



UNIVERSIDAD LATINA DE COSTA RICA

CAMPUS SAN PEDRO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Licenciatura en Ingeniería Civil

Modalidad Proyecto de Graduación

Patología del pavimento flexible y evaluación superficial de la ruta nacional 708, en el tramo K 0+000 entronque con la ruta nacional 140 y el K 2+021, a través del método

PCI.

Autor

Brian Gerardo Pérez Quesada.

Tutor

Ing. María Del Carmen Gallardo Mejía.

Abril del 2023



TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: Patología del pavimento flexible y evaluación superficial de la ruta nacional 708, en el tramo K 0+000 entronque con la ruta nacional 140 y el K 2+021, a través del método PCI, por el (la) estudiante: Brian Gerardo Pérez Quesada, fue aprobado por el Tribunal Examinador de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Latina, Sede San Pedro, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil:

MARIA DEL
CARMEN
GALLARDO
MEJIA (FIRMA)

Firmado digitalmente
por MARIA DEL
CARMEN GALLARDO
MEJIA (FIRMA)
Fecha: 2023.05.14
14:24:05 -06'00'

María del Carmen Gallardo Mejía
Tutor

VICTOR
MANRIQUE
OBANDO
ANGULO (FIRMA)

Firmado digitalmente
por VICTOR
MANRIQUE OBANDO
ANGULO (FIRMA)
Fecha: 2023.05.15
15:23:23 -06'00'

Víctor Manrique Obando Angulo
Lector

José María
Ulate Zárate

Firmado digitalmente
por José María Ulate
Zárate
Fecha: 2023.05.15
12:14:04 -06'00'

José María Ulate Zarate
Presidente

DECLARACIÓN JURADA

Yo, Brian Gerardo Pérez Quesada estudiante de la Universidad Latina de Costa Rica, declaro bajo la fe de juramento y consciente de las responsabilidades penales de este acto, que soy Autor Intelectual del Proyecto de Graduación titulado:

Patología del pavimento flexible y evaluación superficial de la ruta nacional 708, en el tramo K 0+000 entronque con la ruta nacional 140 y el K 2+021, a través del método PCI.

Por lo que libero a la Universidad de cualquier responsabilidad en caso de que mi declaración sea falsa.

Firmo en San Pedro, 28/04/2023



Brian Gerardo Pérez Quesada

Licencia De Distribución No Exclusiva (carta de la persona autora para uso didáctico)
Universidad Latina de Costa Rica

Yo (Nosotros):	Brian Gerardo Pérez Quesada.
De la Carrera / Programa:	Ingeniería Civil.
Modalidad de TFG:	Proyecto.
Titulado:	Patología del pavimento flexible y evaluación superficial de la ruta nacional 708, en el tramo K 0+000 entronque con la ruta nacional 140 y el K 2+021, a través del método PCI.

Al firmar y enviar esta licencia, usted, el autor (es) y/o propietario (en adelante el “AUTOR”), declara lo siguiente: **PRIMERO:** Ser titular de todos los derechos patrimoniales de autor, o contar con todas las autorizaciones pertinentes de los titulares de los derechos patrimoniales de autor, en su caso, necesarias para la cesión del trabajo original del presente TFG (en adelante la “OBRA”). **SEGUNDO:** El AUTOR autoriza y cede a favor de la UNIVERSIDAD U LATINA S.R.L. con cédula jurídica número 3-102-177510 (en adelante la “UNIVERSIDAD”), quien adquiere la totalidad de los derechos patrimoniales de la OBRA necesarios para usar y reusar, publicar y republicar y modificar o alterar la OBRA con el propósito de divulgar de manera digital, de forma perpetua en la comunidad universitaria. **TERCERO:** El AUTOR acepta que la cesión se realiza a título gratuito, por lo que la UNIVERSIDAD no deberá abonar al autor retribución económica y/o patrimonial de ninguna especie. **CUARTO:** El AUTOR garantiza la originalidad de la OBRA, así como el hecho de que goza de la libre disponibilidad de los derechos que cede. En caso de impugnación de los derechos autorales o reclamaciones instadas por terceros relacionadas con el contenido o la autoría de la OBRA, la responsabilidad que pudiera derivarse será exclusivamente de cargo del AUTOR y este garantiza mantener indemne a la UNIVERSIDAD ante cualquier reclamo de algún tercero. **QUINTO:** El AUTOR se compromete a guardar confidencialidad sobre los alcances de la presente cesión, incluyendo todos aquellos temas que sean de orden meramente institucional o de organización interna de la UNIVERSIDAD **SEXTO:** La presente autorización y cesión se registrará por las leyes de la República de Costa Rica. Todas las controversias, diferencias, disputas o reclamos que pudieran derivarse de la presente cesión y la materia a la que este se refiere, su ejecución, incumplimiento, liquidación, interpretación o validez, se resolverán por medio de los Tribunales de Justicia de la República de Costa Rica, a cuyas normas se someten el AUTOR y la UNIVERSIDAD, en forma voluntaria e incondicional. **SÉPTIMO:** El AUTOR acepta que la UNIVERSIDAD, no se hace responsable del uso, reproducciones, venta y distribuciones de todo tipo de fotografías, audios, imágenes, grabaciones, o cualquier otro tipo de

presentación relacionado con la **OBRA**, y el **AUTOR**, está consciente de que no recibirá ningún tipo de compensación económica por parte de la **UNIVERSIDAD**, por lo que el **AUTOR** haya realizado antes de la firma de la presente autorización y cesión. **OCTAVO**: El **AUTOR** concede a **UNIVERSIDAD.**, el derecho no exclusivo de reproducción, traducción y/o distribuir su envío (incluyendo el resumen) en todo el mundo en formato impreso y electrónico y en cualquier medio, incluyendo, pero no limitado a audio o video. El **AUTOR** acepta que **UNIVERSIDAD.** puede, sin cambiar el contenido, traducir la **OBRA** a cualquier lenguaje, medio o formato con fines de conservación. **NOVENO**: El **AUTOR** acepta que **UNIVERSIDAD** puede conservar más de una copia de este envío de la **OBRA** por fines de seguridad, respaldo y preservación. El **AUTOR** declara que el envío de la **OBRA** es su trabajo original y que tiene el derecho a otorgar los derechos contenidos en esta licencia. **DÉCIMO**: El **AUTOR** manifiesta que la **OBRA** y/o trabajo original no infringe derechos de autor de cualquier persona. Si el envío de la **OBRA** contiene material del que no posee los derechos de autor, el **AUTOR** declara que ha obtenido el permiso irrestricto del propietario de los derechos de autor para otorgar a **UNIVERSIDAD** los derechos requeridos por esta licencia, y que dicho material de propiedad de terceros está claramente identificado y reconocido dentro del texto o contenido de la presentación. Asimismo, el **AUTOR** autoriza a que en caso de que no sea posible, en algunos casos la **UNIVERSIDAD** utiliza la **OBRA** sin incluir algunos o todos los derechos morales de autor de esta. **SI AL ENVÍO DE LA OBRA SE BASA EN UN TRABAJO QUE HA SIDO PATROCINADO O APOYADO POR UNA AGENCIA U ORGANIZACIÓN QUE NO SEA UNIVERSIDAD U LATINA, S.R.L., EL AUTOR DECLARA QUE HA CUMPLIDO CUALQUIER DERECHO DE REVISIÓN U OTRAS OBLIGACIONES REQUERIDAS POR DICHO CONTRATO O ACUERDO.** La presente autorización se extiende el día 28 de abril de 2023 a las 9:00 a.m

Firma del estudiante(s):



Agradecimientos

Agradezco primeramente a Dios, por guiarme por el camino correcto de la vida, cada día en el transcurso de mi camino e iluminándome en todo lo que realizo en mi diario vivir.

A mis padres, Erika Quesada y Gerardo Pérez, por ser mi ejemplo para seguir adelante y por inculcarme los valores y principios que de una u otra forma me han servido en la vida, gracias por eso y por muchos más.

A mis demás familiares, gracias por apoyarme en cada decisión que tomo y por estar a mi lado en cada momento.

A mis compañeros; Iliá Villalobos, Justin Mora y Jack Molina los cuales fueron parte esencial en el desarrollo de mi carrera universitaria y estuvieron a mi lado desde el inicio, compartiendo sus conocimientos y experiencias.

A mis amigos, amigas y a todas las personas que me motivaron e incentivaron para seguir adelante con los objetivos de este propósito.

A mis profesores de la Universidad Latina de Costa Rica que me impartieron sus conocimientos y experiencias en el transcurso de mi carrera universitaria y que me ayudaron de una u otra forma para hacer posible la realización de mi TFG.

A mi tutora la Ingeniera María del Carmen Gallardo Mejía por tenerme paciencia y por guiarme en el desarrollo de este proyecto.

Dedicatoria

Dedico este proyecto a Dios, por permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mis padres por ser mis guías y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias de opiniones. A mi hermana la cual es una persona muy importante en mi vida.

