**10**	Falla en el terreno o en la subrasante.
Desprendimiento	**Alta (H)**	**19**	Fatiga del pavimento ocasionada por factores de transito

Fuente: Elaboración propia

Durante la inspección visual y fotográfica se puede evidenciar que el tramo posee unas condiciones favorables, en el cual no se observa un nivel de deterioro alto, por lo contrario, esta en muy buenas condiciones, se observaron muy pocas patologías a las que se le pueden hacer un mejoramiento.

11.5 Calculo del Índice de condición del pavimento PCI

Con base a la información recolectada durante la inspección en campo, en un formato se clasificaron los diferentes tipos de patologías con sus respectivas dimensiones para cada tramo, es importante resaltar que no se tomó el tramo completo, como se mencionó anteriormente, este se divide en unidades de muestreo y se procede al cálculo del PCI conforme a la normativa vigente ASTM D 6433 y teniendo en cuenta los lineamientos técnicos que indica la guía (VARELA, 2002), con el fin de determinar el estado general que posee el pavimento de manera cuantitativa.

Se recolectaron las diferentes patologías en un formato especifico de clasificación. De esta forma se realiza un análisis de las fallas existentes en el pavimento flexible por unidad de muestreo.

Ilustración 35 Formato de clasificación de patologías.

FECHA				INDICE DE CONDICIÓN DE PCI CLASIFICACIÓN DE DAÑOS EXPLORACIÓN VISUAL DEL PAVIMENTO						
26/10/2025										
ZONA										
Santa María, Fusagasugá				ABCISA INICIAL						
INSPECCIONADO POR				K0+030						
Ing.Yenire Aguilar Castro				ABCISA FINAL				ANCHO CALZADA		
				K0+360				6.6 m		
UND	PR INICIAL	PR FINAL	DAÑO N°	SEVERIDAD	LARGO (m)	ANCHO (m)	PROFUN (m=	AREA (m2)	N°	TIPO DE DAÑO
1	K0+000	K0+030	1	L	3	4.2		12.60	1	Piel de cocodrilo
1	K0+000	K0+030	1	H	7	6.5		45.50	2	Exudación
1	K0+000	K0+030	10	M	2.4	1.7		4.08	3	Agrietamiento en bloque
1	K0+000	K0+030	4	M	5	2.8	0.3	4.20	4	Abultamiento y hundimientos
1	K0+000	K0+030	1	H	8	5.5		44.00	5	Corrugación
1	K0+000	K0+030	13	H	2.4	1.5		3.60	6	Depresión
1	K0+000	K0+030	4	L	7	3.3	0.3	6.93	7	Grieta de borde
1	K0+000	K0+030	10	M	7	1.3		9.10	8	Grieta de reflexión de junta
1	K0+000	K0+030	13	H	1.4	0.9		1.26	9	Desnivel carril/ Berma
1	K0+000	K0+030	10	L	1.3	0.4		0.52	10	Grietas longitudinales y transversales
1	K0+000	K0+030	19	L	1.4	3		4.20	11	Parches
1	K0+000	K0+030	13	M	1.02	0.5		0.51	12	Pulimiento de agregados
1	K0+000	K0+030	10	M	10	1.2		12.00	13	Baches
1	K0+000	K0+030	19	M	8	5.6	0.5	22.40	14	Cruce de la vía férrea
1	K0+000	K0+030	4	L	2.7	2.5	0.2	1.35	15	Ahuellamiento
1	K0+000	K0+030	10	L	0.9	0.7		0.63	16	Desplazamiento
1	K0+000	K0+030	19	L	6	4.2	0.2	5.04	17	Grietas parábolas
1	K0+000	K0+030	1	H	6.7	5.5	0.12	36.85	18	Hinchamiento
1	K0+000	K0+030	1	M	5.6	3.4		19.04	19	Desprendimiento

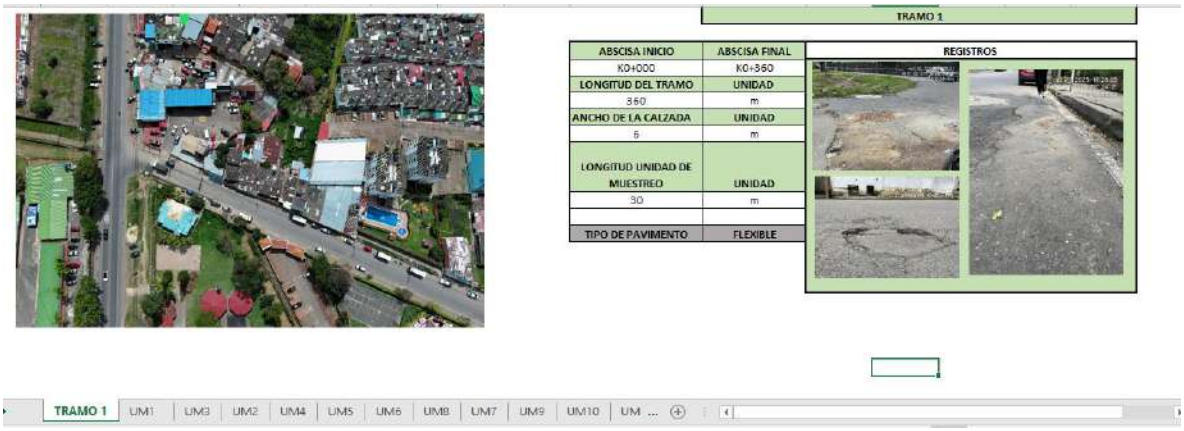
1	K0+000	K0+030	19	H	8.8	5.72	0.5	50.34	N°	TIPO DE DAÑO
1	K0+000	K0+030	4	H	6.3	4.1	0.3	25.83	1	Piel de cocodrilo
2	K0+030	K0+060	10	M	7	0.6		4.20	2	Exudación
2	K0+030	K0+060	19	M	5	0.5		2.50	3	Agrietamiento en bloque
2	K0+030	K0+060	19	H	7	0.8		5.60	4	Abultamiento y hundimientos
3	K0+060	K0+090	13	H	0.6	0.3		0.18	5	Corrugación
3	K0+060	K0+090	1	M	1.2	0.7		0.84	6	Depresión
3	K0+060	K0+090	1	M	1.4	0.8		1.12	7	Grieta de borde
3	K0+060	K0+090	19	M	0.5	0.3	0.3	0.15	8	Grieta de reflexión de junta
4	K0+090	K0+120	1	L	0.8	0.7	0.4	0.22	9	Desnivel carril/ Berma
4	K0+120	K0+150	19	L	1.5	1.3	0.4	0.78	10	Grietas longitudinales y transversales
5	K0+150	K0+180	1	M	3.5	2.5		8.75	11	Parches
5	K0+150	K0+180	1	L	0.8	0.9		0.72	12	Pulimiento de agregados
5	K0+150	K0+180	4	L	1.6	0.5	0.1	0.08	13	Baches
5	K0+150	K0+180	4	M	1.2	1.6	0.3	0.58	14	Cruce de la vía férrea
6	K0+150	K0+180	1	H	4.3	2.5		10.75	15	Ahuellamiento
6	K0+180	K0+200	1	M	3	0.4		1.20	16	Desplazamiento
6	K0+180	K0+200	10	M	4	2.3	0.7	9.20	17	Grietas parábolas
7	K0+200	K0+230	1	M	1.4	2.4		3.36	18	Hinchamiento
8	K0+230	K0+260	13	M	5.5	2.9		15.95	19	Desprendimiento

9	K0+260	K0+290	1	H	1.2	3.2		3.84	N°	TIPO DE DAÑO
10	K0+260	K0+290	1	L	3.5	1.2		4.20	1	Piel de cocodrilo
10	K0+260	K0+290	10	M	3.4	2.7	0.5	9.18	2	Exudación
10	K0+290	K0+320	10	M	5	4.2	0.3	21.00	3	Agrietamiento en bloque
10	K0+290	K0+320	4	M	3.5	3.2	0.3	3.36	4	Abultamiento y hundimientos
11	K0+320	K0+350	10	L	4	2		8.00	5	Corrugación
12	K0+320	K0+350	19	H	6	3.2	0.4	7.68	6	Depresión
12	K0+320	K0+350	19	H	7	3.5	0.2	4.90	7	Grieta de borde
12	K0+350	K0+360	1	H	5.5	4.7		25.85	8	Grieta de reflexión de junta
12	K0+350	K0+360	19	H	6	5.7	0.2	6.84	9	Desnivel carril/ Berma
12	K0+350	K0+360	10	H	2.5	1.8	0.34	4.50	10	Grietas longitudinales y transversales
									11	Parches
									12	Pulimiento de agregados
									13	Baches
									14	Cruce de la vía férrea
									15	Ahuellamiento
									16	Desplazamiento
									17	Grietas parábolas
									18	Hinchamiento
									19	Desprendimiento

Fuente: Elaboración propia

Con ayuda de la herramienta ofimática de Excel, se elaboró una plantilla en Excel con la clasificación de las 19 patologías que existen en el pavimento asfaltico y formulando dicha herramienta con las fórmulas que se encuentran en la guía (VARELA, 2002).