Índice de contenidos

I.	Introducción.....	1
1.1	Antecedentes	2
1.1.1	Nacionales	2
1.1.2	Internacionales.....	3
1.2	Planteamiento Del Problema.....	5
1.3	Objetivos.....	6
1.3.1	Objetivo General.....	6
1.3.2	Objetivos Específicos	6
1.4	Justificación	7
1.5	Alcances y Limitaciones.....	9
1.5.1	Alcances.....	9
1.5.2	Limitaciones	9
1.6	Impacto	10
II.	Fundamentación teórica.....	11
2.1	Introducción a los pavimentos	11
2.2	Características que debe reunir un pavimento	11
2.3	Tipos de pavimentos	11
2.3.1	Pavimentos flexibles.....	12
2.4	Fallas habituales en los pavimentos flexibles	13
2.4.1	Categoría de fallas	13
2.4.1.1	Falla estructural.....	13
2.4.1.2	Falla funcional.....	13
2.5	Medición de deterioros	14
2.6	Tipos de deterioros en pavimentos flexibles.....	16
2.6.1	Grietas.....	16
2.6.1.1	Cuero de lagarto / Grietas por fatiga.....	16
2.6.1.2	Grieta longitudinal y transversal	19
2.6.1.3	Agrietamiento por reflejo de juntas.....	22
2.6.1.4	Grietas en bloque.....	25
2.6.1.5	Grietas de borde	28

2.6.1.6	Grietas en arco.....	31
2.6.2	Deformaciones.....	33
2.6.2.1	Rodera/Ahuellamiento.....	33
2.6.2.2	Abultamiento y hundimientos.....	36
2.6.2.3	Corrugación.....	39
2.6.2.4	Depresiones.....	42
2.6.2.5	Hinchamiento.....	45
2.6.2.6	Corrimiento/ Desplazamiento de la mezcla.....	47
2.6.3	Textura superficial.....	49
2.6.3.1	Exudación.....	49
2.6.3.2	Pulimiento de agregados.....	51
2.6.3.3	Desprendimiento de agregados.....	52
2.6.4	Misceláneos.....	54
2.6.4.1	Escalonamiento calzada-espaldón.....	54
2.6.4.2	Baches.....	57
2.6.4.3	Huecos.....	60
2.6.4.4	Cruce de línea férrea.....	63
2.7	Método PCI.....	63
2.7.1	Definición.....	63
2.7.2	Rangos de clasificación del PCI.....	64
III.	Marco metodológico.....	65
3.1	Paradigma, enfoque metodológico y método de investigación.....	65
3.2	Diseño de la investigación.....	65
3.3	Categorías de análisis de la investigación.....	66
3.4	Población y muestra. Técnicas de muestreo.....	67
3.5	Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	68
3.5.1	Materiales e instrumentos.....	69
3.6	Técnicas e instrumentación para el procesamiento y análisis de datos.....	69
3.6.1	Aplicación anterior al método PCI.....	69
3.6.1.1	Unidades de muestreo.....	69
3.6.1.2	Longitud de las unidades de muestreo.....	70
3.6.1.3	Número total de unidades de muestra (N).....	71

3.6.2	Auscultación de los deterioros.....	71
3.6.3	Índice de Condición del Pavimento.....	71
3.6.4	Cálculo del PCI de las unidades de muestreo (UM).....	72
3.6.4.1	Cálculo de los Valores Deducidos (VD).....	72
3.6.4.2	Cálculo del Número de Deduciones Admisibles (m).....	73
3.6.4.3	Cálculo del Máximo Valor Deducido Corregido (MVDC).....	74
3.6.4.4	Cálculo del PCI de la Unidad de Muestra Analizada.....	75
3.6.4.5	Cálculo del PCI para una sección (Todas las UM o UM aleatorias).....	75
3.6.5	Software EvalPav.....	75
IV.	Análisis de resultados.....	82
4.1	Unidades de muestreo y evaluación de la condición superficial.....	82
4.2	Primera etapa.....	82
4.3	Segunda Etapa.....	84
4.4	Deducción de las fallas auscultadas y PCI de la RN 708.....	89
4.5	Intervención requerida en la Ruta Nacional 708.....	95
4.5.1	Bacheo:.....	96
4.5.2	Huecos:.....	96
4.5.3	Exudación:.....	96
4.5.4	Grietas por fatiga:.....	97
4.5.5	Grietas longitudinales y transversales:.....	97
4.5.6	Desprendimiento de agregados:.....	97
	Conclusiones.....	98
	Recomendaciones.....	99
	Referencias.....	100
	Anexos.....	103
	Glosario.....	115

Índice de figuras

Figura 1.	<i>Paquete estructural de un pavimento flexible.....</i>	<i>12</i>
Figura 2.	<i>Medición correcta de los anchos de grieta.....</i>	<i>14</i>
Figura 3.	<i>Medida correcta de los deterioros en metros lineales.....</i>	<i>15</i>
Figura 4.	<i>Medida correcta de los deterioros en metros cuadrados.....</i>	<i>15</i>
Figura 5.	<i>Esquema de cuero de lagarto en pavimento flexible.....</i>	<i>17</i>

Figura 6. Piel de cocodrilo - severidad baja	18
Figura 7. Piel de cocodrilo - severidad media	18
Figura 8. Piel de cocodrilo - severidad alta	19
Figura 9. Esquema de grieta longitudinal (vista superior)	19
Figura 10. Esquema de grieta transversal (vista superior)	19
Figura 11. Grieta longitudinal/transversal - severidad baja.....	21
Figura 12. Grieta longitudinal/transversal - severidad media.....	22
Figura 13. Grieta longitudinal/transversal - severidad alta	22
Figura 14. Esquema de agrietamiento por reflejo de juntas	23
Figura 15. Agrietamiento por reflejo de juntas - severidad baja/medio	24
Figura 16. Grietas por reflejo de juntas - severidad alta.....	25
Figura 17. Esquema de grietas en bloque	25
Figura 18. Grietas en bloque - severidad baja.....	27
Figura 19. Grietas en bloque - severidad media	27
Figura 20. Grietas en bloque - severidad alta.....	28
Figura 21. Esquema de grietas de borde.....	28
Figura 22. Grietas de borde - severidad baja.....	30
Figura 23. Grietas de borde - severidad media.....	30
Figura 24. Grietas de borde - severidad alta	30
Figura 25. Esquema de grietas en arco.....	31
Figura 26. Grietas en arco - severidad baja.....	32
Figura 27. Grietas en arco - severidad media.....	33
Figura 28. Grietas en arco - severidad alta	33
Figura 29. Esquema de roderas/ahuellamiento.....	34
Figura 30. Roderas/Ahuellamiento - severidad baja.....	35
Figura 31. Roderas/Ahuellamiento - severidad media	36
Figura 32. Roderas/Ahuellamiento - severidad alta.....	36
Figura 33. Esquema de abultamientos y hundimientos	37
Figura 34. Abultamientos y hundimientos - severidad baja	38
Figura 35. Abultamientos y hundimientos - severidad media.....	39
Figura 36. Abultamientos y hundimientos - severidad alta	39
Figura 37. Esquema de corrugación	40
Figura 38. Corrugación - severidad baja.....	41
Figura 39. Corrugación - severidad media	41
Figura 40. Corrugación - severidad alta.....	42
Figura 41. Esquema de depresiones	43
Figura 42. Depresión – severidad media.....	44
Figura 43. Depresión – severidad media.....	44
Figura 44. Depresión – severidad alta	45
Figura 45. Esquema de hinchamiento	45
Figura 46. Hinchamiento – severidad alta	46
Figura 47. Esquema de corrimiento	47
Figura 48. Corrimiento – severidad baja	48