Ilustración 38. Calculo PCI Tramo 1



Fuente: Elaboración propia

Para el primer tramo tenemos los siguientes datos:

Tabla 7. Datos TRAMO1

ABSCISA INICIO	ABSCISA FINAL
K0+000	K0+360
LONGITUD DEL TRAMO	**UNIDAD**
360	m
ANCHO DE LA CALZADA	**UNIDAD**
6	m
LONGITUD UNIDAD DE MUESTREO	**UNIDAD**
30	m
TIPO DE PAVIMENTO	**FLEXIBLE**

Tabla 8. Plantilla PCI

LUGAR: Sector Santa María-Fusagasugá Cundinamarca						**SECCIÓN:** K0+030 a K0+360 Km					
FECHA: 26/1072025						**UNIDAD DE MUESTREO :** UM1					
REALIZADO POR : Yenire Aguilar Castro						**AREA DE LA UNIDAD DE MUESTREO:**		198			
TIPOS DE FALLAS										**DIAGRAMA**	
1.Piel de cocodrilo	m2	8.Grieta de reflexión de junta		m		14. Cruce de vía férrea		m2		6,6	
2.Exudación	m3	9.Desnivel carril/ Berma		m		15.Ahullamiento		m2			
3. Agrietamiento en bloque	m4	10. Grietas longitudinales y transversales		m		16.Desplazamiento		m2			
4. Abultamientos y hundimientos	m5	11. Parches		m2		17.Grietas parabólicas		m2			
5.Corrugación	m6	12. Pulimiento de agregados		m2		18.Hinchamiento		m2			
6. Depresión	m7	13.Baches		N°		19. Desprendimiento de agregados		m2			
7. Grieta de borde	m8										30
NIVEL DE SEVERIDAD			**UNIDADES DE MUESTRA**			**INTERVA. DE UNI DE M.**		**NUMERO DE MAXIMO DE VD**			
LOW	BAJA	L	$n = \frac{N\,X\,O^2}{\frac{e^2}{4}\,x\,(N-1)+O^2}$			$i = \frac{N}{n} = 1$		$m1 = 1.00 + \frac{9}{98}(100 - HDV_1$			
MEDIUM	MEDIA	M									
high	ALTA	H									

Condición del pavimento	PCI
Buena	85-100
Satisfactoria	70-85
Adecuada	55-70
Pobre	40-55
Muy pobre	25-40
Grave	10-25
Fallida	0-10

TIPOS DE FALLAS EXISTENTES											
1		**4**		**10**		**13**		**13**			
Cantidad	**Severidad**	**Cantidad**	**Severidad**	**Cantidad**	**Severidad**	**Cantidad**	**Severidad**	**Cantidad**	**Severidad**	**Cantidad**	**Severidad**
12.6	B	6.93	L	0.63	L	0.51	M	5.04	L		
19.04	M	1.35	L	0.52	L	3.6	H	4.2	L		
36.85	H	4.2	M	4.08	M	1.26	H	22.4	M		
44	H	25.83	H	9.1	M			50.34	H		
45.5	H			12	H						

Fuente: Elaboración propia

A partir de estos datos se empieza hacer el calculo del índice de condición del pavimento.

En la plantilla se pueden encontrar los siguientes datos principales:

- Lugar o área de estudio
- Fecha
- Nombre y apellido de quien realizo el estudio
- Sección o abscisa
- La unidad de muestreo
- Área de la unidad de muestreo

Dentro de la plantilla también se encuentran la clasificación de las 19 patologías que se puede presentar en el pavimento flexible y los niveles de severidad.

La plantilla corresponde a una unidad de muestreo representativa correspondiente al tramo 1 , en la cual se clasificaron y ordenaron las diferentes fallas encontradas en el pavimento por medio de la inspección visual y se clasificaron según su nivel de severidad.

Ilustración 42. Sumatorias patologías

Muy pobre	25-40											
Grave	10-25	44	H	25.83	H	9.1	M			50.34	H	
Fallida	0-10	45.5	H			12	H					
TOTAL	BAJA (L)	12.6		8.28		1.15				9.24		
	MEDIA (M)	19.04		4.2		13.18		0.51		22.4		
	ALTA (H)	126.35		25.83		12		4.86		50.34		

CALCULO DEL PCI

Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad (2%)	Valor reducido
1	L	12.6	6.4%	28
1	B	19.04	9.6%	46
1	H	126.35	63.8%	82
4	L	8.28	4.2%	9
4	B	4.2	2.1%	19
4	H	25.83	13.0%	85
10	L	1.15	0.6%	0
10	M	13.18	6.7%	5
10	H	12	6.1%	3
13	M	0.51	0.3%	20
13	H	4.86	2.5%	69
19	L	9.24	4.7%	4
19	M	22.4	11.3%	8
19	H	50.34	25.4%	17

Número de valores deducidos mayor 2 (q)

Valor deducido mas alto= 85

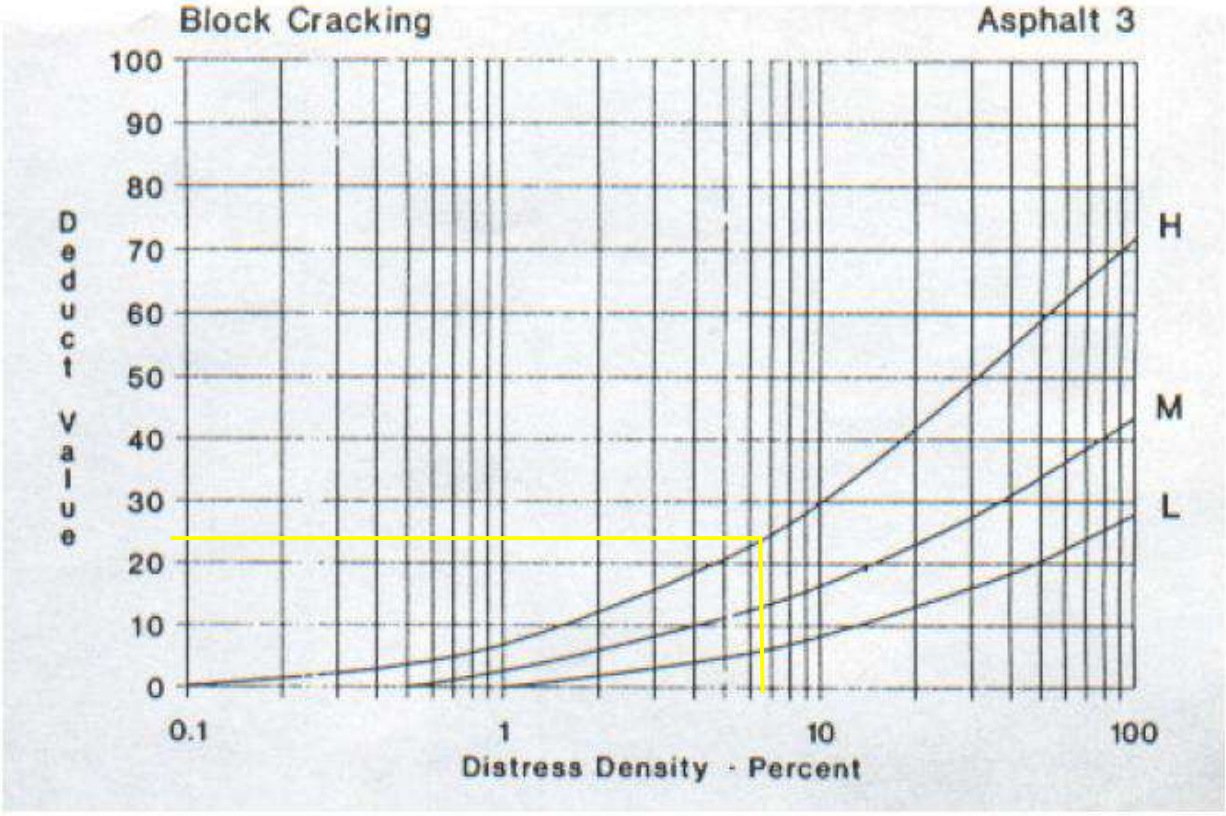
Número máximo de VD (m)=3.8

En el cuadro subrayado se encuentran unas series de valores, esos valores son las sumatorias de las áreas de las diferentes fallan, estas fallas se agrupan por tipo y se suman por nivel de severidad, es decir se realiza la sumatoria de todas la nivel bajo, medio y alto. De esta manera se obtiene un promedio y sumatoria independiente de estas fallas, información necesaria para el cálculo del PCI.

En la siguiente cuadricula se organizan nuevamente las patologías de acuerdo a su nivel de severidad y se le agrega el valor total de la suma independiente. La densidad se haya dividiendo el valor total de la falla entre el área de la unidad de muestreo y se multiplica por 100 para que nos dé un valor porcentual.

El siguiente valor que se debe hallar, corresponde al valor deducido, para este valor es necesario leer y extraer unas graficas de curvas propuestas en la guía de índice de condición del pavimento PCI (VARELA, 2002).