Figura 49. Corrimiento – severidad media.....	49
Figura 50. Corrimiento – severidad alta.....	49
Figura 51. Exudación – severidad baja.....	50
Figura 52. Exudación – severidad media.....	51
Figura 53. Exudación – severidad alta.....	51
Figura 54. Pulimiento de agregados.....	52
Figura 55. Desprendimiento de agregados – severidad media.....	54
Figura 56. Desprendimiento de agregados – severidad alta.....	54
Figura 57. Esquema de escalonamiento entre calzada y espaldón.....	55
Figura 58. Calzada-espaldón – severidad baja.....	56
Figura 59. Calzada-espaldón – severidad media.....	56
Figura 60. Calzada-espaldón – severidad alta.....	57
Figura 61. Esquema de baches.....	57
Figura 62. Baches – severidad baja.....	59
Figura 63. Baches – severidad media.....	59
Figura 64. Baches – severidad alta.....	60
Figura 65. Esquema de huecos.....	60
Figura 66. Huecos – severidad baja.....	62
Figura 67. Huecos – severidad media.....	62
Figura 68. Huecos – severidad alta.....	63
Figura 69. Rango de clasificación del PCI.....	64
Figura 70. Ruta Nacional 708 en el entronque con la RN 140.....	68
Figura 71. Gráfica del valor deducido con respecto a la densidad del cuero de lagarto..	73
Figura 72. Gráfica para el Cálculo del VDC (Pav. Flexible).....	74
Figura 73. Presentación del software EvalPav-Carreteras.....	76
Figura 74. Crear un proyecto en software EvalPav-Carreteras.....	77
Figura 75. Ingreso de datos referentes al proyecto en el software EvalPav-Carreteras..	77
Figura 76. Abrir un proyecto en software EvalPav-Carreteras.....	78
Figura 77. Establecer proyecto en el que se desea trabajar en el software EvalPav-Carreteras.....	78
Figura 78. Ingreso de datos referentes a la auscultación en el software EvalPav-Carreteras.....	79
Figura 79. Ingreso de datos de las fallas en el software EvalPav-Carreteras.....	80
Figura 80. Actualizar y registrar las fallas en el software EvalPav-Carreteras.....	81
Figura 81. Resultados de la auscultación con el software EvalPav-Carreteras.....	81
Figura 82. Cantidad de cada tipo de deterioro superficial en la ruta nacional 708.....	91
Figura 83. Porcentaje de la deducción para cada tipo de patología presente en la ruta nacional 708.....	92
Figura 84. Índice de la Condición del Pavimento flexible en la ruta nacional 708.....	92
Figura 85. Porcentaje del estado de daño de las unidades de muestreo.....	93
Figura 86. Zona de corte rectangular para un bache.....	96

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Criterios de severidad-huecos</i>	61
Tabla 2. <i>Categoría de análisis de investigación</i>	66
Tabla 3. <i>Selección de la longitud de la UM</i>	70
Tabla 4. <i>Orden de los datos obtenidos en el levantamiento de campo (Pav. Flexible)</i>	72
Tabla 5. <i>Datos referentes a la sección a estudiar</i>	82
Tabla 6. <i>Unidades de muestreo a analizar</i>	83
Tabla 7. <i>Resumen del proceso de las patologías auscultadas en la ruta nacional 708</i>	84
Tabla 8. <i>Resumen de los datos de la aplicación PCI</i>	89
Tabla 9. <i>Estado de las unidades de muestreo</i>	93

Resumen

La infraestructura vial en Costa Rica ha experimentado una crisis en los últimos años, con una creciente cantidad de problemas y desafíos que afectan a la movilidad y seguridad de los ciudadanos. Entre los principales problemas se encuentran el estado deficiente de las carreteras, la falta de mantenimiento adecuado, la congestión del tráfico en las áreas metropolitanas, la falta de inversión en nuevas carreteras y la insuficiente coordinación entre las diferentes agencias gubernamentales encargadas de la infraestructura vial. El presente proyecto tiene como objetivo general, evaluar las patologías existentes y proponer alternativas de intervención que permitan mejorar la condición operacional del pavimento flexible en la ruta nacional 708 en Río Cuarto, Río Cuarto, Alajuela desde el K 0+000 entronque con la RN 140 hasta el K 2+021.

Existen diferentes métodos para la evaluación de la estructura del pavimento de las carreteras; los cuales son usados como herramientas para establecer los programas de mantenimiento requeridos y/o programar, si es necesario, una evaluación estructural parcial o total de la vía.

La metodología PCI se considerada uno de los métodos más eficaces para obtener mejores resultados. Este método proporciona un valor cuantitativo, que da a conocer el estado en que se encuentra la superficie del pavimento mediante una auscultación visual de los distintos tipos de deterioros. El cálculo del Índice de Condición del Pavimento (PCI) depende de los tipos de deterioros existentes, su severidad y extensión. Dicho valor posee un rango que puede varía entre 0, el cual hace referencia a un pavimento fallado, y 100, corresponde a un pavimento en excelentes condiciones.

El procedimiento de auscultación de los deterioros puede realizarse de manera manual o automática; en la ruta seleccionada se realizó de manera manual; es decir; caminando por la vía.

Para el procesamiento de datos se hace uso del software EvalPav-Carreteras el cual fue utilizado para calcular el índice de condición del pavimento de las unidades de muestras y del tramo en general. El software EvalPav-Carreteras arrojó un índice de condición del

pavimento (PCI) de 54 para el tramo estudiado en ruta nacional 708. Según la norma ASTM D6433, esa calificación hace referencia a un pavimento pobre.

Palabras claves: Índice de Condición del Pavimento (PCI), patologías, auscultación

Abstrac

Road infrastructure in Costa Rica has experienced a crisis in recent years, with a growing number of problems and challenges affecting the mobility and safety of citizens. Among the main problems are the poor condition of roads, lack of adequate maintenance, traffic congestion in metropolitan areas, lack of investment in new roads, and insufficient coordination between the different government agencies in charge of road infrastructure. The general objective of this project is to evaluate the existing pathologies and propose intervention alternatives to improve the operational condition of the flexible pavement on national route 708 in Río Cuarto, Río Cuarto, Alajuela from K 0+000 junction with RN 140 to K 2+021. There are different methods for the evaluation of highways, which helps to carry out more adequate and efficient maintenance, with the purpose of obtaining an optimal, operative condition and greater utility. For this reason, the PCI methodology is considered one of the most effective methods to obtain better results. This method provides a quantitative value, which shows the condition of the pavement surface by means of a visual inspection of the different types of deterioration. The calculation of the Pavement Condition Index (PCI) depends on the types of existing deteriorations, their severity and extent. This value has a range that can vary between 0, which refers to a failed pavement, and 100, which corresponds to a pavement in excellent condition. The procedure of auscultation of the deteriorations on the selected route is done manually, i.e., by walking along the road. For data processing, the EvalPav-Carreteras software was used to calculate the pavement condition index of the sample units and the section in general. The EvalPav-Carreteras software yielded a pavement condition index (PCI) of 54 for the section studied on national route 708. According to ASTM D6433, this rating refers to a poor pavement.

Key words: Pavement Condition Index (PCI), pathologies, auscultation.

I. Introducción

La evaluación superficial del pavimento en una carretera es un proceso importante para determinar el estado de la superficie de la vía y detectar posibles problemas que puedan afectar su seguridad y durabilidad.

Esta se lleva a cabo mediante una auscultación de la superficie del pavimento. En esta evaluación, se busca identificar y cuantificar deterioros como grietas, baches, hundimientos, deformaciones, deslizamientos y otros daños que puedan presentarse en la superficie del pavimento.

Además, se realizan mediciones de la rugosidad y textura superficial del pavimento, que son importantes indicadores del confort de conducción y la adherencia de los neumáticos al pavimento.

La evaluación superficial del pavimento es esencial para planificar y programar las actividades de mantenimiento y rehabilitación necesarias para mantener en buen estado la carretera, prolongando su vida útil y garantizando la seguridad de los usuarios.

1.1 Antecedentes

1.1.1 Nacionales

Según Méndez (2019) en su proyecto “Evaluación de la condición superficial de pavimentos por medio de Trimble Trident” cuyo objetivo principal fue “valorar el estado de la superficie de cuatro rutas pavimentadas pertenecientes a la red vial nacional de alta capacidad, con el fin de que se genere un plan estratégico para su oportuna intervención” lo cual sirve para realizar el análisis del índice de condición del pavimento (PCI) de las vías bajo la norma ASTM D6433-18, en este proyecto se utilizó el software “Trident Imaging Hub”, el cual según Trimble (2014) dicho programa está diseñado para la navegación, procesamiento y visualización de grandes conjuntos de datos de imagen, el software lo utilizaron para facilitar el procesamiento de los datos referentes a la auscultación de los deterioros.

En este proyecto se utilizó el equipo Geo3D, el cual cuenta con una serie de cámaras que toman imágenes georreferenciadas las cuales sirven como insumo para el software que se utilizó; dicho equipo pertenece al Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica.

Como etapa final, el estudio concluye con la aplicación de la metodología PCI a las cuatro rutas nacionales de alta capacidad Interamericana Norte (Sabana Este – Radial Alajuela), ruta 10 (La Lima – Siquirres), ruta 23 (Barranca – Puerto Caldera) y la ruta 39 Circunvalación (La Uruca – Calle Blancos, dichas rutas están diseñadas en pavimento flexible.

La evaluación arrojó una gran cantidad y variedad de deterioros; sin embargo, se determinó que todas las vías se encontraban con un valor de PCI entre 69 y 83 lo cual indica una buena condición superficial del pavimento.

Arias (2014) presenta un proyecto titulado “Diagnóstico de vías de la red vial pavimentada del cantón de Alajuela como parte de un sistema de gestión de pavimentos” el cual tuvo como propósito “Determinar la condición actual de una serie de vías de la red vial pavimentada del cantón de Alajuela para recomendar estrategias preliminares de intervención como parte de las fases iniciales de un sistema de gestión de pavimentos.”. Enfocado en crear un sistema de gestión de la red vial pavimentada.