Ilustración 44. Curvas piel de cocodrilo



Fuente: Grafica extraída del manual de PCI (VARELA, 2002)

Ilustración 47. Valor deducido

CALCULO DEL PCI					
Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad (2%)	Valor reducido	
1	L	12.6	6.4%	24	Número de valores deducidos mayor 2 (q)
1	B	19.04	9.6%	46	
1	H	126.35	63.8%	82	
4	L	8.28	4.2%	9	
4	B	4.2	2.1%	19	
4	H	25.83	13.0%	85	Valor deducido mas alto= 85
10	L	1.15	0.6%	0	
10	M	13.18	6.7%	5	
10	H	12	6.1%	3	Número máximo de VD (m)=3.8
13	M	0.51	0.3%	20	
13	H	4.86	2.5%	69	
19	L	9.24	4.7%	4	
19	M	22.4	11.3%	8	
19	H	50.34	25.4%	17	

Fuente: Elaboración propia

Teniendo calculada la densidad (%), se procede hallar el valor deducido con ayuda de la curva, la gráfica que se presenta en la ilustración número 38, corresponde a la patología piel de cocodrilo con numero de da 1.

Se ubica el porcentaje de densidad en la parte inferior de la curva y el nivel de severidad de la patología, en este caso se tiene una densidad del 6.4 por ciento y un nivel de severidad alto (H), arrojando un valor deducido de 24 aproximadamente, este paso se realiza para la mayoría de las patologías que se encuentran en la guía (VARELA, 2002).

Una vez obtenido el valor deducido, se ordena nuevamente en otra tabla, se extraen cuatro valores y se orden de mayor a menor, es decir el valor mas alto, el que le sigue y así con los siguientes valores. Entra un parámetro que es el valor de q=2, este valor corresponde al numero individual deducidos mayores a 2 y es un parámetro dado por la metodología del PCI ASTM 6433, para filtrar las fallas que afectan realmente la condición del pavimento.

Luego de organizar los valores deducidos el siguiente paso es hallar el VDT, este valor se halla realizando la sumatoria de los valores deducidos como se observa en la ilustración numero

Ilustración 50. Calculo VDT

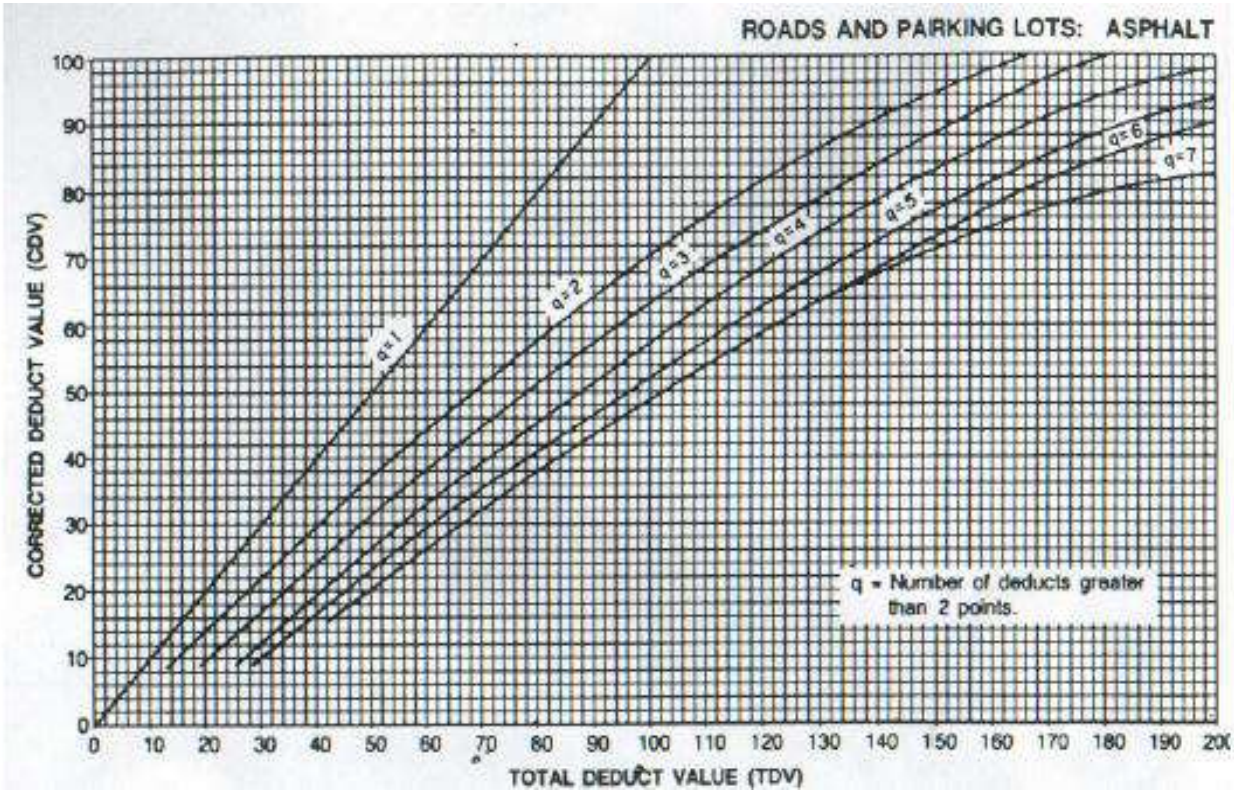
ISCARV =SUMA(B47:E47)

10		H		12		6.1%		3		Número máximo de VD (m)=3.8				
13		M		0.51		0.3%		20						
13		H		4.86		2.5%		69						
19		L		9.24		4.7%		4						
19		M		22.4		11.3%		8						
19		H		50.34		25.4%		17						
NRO		VALORES DEDUCIDOS						VDT		q		VDC		
1	85	82	69	36.8						4		100		
2	85	82	69	2				238		3		100		
3	85	82	2	2				171		2		90		
4	85	2	2	2				91		1		90		
										MAX VDC		100		

Fuente: Elaboración propia

El siguiente paso es hallar el valor de VDC, una vez determinado el valor de q se procede al cálculo del valor deducido corregido (VDC), mediante el uso de una curva propuesta en el manual del índice de condición del pavimento (VARELA, 2002), para ello se grafica la suma de los valores deducidos y se realiza la intersección con los valores dados por q, como se puede observar en la ilustración numero 41

Ilustración 53. Curva de valor deducido corregido VDC



Fuente: Elaboración propia

En caso del primer tramo no fue posible hallar el valor deducido corregido por medio de la curva ya que el pavimento presenta una alta condición de deuterio, por lo que la sumatoria supera el limite establecido y conforme a la metodología se adopta un valor deducido corregido que es 100, lo que conduce un PCI de 0 y una condición de falla del pavimento.

Ilustración 56. Calculo PCI

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTO (PCI)	$PCI = 100 - MAX.VDC$	
	PCI	0
CONDICION DEL PAVIMENTO	FALLADO	

Fuente: Elaboración propia

Y por último se determina el índice de PCI,el cual se calcula restando 100 al máximo valor deducido corregido, obtenido por la unidad de muestreo. Este efecto permite evaluar las patologías acumuladas en una misma unidad de muestreo en un valor único, para determinar las condiciones finales del pavimento. En este caso un pavimento fallado en altas condiciones de deterioro.

La metodología aplicada permitió caracterizar el nivel de deterioro del pavimento a lo largo de los dos tramos evaluados, permitiendo identificar las distintas patologías y su severidad, sintetizando y haciendo énfasis en el índice de condición del pavimento (PCI). Este proceso garantiza una evaluación mas asertiva para futuras soluciones acordes a la condición encontrada

12 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ilustración 59.Clasificacion de daños Tramo 2

FECHA			INDICE DE CONDICIÓN DE PCI					
26/10/2025			CLASIFICACIÓN DE DAÑOS					
			EXPLORACIÓN VISUAL DEL PAVIMENTO					
ZONA								
Santa María, Fusagasugá			ABCISA INICIAL					
INSPECCIONADO POR			K0+540					
Ing.Yenire Aguilar Castro			ABCISA FINAL			ANCHO CALZADA		
			K0+720			6.6 m		



UND	PR INICIAL	PR FINAL	DAÑO N°	SEVERIDAD	LARGO (m)	ANCHO (m)	PROFUN (m=	AREA (m2)
1	K0+540	K0+570	19	L	2.3	1.4	0.2	0.644
1	K0+540	K0+570	19	L	3.5	4.5	0.8	12.6
2	K0+570	K0+600	19	M	5	4.5	0.1	2.25
2	K0+570	K0+600	10	L	6.6	3.4		22.44
2	K0+570	K0+600	10	L	1.5	1.7		2.55
3	K0+600	K0+630	10	L	3.6	1.4		5.04
4	K0+630	K0+660	12	M	5.5	1.74	0.5	4.79
5	K0+660	K0+690	12	M	3.8	4.2		15.96
6	K0+690	K0+720	12	M	3	3.93		11.79

N°	TIPO DE DAÑO
1	Piel de cocodrilo
2	Exudación
3	Agrietamiento en bloque
4	Abultamiento y hundimientos
5	Corrugación
6	Depresión
7	Grieta de borde
8	Grieta de reflexión de junta
9	Desnivel carril/ Berma
10	Grietas longitudinales y transversales
11	Parches
12	Pulimiento de agregados
13	Baches
14	Cruce de la vía férrea
15	Ahuellamiento
16	Desplazamiento
17	Grietas parábolas
18	Hinchamiento
19	Desprendimiento

Fuente: Elaboración propia

Durante la inspección visual del pavimento 2, se evidencia baja presencia de patologías, estas patologías se presentan con niveles de severidad bajos a medios, se puede observar una vía en buen estado y totalmente transitable, la carpeta asfáltica conserva continuidad superficial y aun adecuado comportamiento frente a las cargas progresivas de tránsito.