Para el análisis se tomaron tres rutas pertenecientes a la red vial cantonal de Alajuela, las cuales fueron Calle Primaria El Pasito, Conector entre Pueblo Nuevo - Barrio San José y Calle Conector Rosales – Cootaxa, con las cuales se crearía una metodología de evaluación que sirviera como base para aplicar al resto de las vías cantonales.

Como parte de la metodología se realizó un inventario vial de los elementos presentes en cada una de las vías cantonales citadas en el párrafo anterior, mediante la norma ASTM D6433; la cual permite determinar el índice de condición del pavimento (PCI) mediante una auscultación, en el mismo realizaron la evaluación de dos maneras: la primera fue utilizando una cantidad de muestras aleatorias y la segunda fue evaluando el tramo completo.

El estudio culmina con los valores de PCI obtenidos de las rutas, en los cuales se determina que las rutas presentan condiciones entre bueno y fallido las cuales ameritan de una intervención inmediata.

1.1.2 Internacionales

Tacza y Rodríguez (2018) presentan su proyecto denominado “Evaluación de fallas mediante el método PCI y planteamiento de alternativas de intervención para mejorar la condición operacional del pavimento flexible en el carril segregado del corredor Javier Prado” el cual tiene como fin “Proponer alternativas de intervención que permitan mejorar la condición operacional del pavimento flexible existente en el carril segregado del corredor Javier Prado”. En este proyecto se evaluó 828 metros de largo y 3,5 metros de ancho en el cual se realiza la identificación y evaluación de todas las fallas existentes, así como la severidad asociada a cada falla y como etapa final se presenta el valor de PCI del carril segregado el cual da un valor de 57 y tiene una calificación de buena, de igual forma se brinda la respectiva intervención asociada a las fallas presentes y se plantean soluciones globales.

García y Silva (2018) exponen un trabajo de grado denominado “Análisis comparativo de metodologías de evaluación VIZIR y PCI (Parte B), aplicado a la estructura de pavimento de una vía urbana, en el barrio Chicó Norte (localidad Chapinero)” el mismo tiene como fin realizar una evaluación de la vía por la metodología PCI y VIZIR y en base a los datos arrojados en la vía, se realiza una caracterización de la condición y fallas

presentes en el pavimento a lo largo de la ruta y se catalogan los tipos de daños presentes en base a los catálogos de daños de las respectivas metodologías (VIZIR y PCI). Como parte de la comparación se pudo determinar que la metodología VIZIR presenta deficiencias en cuanto a considerar esta metodología para evaluar un pavimento flexible, ya que, considera los daños de manera lineal y se valora con igual magnitud un daño localizado, sin importar si es más angosto u ocupa toda la calle, lo cual puede generar baja objetividad en su uso. A diferencia de la metodología PCI abarca todos los tipos de daños presentes en el pavimento los cuales se utilizan para el cálculo de la condición del pavimento.

1.2 Planteamiento Del Problema

Para Chaves (2022) “La infraestructura en este país es lamentable Tenemos mil escuelas con órdenes sanitarias y muchas personas han puesto su vida en riesgo al usar las carreteras nacionales (...) La responsabilidad del invierno 2023 es mía y para ello estamos trabajando durísimo” (como se cita en Arrieta, 2022).

Actualmente, Costa Rica posee una crisis de infraestructura vial, el ministro de Obras Públicas y Transportes, Luis Amador (2022), dijo que “únicamente queda un contrato de mantenimiento vial hasta marzo del próximo año, que es el que se ha estado usando en Circunvalación, San José; pero que el resto del país está al descubierto y no hay contratos. Así lo afirmó en la Comisión de Hacendarios de la Asamblea Legislativa el 20 de setiembre pasado” (como se cita en Pomareda, 2022).

Se requiere de un gran compromiso para el mejoramiento de la red vial, la necesidad de que las carreteras presenten un buen índice de serviciabilidad va más allá de proporcionar a los usuarios una red vial de calidad; el turismo, la reactivación económica, la generación de empleos y la seguridad en carretera se están viendo amenazadas.

Como dijo Beeche (2022) “Cuando el turista escoge a dónde vacacionar, una parte importantísima para ellos es la seguridad, que va desde asaltos hasta la parte de seguridad vial, entonces la infraestructura vial que tenga el país tiene que tener un buen manejo y estar en perfectas condiciones para que el turista se sienta cómodo, más ahora que se está dando tanto el viaje de las personas que por su cuenta, alquilan un vehículo y viajan por el país a diferentes zonas, siempre es importantísima la seguridad vial para el turista que nos visita” (como se cita en Madriz, 2022)

Para contribuir tanto a la seguridad de los usuarios como al mejoramiento de la infraestructura vial se plantea la siguiente pregunta: ¿Cuál es el estado actual de la ruta nacional 708 y que alternativas de intervención son necesarias para mejorar la condición actual del pavimento flexible?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Evaluar las patologías existentes y proponer alternativas de intervención que permitan mejorar la condición operacional del pavimento flexible en la ruta nacional 708 en Río Cuarto, Río Cuarto, Alajuela.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar un levantamiento de las patologías presentes en el pavimento flexible de la zona en estudio de acuerdo con el manual de auscultación visual de pavimentos de Costa Rica.
- Elaborar un inventario en formato de campo de los daños auscultados en la ruta nacional 708, basado en el manual de auscultación visual de pavimentos de Costa Rica.
- Aplicar la metodología PCI, utilizando el software EvalPav para determinar la condición operacional del pavimento de la sección en estudio según la norma ASTM D6433.
- Proponer técnicas de intervención y rehabilitación de la vía en función de las patologías encontradas en la zona de estudio, considerando las técnicas propuestas en el manual de auscultación visual de pavimentos de Costa Rica.

1.4 Justificación

Según la Organización Mundial de la Salud (2017), “Una infraestructura vial en mal estado aumenta el riesgo de ocasionar un accidente”. Y es que falta de mantenimiento es un problema común en muchas carreteras en todo el mundo, y Costa Rica no es la excepción. La falta de mantenimiento en las carreteras puede conducir a una disminución en la calidad en la superficie de ruedo, lo que puede afectar negativamente la seguridad de los conductores y los pasajeros, así como la eficiencia del transporte.

Actualmente, el país atraviesa una situación crítica en lo que respecta a la condición de la red vial nacional y cantonal, lo cual muestra un deterioro significativo. De acuerdo con el LanammeUCR (2022) revelan que el 88% de la red vial analizada requiere de un mantenimiento de preservación y el 12% restante hacen referencia a rehabilitaciones mayores, menores y reconstrucciones totales o parciales de la vía.

Dicha situación se debe principalmente a la falta de mantenimiento por parte de las entidades responsables de la red vial (Gobiernos locales, MOPT, CONAVI), evidenciando la falta de un sistema de gestión, que garantice al usuario de la vía la seguridad, el confort y gastos operativos razonables.

Esa falta de mantenimiento oportuno en las vías permite el desarrollo de daños en la superficie de la vía; situación que se acelera en la época invernal; al respecto la ing. Sequeira (2022) informa “Desde inicios del año pasado los contratos de mantenimiento vial están suspendidos, lo que significa que las carreteras no se han podido atender y con la entrada de la época lluviosa las vías se deterioran de forma acelerada” (como se cita en Salas, 2022, p. 1)

Según el informe de Evaluación de la Red Vial Nacional pavimentada de Costa Rica año 2020 -2021 publicado por el LANAMME, Costa Rica en términos de gestión de la Red Vial Nacional Pavimentada, presenta una crisis de infraestructura vial debido al abandono por falta de mantenimiento, la implementación de políticas como “el no hacer nada” o la implementación de políticas reactivas, las cuales constituyen prácticas inadecuadas en su gestión y es lo que ha llevado a que un 25% de la Red Vial Nacional Pavimentada muestre una gran fragilidad, la cual la hace susceptible a presentar deterioros

significativos en un corto plazo, en otras palabras, se tiene un alto porcentaje de la red vial pavimentada con bajos niveles de resiliencia.

Existen diferentes métodos para realizar la auscultación en los pavimentos flexibles, para la ruta nacional 708 se empleará el Método PCI referente a la norma ASTM D6433 para la identificación de los daños que presenta el pavimento en la vía. Esta norma proporciona la información necesaria sobre la condición operacional del pavimento, lo que permite validar el estado de este y proponer las mejoras pertinentes en su mantenimiento o rehabilitación en su diseño, según lo requiera.

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar las patologías existentes, determinar la condición operacional del pavimento y proponer alternativas de intervención que permitan mejorar la condición operacional del pavimento flexible en la ruta nacional 708 mediante el Método PCI.

1.5 Alcances y Limitaciones

1.5.1 Alcances

Se realiza una evaluación por medio de la metodología PCI bajo la norma ASTM D6433, la cual permite determinar la condición operacional del pavimento flexible de la vía en estudio con base en las patologías existentes.