12.1.1 TRAMO 1

Ilustración 62. Resultados tramo 1 UM 1.

1		L		12.6		6.4%		24			
1		B		19.04		9.6%		46			
1		H		126.35		63.8%		82			
4		L		8.28		4.2%		9			
4		B		4.2		2.1%		19			
4		H		25.83		13.0%		85			
10		L		1.15		0.6%		0			
10		M		13.18		6.7%		5			
10		H		12		6.1%		3			
13		M		0.51		0.3%		20			
13		H		4.86		2.5%		69			
19		L		9.24		4.7%		4			
19		M		22.4		11.3%		8			
19		H		50.34		25.4%		17			

Número de valores deducidos mayor 2 (q)

Valor deducido mas alto= 85

Número máximo de VD (m)=3.8

NRO	VALORES DEDUCIDOS							VDT	q	VDC
1	85	82	69	36.8				272.8	4	100
2	85	82	69	2				238	3	100
3	85	82	2	2				171	2	90
4	85	2	2	2				91	1	90
									MAX VDC	100

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTO (PCI)	$PCI = 100 - MAX.VDC$
	PCI: 0
CONDICION DEL PAVIMENTO	**FALLADO**

Fuente: Elaboración propia

La unidad de muestra 1 del tramo 1, presento un resultado de índice de condición del pavimento PCI de cero, con una condición de pavimento fallada, este nivel de severidad evidencia un deterioro significativo e en el pavimento los cuales son establecidos por la metodología de la normativa ASTM 6433. Este tramo presentó múltiples patologías con niveles de severidad altos, en los cuales el más común fue la piel de cocodrilo.

A simple vista se pudo observar una perdida fundamental de la capacidad del pavimento, lo que puede afectar significativamente a largo plazo y mediano plazo la seguridad de los transeúntes. En consecuencia, esta unidad de muestreo analizada requiere una reconstrucción del pavimento como medida correctiva prioritaria.

Ilustración 65. Resultados PCI UM 2 Tramo 1

CALCULO DEL PCI										
Tipo de daño		Severidad		Total		Densidad (2%)		Valor reducido	Número de valores deducidos mayor 2 (q)	
10		M		4.2		2.1%		48		
19		M		1.6		0.8%		4		
19		H		5.6		2.8%		7	Valor deducido mas alto= 85	
									Número máximo de VD (m)=3.8	
NRO		VALORES DEDUCIDOS						VDT	q	VDC
10	48	7	4					59	3	38
19	48	7	2					57	2	42
19	48	2	2					52	1	50
									MAX VDC	50
INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTO (PCI)									$PCI = 100 - MAX.VDC$	
									PCI	50
CONDICION DEL PAVIMENTO									ADECUADA	

Fuente: Elaboración propia

En la ilustración 45 se muestra el resultado del PCI y condición del pavimento para le tramo 1 , durante la inspección de esta unidad de muestreo donde se pudo evidenciar que esta sección no presentaba muchas patologías presentante, con una condición de pavimento adecuada, sin embargo en uno que otros puntos presento patologías como grietas longitudinales y transversales y también perdida de la carpeta asfáltica es lo que es conocido como desprendimiento, se recomienda para esta unidad un mantenimiento correctivo adecuado y periódicamente.

Ilustración 68. Resultados PCI UM 3 Tramo 1

CALCULO DEL PCI

Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad (2%)	Valor reducido
1	M	0.95	0.5%	15
13	M	0.80	0.4%	18
19	M	0.15	0.1%	1

Número de valores deducidos mayor 2 (q)

Valor deducido mas alto= 85

Número máximo de VD (m)=3.8

NRO		VALORES DEDUCIDOS						VDT	q	VDC
1	18	15	1					34	3	20
2	18	15	2					35	2	25
3	18	2	2					22	1	22
									MAX VDC	25

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTO (PCI)	$PCI = 100 - MAX.VDC$	
	PCI	75
CONDICION DEL PAVIMENTO	**SASTIFACTORIA**	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 71. Resultados PCI UM 4 Tramo 1

CALCULO DEL PCI

Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad (2%)	Valor reducido
4	L	1	0.5%	8

Número de valores deducidos mayor 2 (q)

Valor deducido mas alto= 85

Número máximo de VD (m)=3.8

NRO		VALORES DEDUCIDOS						VDT	q	VDC
1	8							8	1	7
									MAX VDC	7

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTO (PCI)	$PCI = 100 - MAX.VDC$	
	PCI	93
CONDICION DEL PAVIMENTO	**BUENA**	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 77. Resultados PCI UM 5 Tramo 1

CALCULO DEL PCI					
Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad (2%)	Valor reducido	
1	M	9.47	4.8%	36	Número de valores deducidos mayor 2 (q)
4	M	0.66	0.3%	0.8	Valor deducido mas alto= 85
					Número máximo de VD (m)=3.8

NRO		VALORES DEDUCIDOS						VDT	q	VDC
1	36	0.64						37	2	34
2	0.8	2						2.8	1	6
									MAX VDC	34

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTO (PCI)	$PCI = 100 - MAX.VDC$	
	PCI	66
CONDICION DEL PAVIMENTO	ADECUADA	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 74. Resultados PCI UM6 Tramo 1

CALCULO DEL PCI					
Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad (2%)	Valor reducido	
1	M	1.2	0.6%	17	Número de valores deducidos mayor 2 (q)
1	H	10.75	5.4%	54	Valor deducido mas alto= 85
10	M	9.2	4.6%	7	Número máximo de VD (m)=3.8

NRO		VALORES DEDUCIDOS						VDT	q	VDC
1	54	17	7					78	3	49
2	54	17	2					73	2	52
3	54	2	2					58	1	59
									MAX VDC	59

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTO (PCI)	$PCI = 100 - MAX.VDC$	
	PCI	41
CONDICION DEL PAVIMENTO	POBRE	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 80. Resultados PCI UM7 Tramo1

CALCULO DEL PCI					
Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad (2%)	Valor reducido	Número de valores deducidos mayor 2 (q)
1	M	3.36	1.9%	28	
					Valor deducido mas alto= 85
					Número máximo de VD (m)=3.8

NRO		VALORES DEDUCIDOS	VDT	q	VDC
1	28		28	3	
			0		
			0		
				MAX VDC	29

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTO (PCI)	$PCI = 100 - MAX.VDC$
	PCI: 71
CONDICION DEL PAVIMENTO	BUENA

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 83. Resultados PCI UM8 Tramo 1

CALCULO DEL PCI					
Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad (2%)	Valor reducido	Número de valores deducidos mayor 2 (q)
13	M	16.98	8.6%	79	
					Valor deducido mas alto= 85
					Número máximo de VD (m)=3.8

NRO		VALORES DEDUCIDOS	VDT	q	VDC
1	79		79	2	54
2	2		2	1	4
				MAX VDC	50

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTO (PCI)	$PCI = 100 - MAX.VDC$ (30)
	PCI: 50
CONDICION DEL PAVIMENTO	POBRE

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 86. Resultados PCI UM 9 Tramo1

CALCULO DEL PCI

Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad (2%)	Valor reducido
1	M	3.84	1.9%	15

Número de valores deducidos mayor 2 (q)

Valor deducido mas alto= 85

Número máximo de VD (m)=3.8

NRO		VALORES DEDUCIDOS						VDT	q	VDC
1	15	2						17	2	13
2	2	2						4	1	7
									MAX VDC	7

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTO (PCI)	$PCI = 100 - MAX.VDC$
	PCI: 93
CONDICION DEL PAVIMENTO	BUENA

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 89. Resultados PCI UM10 Tramo 1

CALCULO DEL PCI

Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad (2%)	Valor reducido
1	M	1.2	0.6%	17
1	H	10.75	5.4%	54
10	M	9.2	4.6%	7

Número de valores deducidos mayor 2 (q)

Valor deducido mas alto= 85

Número máximo de VD (m)=3.8

NRO		VALORES DEDUCIDOS						VDT	q	VDC
1	54	17	7					78	3	49
2	54	17	2					73	2	52
3	54	2	2					58	1	59
									MAX VDC	59

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTO (PCI)	$PCI = 100 - MAX.VDC$
	PCI: 41
CONDICION DEL PAVIMENTO	POBRE

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 92. Resultados PCI UM11 Tramo 1



CALCULO DEL PCI					
Tipo de daño		Severidad	Total	Densidad (2%)	Valor reducido
1		M	1.2	0.6%	17
1		H	10.75	5.4%	54
10		M	9.2	4.6%	7

Número de valores deducidos mayor 2 (q)

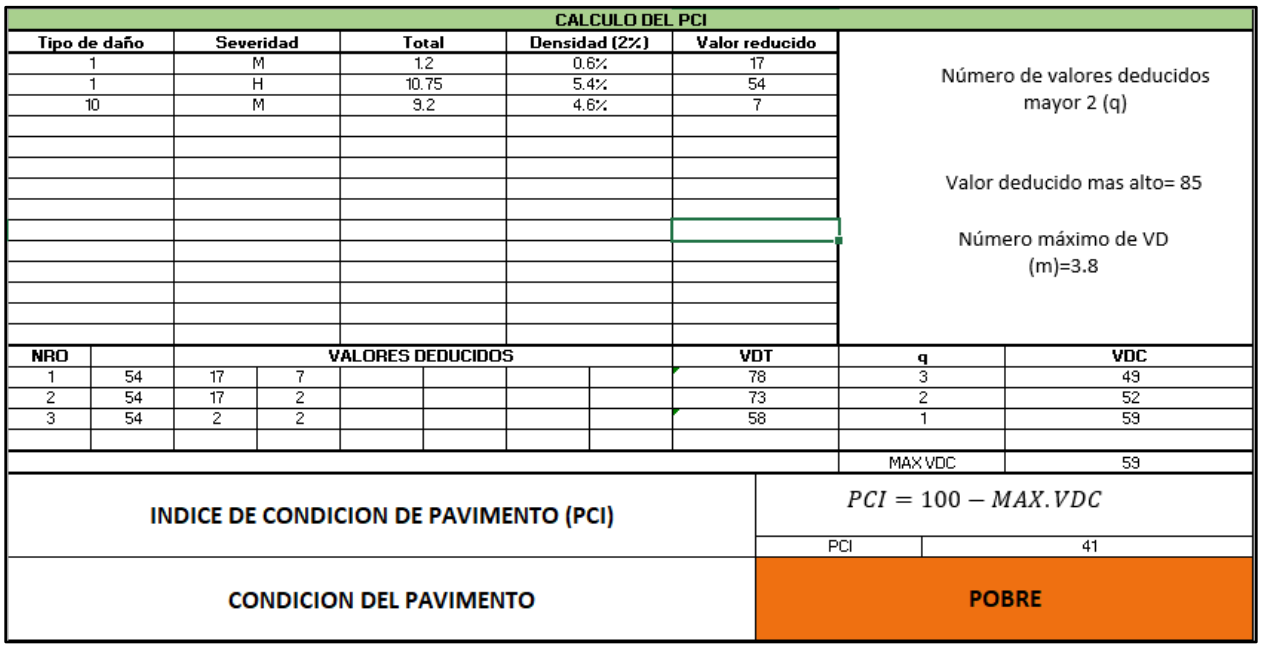
Valor deducido mas alto= 85

Número máximo de VD (m)=3.8

NRO		VALORES DEDUCIDOS						VDT	q	VDC
1	54	17	7					78	3	49
2	54	17	2					73	2	52
3	54	2	2					58	1	59
									MAX VDC	59

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTO (PCI)	$PCI = 100 - MAX.VDC$
	PCI: 41
CONDICION DEL PAVIMENTO	POBRE

Ilustración 95. Resultados PCI UM12 Tramo 1



CALCULO DEL PCI					
Tipo de daño		Severidad	Total	Densidad (2%)	Valor reducido
1		M	1.2	0.6%	17
1		H	10.75	5.4%	54
10		M	9.2	4.6%	7

Número de valores deducidos mayor 2 (q)

Valor deducido mas alto= 85

Número máximo de VD (m)=3.8

NRO		VALORES DEDUCIDOS						VDT	q	VDC
1	54	17	7					78	3	49
2	54	17	2					73	2	52
3	54	2	2					58	1	59
									MAX VDC	59

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTO (PCI)	$PCI = 100 - MAX.VDC$
	PCI: 41
CONDICION DEL PAVIMENTO	POBRE

Fuente: Elaboración propia

12.1.2 RESUMEN TRAMO 1

TRAMO 1						
UNIDAD DE MUESTRA	**ABSCISA INICIO**	**ABSCISA FINAL**	**LONGITUD (m2)**	**PCI**	**CONDICION**	**RECOMENDACIÓN**
1	K0+000	K0+030	198	0	**FALLADO**	RECONSTRUCCION
2	K0+060	K0+090	158	50	**ADECUADA**	MANTEINIMIENTO CORRECTIVO
3	K0+030	K0+060	195	75	**SASTIFACTORIA**	MANTENIMIENTO PREVENTIVO
4	K0+120	K0+150	198	93	**BUENA**	CONSERVACION RUTINARIA
5	K0+150	K0+180	198	66	**ADECUADA**	MATINIMIENTO CORRECTIVO
6	K0+180	K0+200	198	41	**POBRE**	REHABILITACION ESTRUCTURAL
7	K0+180	K0+200	174	71	**BUENA**	CONSERVACION RUTINARIA
8	K0+200	K0+230	198	50	**POBRE**	REHABILITACION ESTRUCTURAL
9	K0+230	K0+260	198	93	**BUENA**	CONSERVACION RUTINARIA
10	K0+260	K0+290	198	41	**POBRE**	REHABILITACION ESTRUCTURAL
11	K0+290	K0+320	198	41	**POBRE**	REHABILITACION ESTRUCTURAL
12	K0+320	K0+350	198	41	**POBRE**	REHABILITACION ESTRUCTURAL

Con base a la aplicación de la metodología del Índice de condición del pavimento PCI en el tramo 1, el cual es comprendido entre las abscisas de inicio K0+000 y abscisas de fin K0+360, en el cual se estudiaron 12 unidades de muestreo en total, donde se calcularon los valores de PCI lo cuales dieron resultados sorprendentes, oscilan entre 0 y 93, esto implica un comportamiento heterogéneo del pavimento a lo largo del tramo.

A lo largo del tramo se encontraron condiciones muy variadas e intercaladas destacándose entre buena y satisfactoria, pero por otro lado también se encontraron condiciones clasificados

como fallido, adecuada y pobre. Esto refleja seriamente un deterioro complejo en el pavimento, donde prevalecen significativamente presencia de patologías con alta severidad como lo son piel de cocodrilo, baches y grietas longitudinales y transversales.

12.1.3 TRAMO 2

Ilustración 98. Resultados PCI UM 1 Tramo 2

Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad (2%)	Valor reducido
19	L	13.24	8.2%	7

Número de valores deducidos mayor 2 (q)

Valor deducido mas alto= 85

Número máximo de VD (m)=3.8

NRO		VALORES DEDUCIDOS						VDT	q	VDC
1	7	7						14	2	11
2	7	2						9	1	9
									MAX VDC	11

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTO (PCI)	$PCI = 100 - MAX.VDC$
	PCI: 89
CONDICION DEL PAVIMENTO	BUENO

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 101. Claculo PCI UM2 TRAMO 2

CALCULO DEL PCI

Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad (2%)	Valor reducido
10	L	5.04	2.8%	5

Número de valores deducidos mayor 2 (q)

Valor deducido mas alto= 18

Número máximo de VD (m)=3.8

NRO		VALORES DEDUCIDOS						VDT	q	VDC
1	5	5						10	2	9
2	5	2						7	1	5
									MAX VDC	9

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTO (PCI)	$PCI = 100 - MAX.VDC$
	PCI: 91
CONDICION DEL PAVIMENTO	BUENA

Ilustración 104. Cálculo de PCI UM3 TRAMO 2

CALCULO DEL PCI					
Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad (2%)	Valor reducido	
4	M	4.79	2.4%	18	Número de valores deducidos mayor 2 (q)
					Valor deducido mas alto= 8
					Número máximo de VD (m)=3.8

NRO		VALORES DEDUCIDOS						VDT	q	VDC
1	18	18						56	1	55
2	18	2						20	2	14
									MAX VDC	55

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTO (PCI)	$PCI = 100 - MAX.VDC$	
	PCI	45
CONDICION DEL PAVIMENTO	POBRE	

Ilustración 107. Cálculo PCI UM4 TRAMO2

CALCULO DEL PCI					
Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad (2%)	Valor reducido	
10	L	2.55	1.5%	0	Número de valores deducidos mayor 2 (q)
10	M	22.44	13.6%	19	
19	M	2.25	1.4%	2	Valor deducido mas alto= 48
					Número máximo de VD (m)=3.8

NRO		VALORES DEDUCIDOS						VDT	q	VDC
10	19	2						21	2	22
19	19	2						21	1	15
									MAX VDC	22

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTO (PCI)	$PCI = 100 - MAX.VDC$	
	PCI	78
CONDICION DEL PAVIMENTO	SASTIFACTORIA	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 110. Cálculo del PCI UM5 Tramo 2

TRAMO 2						
UNIDAD DE MUESTRA	**ABSCISA INICIO**	**ABSCISA FINAL**	**LONGITUD (m2)**	**PCI**	**CONDICION**	REECOMENDACION
1	K0+540	K0+570	162	89	**BUENO**	CONSERVACION RUTINARIA
2	K0+570	K0+600	165	78	**SASTIFACTORIO**	MANTENIMIENTO PREVENTIVO
3	K0+600	K0+630	91	180	**BUENO**	CONSERVACION RUTINARIA
4	K0+630	K0+660	198	45	**POBRE**	REHABILITACION ESTRUCTURAL
5	K0+660	K0+690	198	66	**ADECUADA**	MATINIMIENTO CORRECTIVO
6	K0+690	K0+720	198	66	**ADECUADA**	MATINIMIENTO CORRECTIVO

Fuente: Elaboración propia

Para la inspección visual que se le realizo al tramo 2,mediante la metodología del índice del condicion del pavimento (PCI) en el tramo 2, con abscisas de inicio K0+540 y abscisa final de K0+720, en el cual se analizaron 6 unidades de muestreo en total, obteniendo valores positivos que varían entre 25 y 93, lo que indica que el pavimento se encuentra en óptimas condiciones.