Se realiza propuestas de intervención acordes a las patologías existentes a lo largo de la vía; cuyo levantamiento se realiza de acuerdo al manual de auscultación visual de pavimentos de Costa Rica.

Se establecerá un orden de prioridad para la realización de trabajos de mantenimiento y reparación de los pavimentos, de acuerdo con su condición y el nivel de uso.

1.5.2 Limitaciones

En la evaluación de la capacidad estructural del pavimento, la metodología PCI no proporciona una evaluación precisa de la misma, lo que puede ser importante para determinar si se requiere una rehabilitación o reconstrucción del pavimento.

El tráfico vehicular es uno de los limitantes en el desarrollo de este proyecto, esto debido a que las mediciones de los daños deben realizarse dentro de la vía, sin suspender el tránsito, considerando todas las medidas de seguridad necesarias para evitar un accidente.

La precisión de las mediciones, las cuales pueden verse afectadas por el equipo utilizado para realizarlas, así como las condiciones climáticas y el tráfico en el momento de la auscultación.

La interpretación de los resultados de la evaluación puede verse afectada por la subjetividad del evaluador, lo que puede llevar a una evaluación inexacta.

1.6 Impacto

El desarrollo de este proyecto tiene un beneficio social, ya que se entregará a la municipalidad de Río Cuarto un estudio técnico Ad honorem sobre la condición del pavimento de la ruta 708 y las posibles intervenciones requeridas para mantener su nivel de operación, para mejorarlo o para plantear la necesidad de una rehabilitación que le devuelva su capacidad estructural; con el cual la municipalidad pueda realizar en forma oportuna la mejor y más económica intervención a la vía; lográndose un beneficio a los usuarios y una optimización de los recursos económicos de las instituciones.

La metodología PCI considera el uso del espacio público y su relación con la accesibilidad, movilidad y seguridad vial para todos los usuarios, así como la reducción del impacto sonoro, la mejora del confort y la calidad de vida de las personas. También se toma en cuenta la creación de empleo y la generación de oportunidades económicas para la comunidad local durante la construcción y el mantenimiento de la vía.

II. Fundamentación teórica

2.1 Introducción a los pavimentos

Según la concepción de Mocondino (2020) “un pavimento es una estructura constituida por una serie de capas superpuestas, que se diseñan y constituyen teniendo en cuenta diferentes métodos, normas y especificaciones técnicas para materiales apropiados, que se someten a diferentes procesos constructivos con el fin de obtener una superficie apta que presente la rigidez y durabilidad necesaria para el tránsito de vehículos”.

2.2 Características que debe reunir un pavimento

Según Montejo (2002) un pavimento debe cumplir una serie de requerimientos para cumplir de forma satisfactoria sus funciones, entre las cuales se destacan las siguientes:

- Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.
- Ser resistente ante los agentes de intemperismo.
- Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, por cuanto ella tiene una decisiva influencia en la seguridad vial. Además, debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.
- Debe presentar una regularidad superficial, tanto transversal como longitudinal, que permitan una adecuada comodidad a los usuarios en función de las longitudes de onda de las deformaciones y de la velocidad de circulación.
- Debe ser durable.
- Presentar condiciones adecuadas respecto al drenaje.
- El ruido de rodadura, en el interior de los vehículos que afectan al usuario, así como en el exterior, que influye en el entorno, debe ser adecuadamente moderado.
- Debe ser económico.
- Debe poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos, y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito.

2.3 Tipos de pavimentos

Lo que diferencia a los diferentes tipos de pavimentos, en cuestión de las propiedades, es la elasticidad que tienen y la capacidad para deformarse, las cuales están en

dependencia de su estructura y los materiales que se utilizan en su proceso constructivo y se clasifican de la siguiente manera:

- Pavimentos rígidos
- Pavimentos flexibles
- Pavimentos semirrígidos
- Pavimentos articulados

Debido a que la capa de rodadura de la carretera a estudiar está construida en mezcla asfáltica, solo se va a detallar lo referente a pavimentos flexibles.

2.3.1 Pavimentos flexibles

El Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica [MOPT] (2022) define un pavimento flexible como “cuya superficie de rueda está constituida principalmente por mezcla asfáltica. En estos pavimentos la totalidad de la estructura interviene en la distribución de cargas. Dicha distribución depende de la trabazón entre agregados, la fricción entre partículas y cohesión (estabilidad)”.

Es importante hacer énfasis a que “este tipo de pavimentos está formado por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la subbase. No obstante, puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra”. (Castaño et al., 2009, p. 21)

Figura 1.

Paquete estructural de un pavimento flexible



Nota. Esta figura representa la vista general de las diferentes capas que componen la estructura típica del pavimento flexible. Tomado de Arroyo (2016). <http://slideplayer.es/slide/10916850/>

2.4 Fallas habituales en los pavimentos flexibles

2.4.1 Categoría de fallas

Una falla en un pavimento se puede definir como cualquier tipo de deformación o daño que se presente en la superficie del pavimento, ya sea por agrietamiento, hundimiento, deformación plástica, deslizamiento o cualquier otra forma de deterioro. Estas fallas pueden ser causadas por diferentes factores, como cargas pesadas, variaciones climáticas, erosión, falta de mantenimiento, entre otros. Es importante detectar y reparar las fallas en los pavimentos a tiempo para evitar un mayor deterioro y garantizar la seguridad y comodidad de los usuarios de las vías (Montejo, 2002).

Los pavimentos pueden fallar de dos maneras distintas, ya sea de manera estructural o de manera funcional:

2.4.1.1 Falla estructural.

El SIECA (2000) define una falla estructural en un pavimento como una fisura o grieta que se presenta en la superficie del pavimento y que afecta su capacidad estructural, es decir, su capacidad para soportar el tránsito vehicular y las cargas a las que está expuesto. Esta falla puede estar causada por diversos factores, como el desgaste natural del pavimento debido al tránsito vehicular, la falta de mantenimiento adecuado, el uso de materiales de baja calidad en la construcción del pavimento, entre otros. En cualquier caso, una falla estructural puede comprometer seriamente la seguridad y la calidad del pavimento, y debe ser reparada lo antes posible para evitar accidentes y garantizar la durabilidad del mismo.

2.4.1.2 Falla funcional.

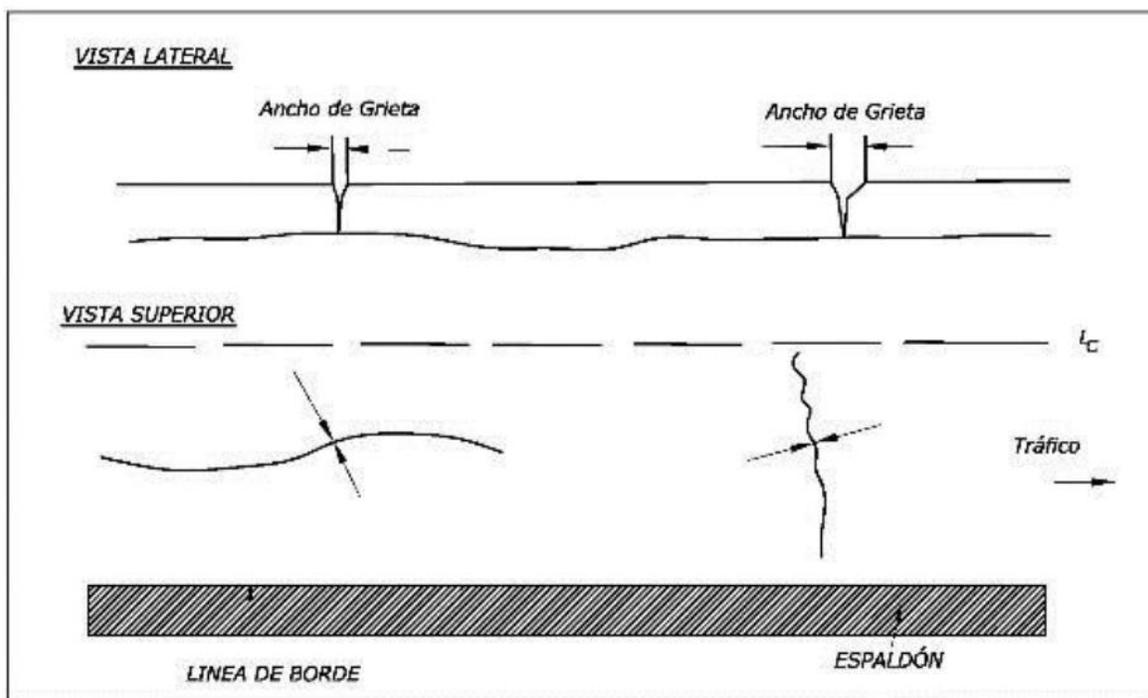
El Sistema de Integración Centroamericana (SIECA,2000) define una falla funcional en un pavimento como una disminución significativa en la calidad del servicio que el pavimento proporciona a los usuarios, ya sea en términos de seguridad, comodidad o economía. Esto puede deberse a una variedad de factores, como la presencia de baches, grietas, ondulaciones, deformaciones o desgaste excesivo. Una falla funcional puede afectar negativamente la capacidad de un pavimento para soportar cargas vehiculares, reducir la tracción y la capacidad de frenado, aumentar el ruido y la vibración, y generar costos adicionales para el mantenimiento y reparación del pavimento. En resumen, una falla

funcional representa una disminución significativa en la calidad del servicio del pavimento y puede afectar negativamente la seguridad y el bienestar de los usuarios de la vía.