Los resultados que se muestran en la tabla, indican una condición satisfactoria del pavimento, reflejando la carpeta asfáltica en buen estado, donde la presencia de patologías y fallas es limitada.

Sin embargo, en algunas partes del pavimento en muestras muy pequeñas se evidenciaron diferentes patologías como lo es la condición d PCI de 45, la cual presenta un nivel de deterioro un poco mas avanzado. Para este tramo se recomienda una rehabilitación vial con el fin de recuperar en su totalidad la capacidad funcional del pavimento, pero también se recomienda mantenimiento preventivo debido a que el pavimento clasifica como en condición de buen estado.

13 RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar una reconstrucción para el tramo dos, en falla con mayor afectación, lo que significa hacer una remoción de la carpeta asfáltica existente y una revisión de las capas granulares y subrasante, acompañando de un mantenimiento preventivo realizando parcheo a los huecos y grietas con un nivel de severidad alto; con el fin de frenar los avances de estos deterioros. Hacer un mantenimiento preventivo para las unidades de muestro que no están tan afectadas, de esta manera se podrá conservar la vida útil de la estructura y aportar mayor comodidad y masticación a las personas que transitan en él.

Implementar un programa de mantenimiento periódico, enfocado en los resultados del PCI, de esta forma atender rápidamente a las necesidades del pavimento y hacer seguimientos de estas patologías con el de mitigarlas a tiempo.

Es importante realizar estudios de tránsito, ya que la mayor causa de estas afectaciones es generada por las cargas del tránsito, es importante tener controlada esta situación y realizar aforos frecuentemente, mas que todo si la zona es muy transitada como lo es el tramo de Santa María en Fusagasugá.

Se recomienda realizar una evaluación al sistema de drenaje ya que el tramo presenta abultamientos, lo que puede estar causado por humedad y esto acelera el deterioro del pavimento.

14 ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS

14.1.1 Aforos tramo 1

Ilustración 112. Aforo 1

TPD	PUNTO DE AFORO	VEHÍCULO								TPD TOTAL por punto aforado
		AUTOS	MOTOS	BUSES	CAMIÓN					
					2 EJES	3 EJES	4 EJES	5 EJES	6 EJES	
Año Base 2025	1(1)	1292	1026	163	77	0	0	0	0	**2558**
	1(2)	385	293	311	38	0	0	0	0	**1027**
	1(3)	259	206	0	0	0	0	0	0	**465**
Año Proyectado 2035	1(1)	1736	1379	219	103	0	0	0	0	**3437**
	1(2)	518	393	418	52	0	0	0	0	**1381**
	1(3)	348	277	0	0	0	0	0	0	**625**
Año Proyectado 2045	1(1)	2334	1853	294	139	0	0	0	0	**4620**
	1(2)	696	528	562	69	0	0	0	0	**1855**
	1(3)	468	373	0	0	0	0	0	0	**841**

Fuente: Elaboración propia

Con base a la observación que se realizo en campo y a los aforos realizados, se considera que el tramo considera un nivel de tránsito medio, analizando que de esta forma se puede generar procesos de fatiga y fallas del pavimento.

Esto es de gran importancia para el PCI, ya que la presencia alta de transito vehicular y también la presencia de vehículos de carga pesada que son superiores al diseño estructural original, ha contribuido al desarrollo de las diferentes patologías observadas anteriormente, principalmente en este sector que posee menor capacidad estructural.

Para el tramo 2 no se realizaron aforos, debido a que en ese momento hicieron el retiro de la carpeta asfáltica del tramo excluido, por lo que esa zona estaba cerrada, debido a eso se encuentra en oprimas condiciones.

14.1.2 Estudios de suelo

Ilustración 115. Humedad natural

Ensayo No.	1	2	3	4	5
Apique	5	5	6	6	7
Muestra	1	2	1	2	1
Profundidad [m]	0,10-1,00	0,40-1,50	0,00-0,40	0,40-1,50	0,40-0,60
Recipiente	C02	P9H	G07	AI	W10
Masa de recipiente [g]	88,82	29,51	81,16	29,98	79,59
Masa del recipiente con el espécimen húmedo [g]	1528,00	348,58	1278,00	385,84	1489,00
Masa del recipiente con el espécimen seco [g]	1503,00	300,62	1226,00	329,25	1371,00
Contenido de agua del material W [%]	1,77	17,69	4,54	18,91	9,14
Ensayo No.	6	7	8	9	10
Apique	7	8	8	9	10
Muestra	2	1	2	1	1
Profundidad [m]	0,60-1,50	0,40-0,70	0,70-1,50	0,30-0,40	0,30-0,50
Recipiente	H04	C03	79A	5A	Z0
Masa de recipiente [g]	48,83	86,92	30,46	87,74	86,64
Masa del recipiente con el espécimen húmedo [g]	329,55	121,9	189,3	2005,00	1382,00
Masa del recipiente con el espécimen seco [g]	279,99	112,40	157,18	1979,00	1256,00
Contenido de agua del material W [%]	21,44	37,28	25,35	1,37	10,78
Ensayo No.	11	12	13	14	15
Apique	10	11	11	14	14
Muestra	2	1	2	1	2
Profundidad [m]	0,50-1,50	0,10-0,60	0,60-1,50	0,10-0,70	0,70-1,50
Recipiente	81AA	W1	3M	W4	AA1
Masa de recipiente [g]	29,98	79,99	29,92	88,24	30,15
Masa del recipiente con el espécimen húmedo [g]	310,23	1042,00	249,04	1225,00	265,09
Masa del recipiente con el espécimen seco [g]	252,43	975,00	208,04	1137,00	219,90
Contenido de agua del material W [%]	25,98	7,49	23,02	8,39	23,82

Fuente: Elaboración propia

El índice de condición del pavimento (PCI) evalúa el estado del pavimento a partir de las patologías visibles. Sin embargo, el deterioro del pavimento esta relacionado directamente con el comportamiento y características del suelo. Según la tabla de humedad natural, en los tramos se identificaron suelos granulares y gravosos, aparentemente estables, también se observa un suelo limo y arcilloso que posee mayor plasticidad. Es importante conocer y tener en cuenta estos estudios, ya que ayudan a entender mejor el comportamiento del suelo, los suelos granulares y gravosos a menudo suelen favorecer la estabilidad del pavimento el cual se asocia a un PCI más alto, por lo contrario, los suelos limosos y con arcilla suelen generar deformaciones en el pavimento contribuyendo a deterioros. Conocer desde la raíz el comportamiento del suelo permite interpretar y mejorar los resultados del PCI.

15 CONCLUSIONES

- ✓ La evaluación del tramo de la carrera 64 empleando la metodología PCI presenta un valor promedio de 25 a 93, lo cual permite analizar que el tramo presenta condiciones variadas pasando de una condicion fallida a buena, lo que indica que algunas secciones requieren acciones pertinentes para recuperar la capacidad del pavimento y su funcionalidad, otras secciones requieren mantener en su estado lo que afirma que es indispensable un mantenimiento periódico, ya que estos daños se pueden mitigar y corregir a tiempo para evitar que pasen a mayores noveles de severidad.

- ✓ Se evidencio que dentro de las 12 unidades de muestreo para el primer tramo solo una llego al fallo, lo que se recomienda la intervención inmediata para realizar la respectiva reconstrucción de la sección, ya que la superficie posee afectaciones del 100% con respecto a su área

- ✓ Las patologías más comunes son las de piel de cocodrilos y los desprendimientos, son las que afectan en su mayoría al pavimento, pero también existen otras como las grietas longitudinales, abultamientos y hundimientos, durante la inspección no se observó ningún tipo de exudación.

- ✓ El tramo presenta un alto flujo de tránsito, debido a que es una zona urbana, también se observó vehículos de carga pesada, lo que es de gran preocupación ya que la capacidad del pavimento no está diseñada para soportar ese tipo de cargas.

- ✓ Se determinó que la implementación de la metodología PCI en técnicas de mantenimiento vial, permite la reducción positiva de costos de mantenimiento y reconstrucción.

16 REFERENCIAS

Departamento Nacional de Planeación DNP. (2023). *Informe del estado de las vias terciarias en Colombia.* Bogotá,Colombia.

Rondón Quintana, H. A., & Reyes Lizcano, F. A. (2022). *Pavimentos : materiales, construcción y diseño.* Bogota: Ecoe Ediciones.

(Balaguera. (2023).

(INVIAS), I. N. (2006). *Manual de Mantenimiento y Conservación de Carreteras.* Bogota D.C: Universidad Nacional de Colombia.

¿Qué es el pavimento y cuáles son sus tipos y funciones? (14 de octubre de 2025). *Universidad Cooperativa de Colombia*.

1998-INGEOMINAS. (2014). *Geología de la placha 246 Fusagasugá.* Bogotá: Magna Sirgas .

Alexander, G. (19 de Enero de 2023). *Mantenimiento y mejora de una vía rural de 39 km en el municipio de Amalfi, Antioquia.* . Obtenido de INVIAS : https://es.scribd.com/document/624677842/GABRIEL-TORRES-PRESUPUESTO-PLACA-HUELLAS-AMALFI

Antoniolidia. (13 de 01 de 2023). *TodoIngenierias* . Obtenido de Factores que afectan la durabilidad del pavimento: https://todoingenierias.com/factores-que-afectan-la-durabilidad-del-pavimento/

Barragán, A. (s.f.). *PLAN MUNICIPAL DE GESTION DEL RIESGO DE DESASTRES.* Obtenido de MUNICIPIO DE FUSAGASUGÁ (CUNDINAMARCA).

Base, R. T. (s.f). *Rural Roads* . Obtenido de Improving rural mobility in poor countries: https://ruralroads.org/

Cardenas, J. M. (2014). *EVALUACIÓN DE LAMETODOLOGÍA PCI COMO HERRAMIENTA PARA LA TOMA DE DECISIONES EN LAS INTERVENCIONES A REALIZAR EN LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES".* Bogotá D.C: Universidad Militar Nueva Granada.

Carga . (7 de 06 de 2024). Obtenido de El desarrollo de infraestructura vial en zonas rurales de Colombia: Impulsando la conectividad y el desarrollo económico: ttps://carga.com.co/infraestructura-vial-colombiana-en-zonas-rurales-impulsando-la-conectividad-y-desarrollo-economico/

Castillo, M. A. (2009). *ESTUDIO DE LOS DESPRENDIMIENTOS EN LA SUPERFICIE DE LAS CAPAS DE RODADURA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES.* Bucaramanga : Universidad Industrial de Santander.

CONSTRUNEIC. (17 de 12 de 2025). *CONSTRUNEIC.* Obtenido de CONSTRUNEIC: https://construneic.com/

Contraloría General de la República. (2023). *Boletín sobre la infraestructura vial en colombia.* Obtenido de https://www.contraloria.gov.co/

Cundinamarca-IDACO, G. d. (13 de MARZO de 2025). *EL DORADO RADIO*. Obtenido de IDACO mejora la movilidad rural en el Guavio con la entrega de nuevas placas huella: https://eldoradoradio.cundinamarca.gov.co/noticias/idaco-mejora-la-movilidad-rural-en-el-guavio-con-la-entrega-de-nuevas-placas-huella/

Departamento Nacional de Planeación DNP. (2023). *Boletín sobre el estado de la infraestructural vial en Colombia.* Obtenido de https://www.dnp.gov.co/

FUSAGASUGÁ. (24 de 05 de 2021). Obtenido de Geología y Geomorfología: http://sigam.car.gov.co/mod/page/view.php?id=8461

FUSAGASUGA CIUDAD JARDIN. (9 de Julio de 2009). Obtenido de EL RIO CUJA, SECTOR EL POZO DEL DIABLO: https://fusagasugaalbelu60.blogspot.com/2009/07/el-rio-cuja-sector-el-poso-del-diablo.html

García, F. G. (5 de 10 de 2021). *Alcaldia de Bucaramanga*. Obtenido de GOV.CO: https://www.bucaramanga.gov.co/noticias/1-282-millones-para-la-construccion-de-placa-huellas-en-el-sector-rural/

Gaviria, J. P. (23 de Noviembre de 2023). Inversión de recursos públicos en infraestructura de vías terciarias. *INVERSIÓN DE RECURSOS PÚBLICOS EN INFRAESTRUCTURA DE VÍAS TERCIARIAS* , 22.

Genfelder, L. (8 de Abril de 2022). *Soluciones asfalticas* . Obtenido de 7 Tipos de grietas en el asfálto y sus soluciones.: https://www.solucionesasfalticas.com.mx/post/what-is-pre-workout-and-how-does-it-work

Gobernación de Cundinamarca. (s.f.). Obtenido de Fusagasugá: https://www.cundinamarca.gov.co/municipios/Fusagasuga

Gonzalo. (10 de enero de 2020). *BECOSAN*. Obtenido de GRIETAS Y FISURAS-deterioro de un suelo de hormigón: https://www.becosan.com/es/deterioro-por-grietas-en-suelo-hormigon/

https://www.dnp.gov.co/publicaciones/Planeacion/Paginas/inversion-de-recursos-publicos-en-infraestructura-de-vias-terciarias.aspx. (s.f.).

Ingenieros civiles . (19 de Octubre de 2021). Obtenido de Ingeniería Civil para dummies. Las grietas en la carretera: https://ingenieros-civiles.es/actualidad/actualidad/1/1029/ingenieria-civil-para-dummies-las-grietas-en-la-carretera

Instituto Nacional de Vías (INVIAS). (2019). *Manual de diseño de placa huella para vías rurales.* Bogota, Colombia. Obtenido de https://www.invias.gov.co/

INVIAS. (2017). *Guia de pavimentos con placa huella* . Bogota D.C.

Martinez, F. A. (2007). *Estado del arte de la fatiga ambiental en los pavimentos.* Bogotá D.C: Universidad de los Andes .

Moreno Correa, J. y. (2022). *Presupuesto y programación de la construcción a todo costo de un sistema placa-huella en el centro poblado Tres Esquinas.* Neiva, Huila.

Mrongo, L. O. (2016). *Capital Budgeting Strategy and Performance of Projects.* International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences. doi:http://dx.doi.org/10.6007/IJARBSS/v6-i9/2321

Ortiz, M. A. (2017). *Instructivo del proceso constructivo de una vía en pavimento fleible.* Bogota: Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas.

Parada Sanchez. (2013). *Seguimiento de la construcción de las placas huella de la vía La Cumbre en el municipio de Cajicá.* Cajicá, Cundinamarca.

Planeación-DNP, D. N. (2016). *Proyecto tipo: Mejoramiento de vías terciarias mediante el uso de placa huella.* Bogota D.C.

REBOLLEDO, R. J. (2010). *DETERIOROS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RÍGIDOS.* VALDIVIA – CHILE : DETERIOROS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RÍGIDOS.

República. (15 de Febrero de 2019). Obtenido de https://www.larepublica.co/infraestructura/del-total-de-la-red-vial-terciaria-con-la-que-cuenta-colombia-96-esta-en-mal-estado-2828335

República, L. (15 de Febrero de 2019). Obtenido de https://www.larepublica.co/infraestructura/del-total-de-la-red-vial-terciaria-con-la-que-cuenta-colombia-96-esta-en-mal-estado-2828335

RÍOS, Y. (6 de Octubre de 2012). *Torreón* . Obtenido de Sin diagnóstico de hundimientos: https://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/2012/sin-diagnostico-de-hundimientos.html

Santa Pulido, J. V. (2019). *Diseño de un plan vial de vías terciarias para la construcción de placa huella en el municipio de San Vicente Ferrer, Antioquia.* Corporación Universitaria Minuto de Dios.

SparkWeather. (s.f.). *El clima y el tiempo promedio en todo el año en Fusagasugá colombia*. Obtenido de https://es.weatherspark.com/y/23367/Clima-promedio-en-Fusagasuga-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o

Spinel, S. C., Triviño, L. C., & Hormaza, B. C. (S.f). *MODELACIÓN DEL AHUELLAMIENTO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS.* Bogotá D.C: Universidad de los Andes .

Unknown. (18 de 05 de 2014). Obtenido de Tipos de Fallas en Pavimento Flexible: https://fallasenpavimentoflexible.blogspot.com/2014/05/tipos-de-fallas-en-pavimento-flexible.html

VARELA, L. R. (2002). *PAVEMENT CONDITION (PCI).* Manizales : Ingepav (ingenieria de pavimentos).