2.5 Medición de deterioros

Existen una serie de criterios para medir o caracterizar la longitud de los daños, como por ejemplo en la figura 2 se puede observar la forma correcta de medir los anchos de las grietas.

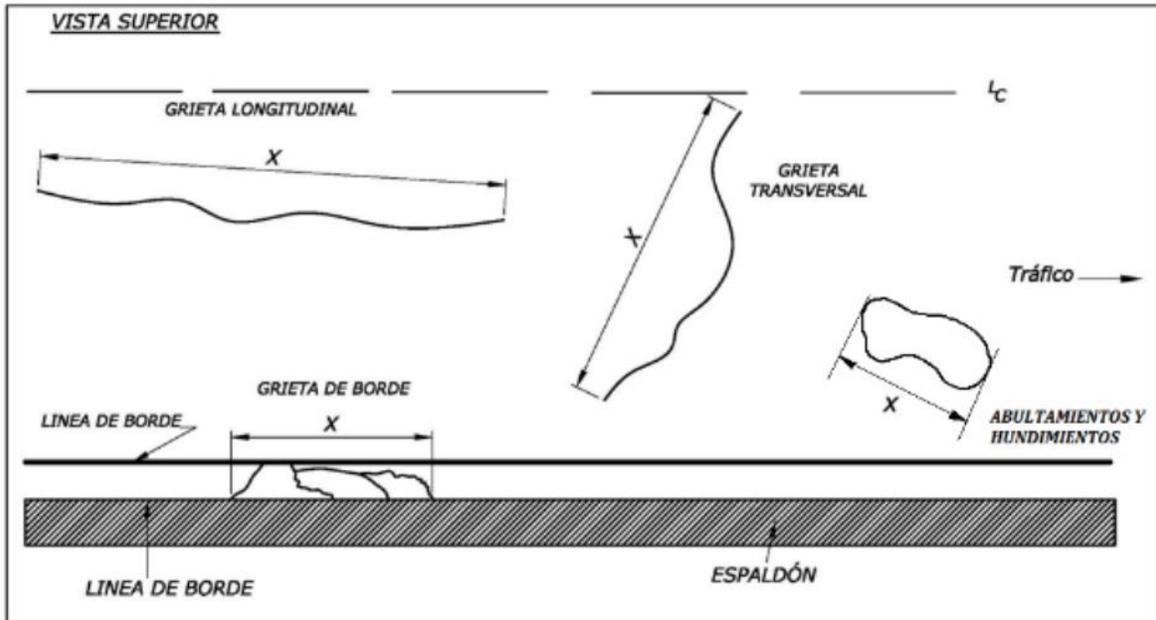
Figura 2.
Medición correcta de los anchos de grieta



Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

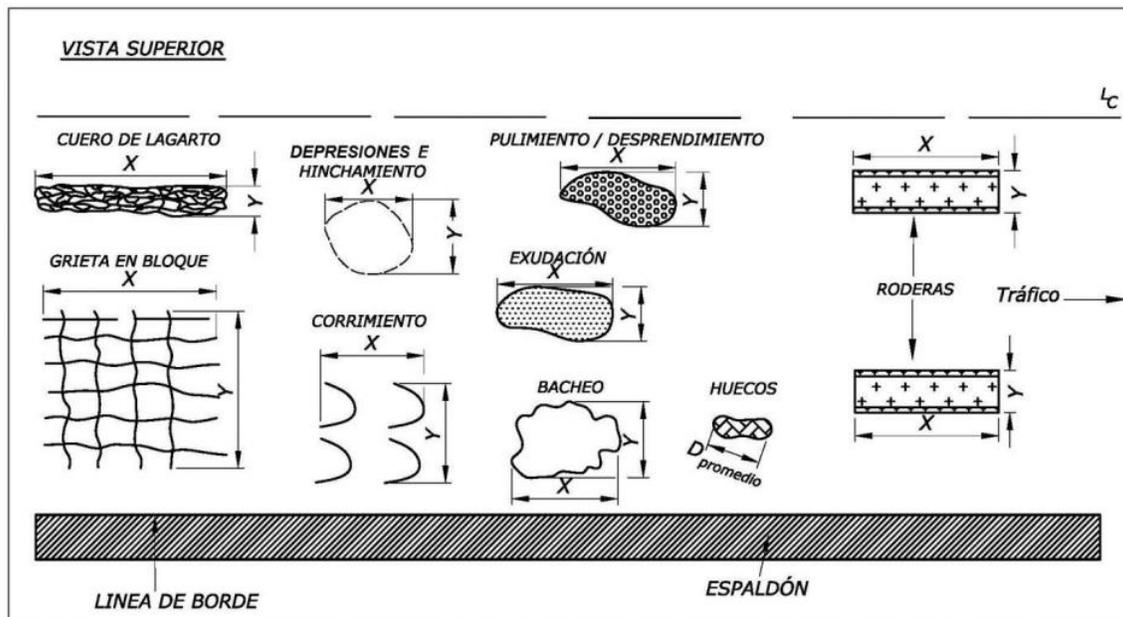
En la figura 3 se puede contemplar la manera correcta en que se deben de medir los deterioros en metros lineales y en la figura 4 en metros cuadrados. El Manual de Auscultación Visual [MAV], (2016) hace énfasis en que a la hora de tomar las mediciones en metros cuadrados no hace falta ser muy preciso, sino, que se debe de tomar en cuenta el ancho y largo de mayor extensión y con base a esas medidas se calcula la extensión.

Figura 3.
Medida correcta de los deterioros en metros lineales



Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

Figura 4.
Medida correcta de los deterioros en metros cuadrados



Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

2.6 Tipos de deterioros en pavimentos flexibles

A continuación, se explican las veinte fallas más usuales presentes en los pavimentos flexibles, las cuales se consideran en la norma ASTM D6433-18 (2018), la cual hace referencia a la metodología para el cálculo del Índice de Condición del Pavimento [PCI] y se presenta a su vez algunas recomendaciones de intervención individuales en base a cada tipo de falla, no obstante, las recomendaciones que se presentan no se deben considerar como únicas soluciones técnicas, ya que se deberá realizar un análisis de los deterioros (causa, severidad y frecuencia) y en base al valor de PCI obtenido, se deberá plantear una solución global frente a una posible combinación de deterioros presentes en una misma área.

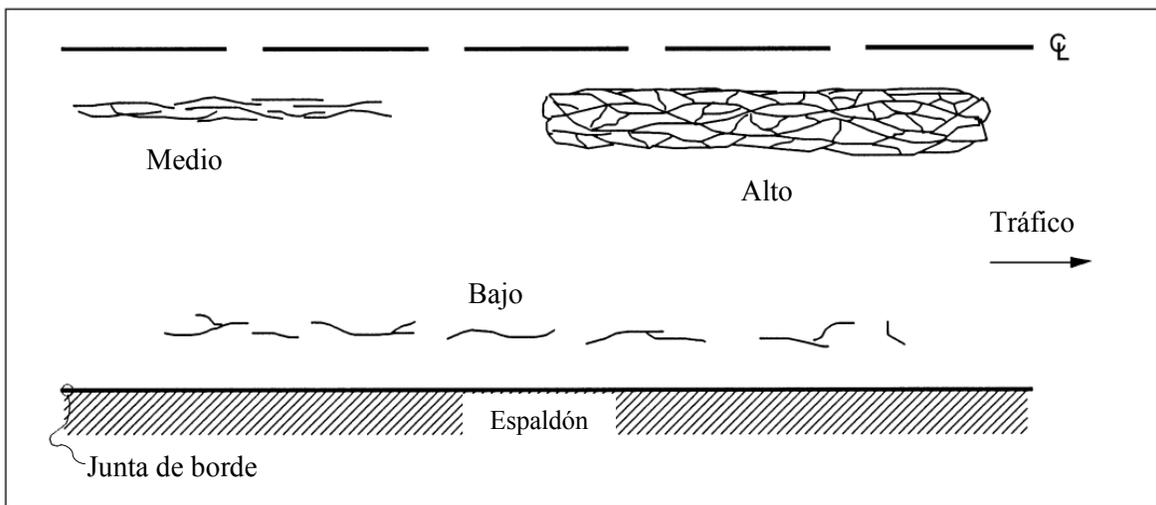
2.6.1 Grietas

2.6.1.1 Cuero de lagarto / Grietas por fatiga.

El MOPT (2022) define el cuero de lagarto como “una serie de grietas interconectadas causadas debido a la falla por fatiga (paso repetido de vehículos), las grietas se propagan del fondo de la capa de mezcla asfáltica hacia arriba. El deterioro aparece inicialmente como una serie de grietas longitudinales paralelas que conforme se someten a más pasadas vehiculares se interconectan y forman algo parecido al cuero de un lagarto. El deterioro ocurre solamente en áreas sujetas al paso repetido de los vehículos como las huellas de estos”.

Figura 5.

Esquema de cuero de lagarto en pavimento flexible



Nota. Adaptado del manual de deterioros de la Federal Highway Administration

2.6.1.1.1 Causas probables.

El MOPT (2016) establece las posibles causas de esta falla:

- Falla por fatiga de la capa de rodadura asfáltica, generalmente en la huella, bajo acción repetida de las cargas de tránsito. Por lo general, el fisuramiento excesivo indica que el pavimento ya no tiene capacidad estructural de sostener las cargas de tránsito y ha llegado al final de su vida útil;
- Ligante envejecido;
- Subdrenaje inadecuado en sitios aislados (p.36)

2.6.1.1.2 Niveles de severidad.

El MOPT (2016) en el MAV-16 establece los criterios de severidad asociados a las fallas por fatiga, en el cual se realizó una complementación con los indicados en la metodología VIZIR el cual contaba con un parámetro cuantitativo:

- Baja: Las grietas longitudinales paralelas se encuentran en buen estado y poseen ninguna o muy pocas conexiones. Las grietas no están fracturadas en los bordes;
- Media: Las grietas poseen más interconexiones y comienzan a formar el patrón de cuero de lagarto, algunas se encuentran fracturadas en los bordes. Las grietas pueden formar mallas entre 20 cm x 20 cm y 50 cm x 50 cm;

- Alta: Se ha formado un patrón de grietas totalmente interconectadas (simulando cuero de lagarto) que se encuentran en su mayoría fracturadas en los bordes y que forman bloques sueltos que pueden llegar a moverse bajo el paso de un vehículo. Las grietas forman mallas menores a 20 cm x 20 cm (p.36).

2.6.1.1.3 Posibles acciones de intervención

El MOPT (2016) establece las siguientes posibles acciones para intervenir el pavimento ante esta posible falla:

- Evaluar previamente el sistema de drenaje superficial o subdrenajes, para lo cual y si corresponde, se deberán tomar las medidas correctivas necesarias para evitar afectaciones en la estructura del pavimento;
- Bajo y Medio: Sellos asfálticos, tratamientos superficiales asfálticos;
- Alto: Bacheo (para casos puntuales) o Sustitución de capa asfáltica.

Figura 6. *Piel de cocodrilo - severidad baja*



Nota. Tomado del manual de deterioros de la Federal Highway Administration, 2014.

Figura 7. *Piel de cocodrilo - severidad media*



Nota. Tomado del manual de deterioros de la Federal Highway Administration, 2014.

Figura 8. *Piel de cocodrilo - severidad alta*



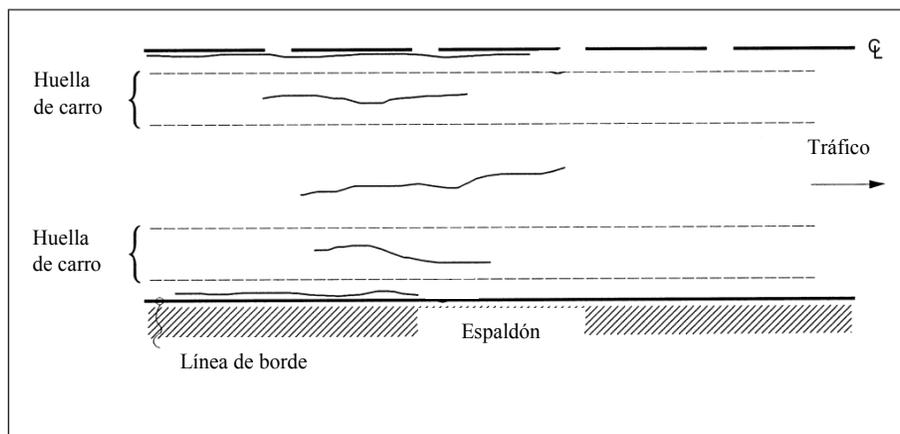
Nota. Tomado del manual de deterioros de la Federal Highway Administration, 2014.

2.6.1.2 Grieta longitudinal y transversal

Según el MAV-16 “las grietas longitudinales son paralelas a la línea de centro de la carretera y las transversales se extienden a través del pavimento en ángulos rectos con respecto a la línea de centro de la carretera” (MOPT, 2016, p.38).

Figura 9.

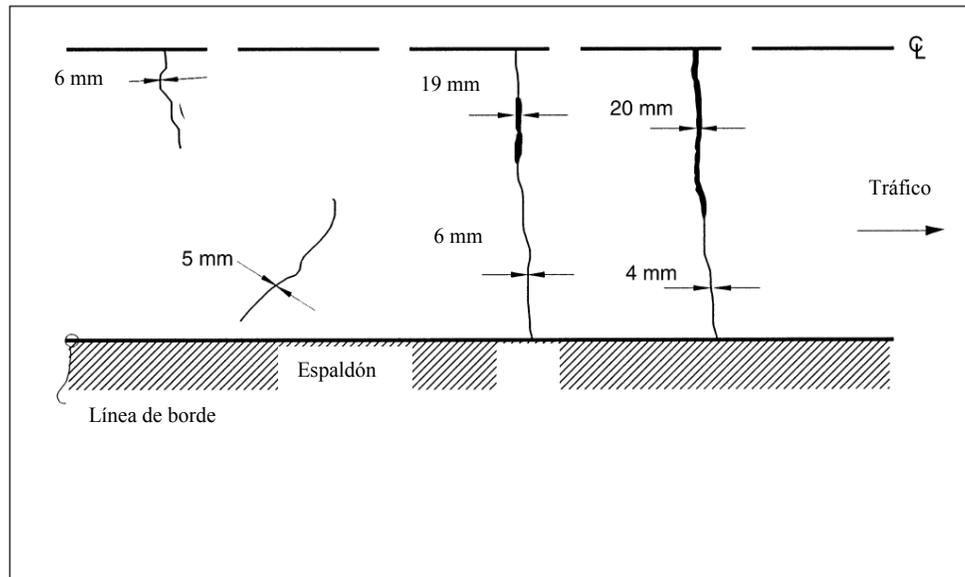
Esquema de grieta longitudinal (vista superior)



Nota. Adaptado del manual de deterioros de la Federal Highway Administration

Figura 10.

Esquema de grieta transversal (vista superior)



Nota. Adaptado del manual de deterioros de la Federal Highway Administration

2.6.1.2.1 Causas probables

Según el MOPT (2016) las causas más comunes en ambos tipos de grietas son:

- Reflexión de grietas causadas por grietas existentes debajo de la superficie de rodamiento; incluye grietas en pavimentos conformadas por capas estabilizadas químicamente o de concreto;
- Endurecimiento por envejecimiento o drenaje inadecuado;
- Juntas de construcción inadecuadamente trabajadas (p.38).

2.6.1.2.2 Niveles de severidad

El manual de deterioros de la Federal Highway Administration (2014) establece los siguientes criterios de severidad, los cuales son los mismos establecidos en el MAV-16:

- Bajo: Una fisura no sellada con un ancho menor a 6 mm o una fisura sellada con material sellante en buenas condiciones y con un ancho que no se puede determinar;
- Medio: Fisuras con un ancho mayor a 6mm y menor a 19 mm o, menor a 19 mm con ramificaciones pequeñas o grieta sellada rodeada de ramificaciones pequeñas;

- Alto: Cualquier fisura con un ancho mayor a 19 mm o grieta sellada con bifurcaciones grandes e importantes con una severidad moderada a alta. Bordes de grieta normalmente degradados (p. 6).

2.6.1.2.3 Posibles acciones de intervención

El MOPT establece posibles acciones para intervenir el pavimento ante esta posible falla:

- Evaluar previamente el sistema de drenaje superficial o subdrenajes, para lo cual y si corresponde, se deberán tomar las medidas correctivas necesarias para evitar afectaciones en la estructura del pavimento.
- Bajo y Medio: Sellado de fisuras o grietas.
- Alto: Sellado de fisuras y grietas o Bacheo.

Figura 11.

Grieta longitudinal/transversal - severidad baja



Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

Figura 12.

Grieta longitudinal/transversal - severidad media



Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

Figura 13.