17 ANEXOS A


oct 26, 2025, 11:07:41
N 4° 19' 37" W 74° 24' 2"
Carrera 64, Colombia


oct 26, 2025, 11:07:25
N 4° 19' 37" W 74° 24' 2"
Carrera 64, Colombia


oct 26, 2025, 11:07:41
N 4° 19' 37" W 74° 24' 2"
Carrera 64, Colombia


oct 26, 2025, 12:58:55
N 4° 19' 37" W 74° 23' 58"
Carrera 64, Colombia


oct 26, 2025, 11:22:39
N 4° 19' 37" W 74° 24' 2"
Carrera 64, Colombia


oct 26, 2025, 10:53:21
N 4° 19' 37" W 74° 24' 2"
Carrera 64, Colombia


oct 26, 2025, 17:18:39
N 4° 19' 55", W 74° 23' 53"
Calle 19, Colombia


oct 26, 2025, 17:19:08
N 4° 19' 55", W 74° 23' 53"
Calle 19, Colombia


oct 26, 2025, 17:18:34
N 4° 19' 55", W 74° 23' 53"
Calle 19, Colombia


oct 26, 2025, 17:18:48
Calle 19, Colombia


oct 26, 2025, 17:16:57
N 4° 19' 55", W 74° 23' 53"
Calle 19, Colombia


oct 26, 2025, 17:16:57
N 4° 19' 55", W 74° 23' 53"
Calle 19, Colombia





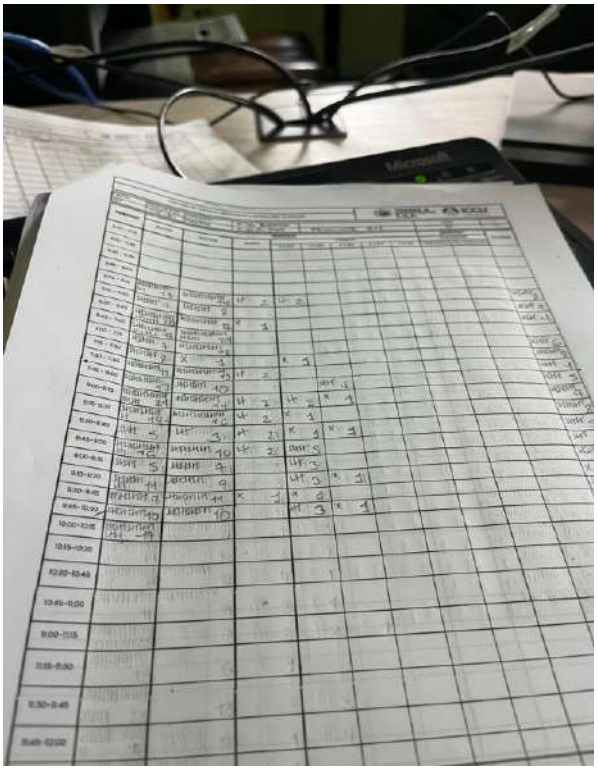




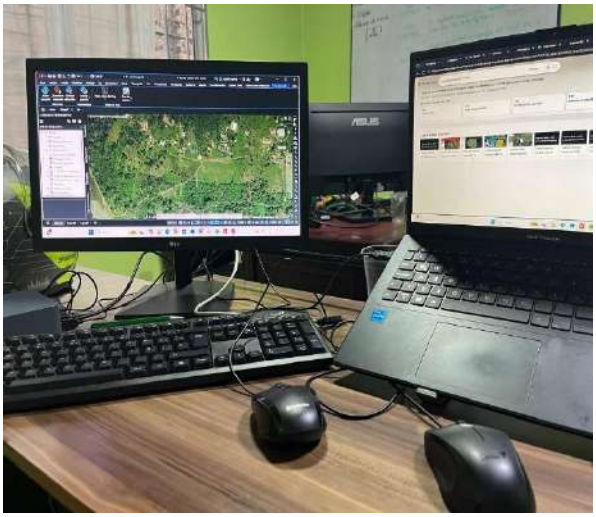


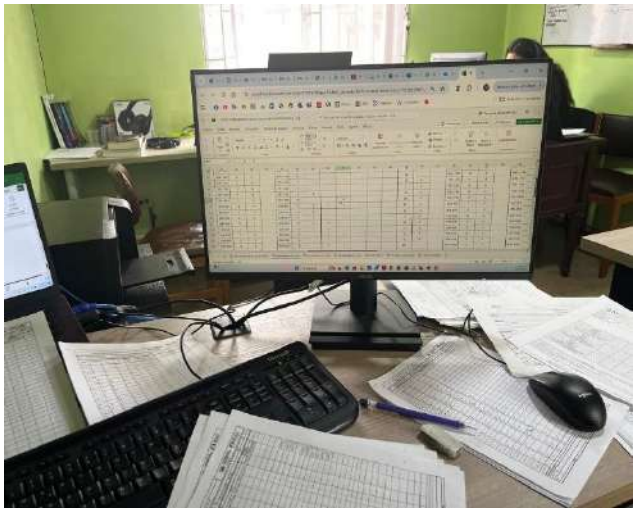


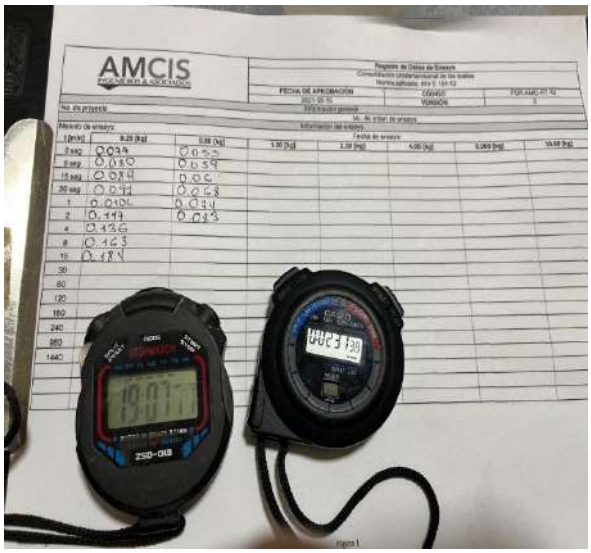




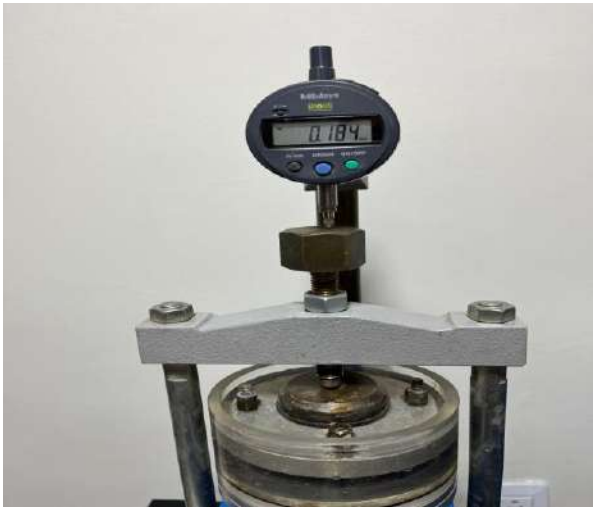







AMCIS


0.184


0.184



Mas recursos de mis practicas:

https://uniagraria-my.sharepoint.com/:f:/g/personal/aguilar_yenire_uniagraria_edu_co/IgAH4HFgGCoXS4VeCwCd0_dSAVB04lZ7x5bt1PBcnyVNTvo?e=G8FLwz

AMCIS
INGENIEROS & ASOCIADOS
INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL

NIT: 900.979.809-8

CERTIFICADO DE PRACTICAS

Bogotá D.C., 30 de enero de 2026

Señores: Uniagraria

Por medio de la presente se certifica que Yenire Aguilar Castro, identificada con 1085172447, realizó satisfactoriamente sus prácticas empresariales en **AMCIS INGENIEROS Y ASOCIADOS**. Las prácticas se llevaron a cabo desde el 17 de julio de 2025 hasta el 17 de noviembre de 2025, cumpliendo con un total de 2920 horas, conforme a lo establecido por la normativa y los lineamientos de la institución.

Durante dicho período, la estudiante demostró responsabilidad, compromiso y un desempeño adecuado en las actividades asignadas.

Se extiende el presente certificado a solicitud de la institución para los fines que estime convenientes.

Atentamente,



Firma
Representante legal
Nombre completo: Christian Fabian Barrera Doncel
No. Identificación: 1.018.417.359

Bogotá, 9 de febrero de 2026

Señores
Comité Programa de Ingeniería Civil
Fundación Universitaria Agraria de Colombia

Apreciados Señores,

Respetuosamente me permito manifestarles que el proyecto de grado denominado "Evaluación de las patologías del pavimento flexible mediante el índice PCI en el sector santa maría, Fusagasugá" a cargo de la estudiante Yenire Aguilar Castro con ID 35618 bajo la modalidad de opción de grado Práctica Empresarial y Monografía, se encuentra **APROBADO** para la respectiva revisión de/los Jurados que ustedes tengan a bien asignar.

Agradezco su colaboración.

Atentamente,

ANDRES DAVID RODRIGUEZ CONTRERAS
Docente Director del Proyecto
Departamento de Ingeniería Civil
UNIAGRARIA