Grieta longitudinal/transversal - severidad alta



Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

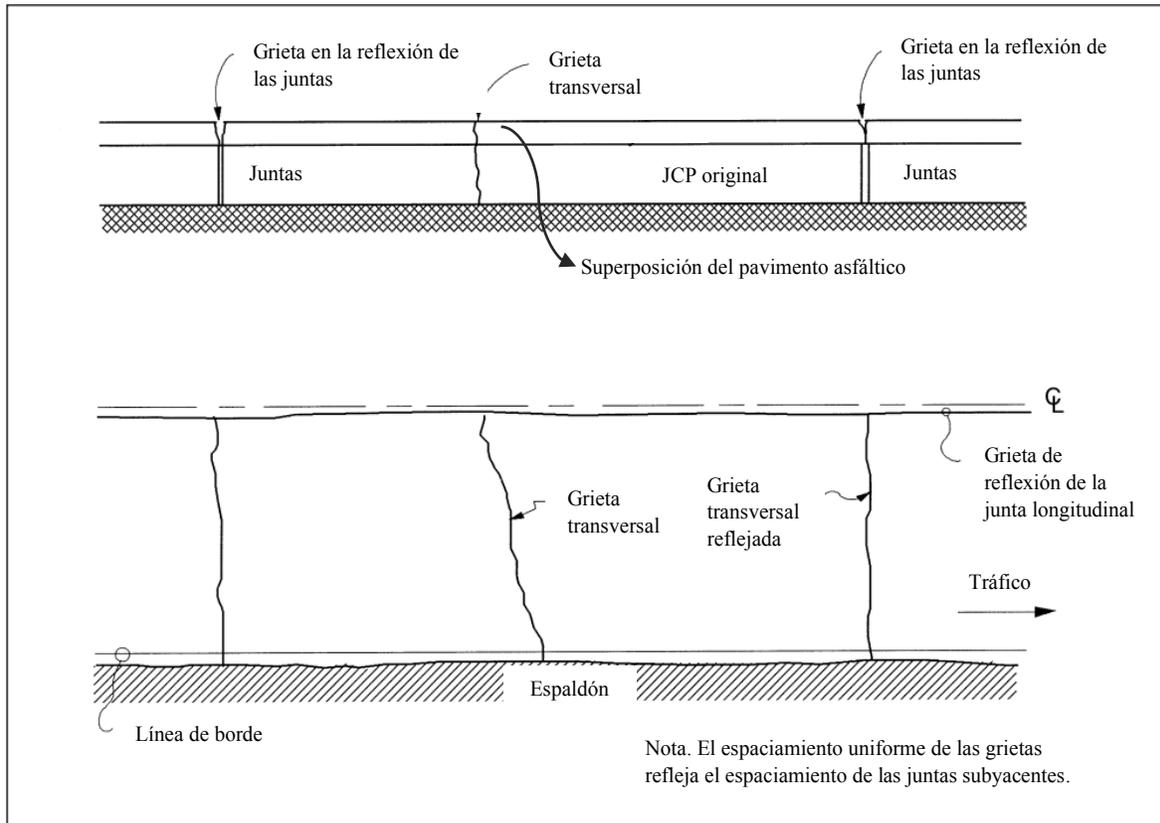
2.6.1.3 Agrietamiento por reflejo de juntas

Estas se presentan solo en pavimentos mixtos conformados por una superficie asfáltica sobre losas de concreto, el cual consiste en la proyección ascendente a través de la

capa asfáltica, de las juntas del pavimento de concreto de la capa subyacente (INVIAS, 2016, p. 54).

Figura 14.

Esquema de agrietamiento por reflejo de juntas



Nota. Adaptado del manual de deterioros de la Federal Highway Administration

2.6.1.3.1 Causas probables

El MOPT (2016) establece las siguientes posibles fallas:

- Se debe principalmente al reflejo de las juntas del pavimento de concreto sobre el cual se colocó la carpeta asfáltica (p.41)

2.6.1.3.2 Niveles de severidad

El MOPT (2016) en el MAV-16 presenta los siguientes criterios de severidad los cuales están tomados del manual de deterioros de la Federal Highway Administration (2003).

- Bajo: Ancho menor a 6 mm o selladas en buenas condiciones y con un ancho que no se puede medir, sin ramificaciones en los bordes;
- Medio: Ancho mayor a 6 mm y menor a 19 mm o, menor a 19 mm con ramificaciones pequeñas o grieta sellada rodeada de ramificaciones pequeñas;
- Alto: Ancho mayor a 19 mm o grieta sellada con ramificaciones grandes e importantes. Bordes de grieta normalmente degradados (p.41).

2.6.1.3.3 Posibles acciones de intervención

El MOPT (2016) establece posibles acciones para intervenir el pavimento ante esta posible falla:

- Bajo y Medio: Sellado de fisuras o grietas;
- Alto: Sellado de fisuras y grietas o Bacheo.

Figura 15.

Agrietamiento por reflejo de juntas - severidad baja/medio



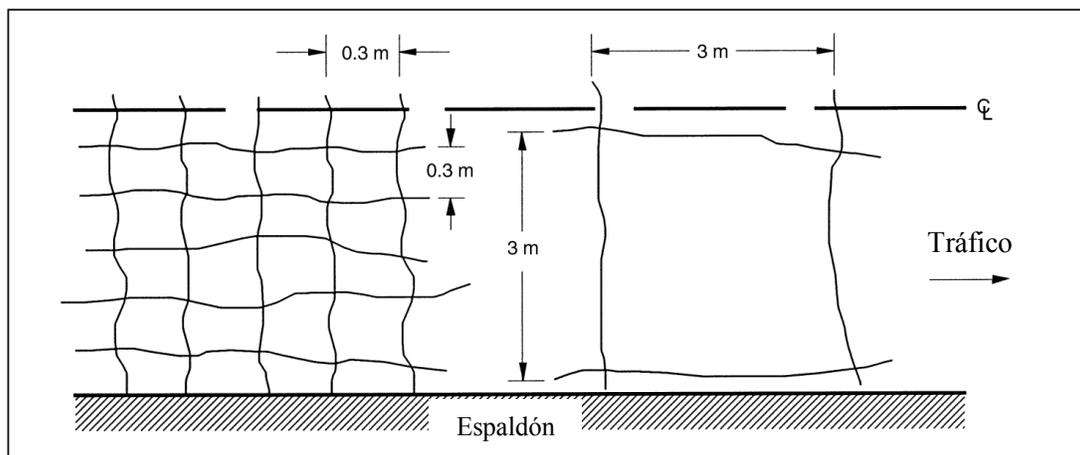
Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

Figura 16.*Grietas por reflejo de juntas - severidad alta*

Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

2.6.1.4 Grietas en bloque

Las grietas en bloque “son grietas interconectadas que dividen el pavimento en piezas rectangulares, estos pueden variar en tamaño desde aproximadamente 0,3 m x 0,3 m a 3 m x 3m” (ASTM, 2018, p.12).

Figura 17.*Esquema de grietas en bloque*

Nota. Adaptado de Federal Highway Administration.

2.6.1.4.1 Causas probables

El MOPT (2016) define una serie de posibles causas para el agrietamiento en bloque en las cuales se destacan las siguientes:

- Se originan principalmente por la contracción del concreto asfáltico y los ciclos de temperatura diarios (lo cual origina ciclos diarios de esfuerzo / deformación unitaria).
- Por el reflejo de grietas en capas estabilizadas.
- Por lo general, el origen de estas grietas no está asociado a las cargas de tráfico; sin embargo, dichas cargas incrementan la severidad de las fisuras. La presencia de fisuras en bloques generalmente es indicativa de que el asfalto se ha endurecido significativamente (p.43).

2.6.1.4.2 Niveles de severidad

Se toman los niveles de severidad establecidos por el MOPT (2016) en el MAV-16:

- Bajo: Las grietas del bloque son definidas por los criterios correspondientes al deterioro de "Grieta longitudinal y transversal" de severidad baja;
- Medio: Las grietas del bloque son definidas por los criterios correspondientes al deterioro de "Grieta longitudinal y transversal" de severidad media;
- Alto: Las grietas del bloque son definidas por los criterios correspondientes al deterioro de "Grieta longitudinal y transversal" de severidad alta (p. 43).

2.6.1.4.3 Posibles acciones de intervención

El MOPT establece posibles acciones para intervenir el pavimento ante esta posible falla:

- Evaluar previamente el sistema de drenaje superficial o subdrenajes, para lo cual y si corresponde, se deberán tomar las medidas correctivas necesarias para evitar afectaciones en la estructura del pavimento;
- Bajo: Sellado de fisuras y grietas, Sellos asfálticos, tratamientos superficiales asfálticos;
- Medio: Sellos asfálticos, tratamientos superficiales asfálticos;
- Alto: Sustitución de capa asfáltica (p.43).

Figura 18.

Grietas en bloque - severidad baja



Nota. Tomado de la nora ASTM D6433-18, 2018.

Figura 19.

Grietas en bloque - severidad media



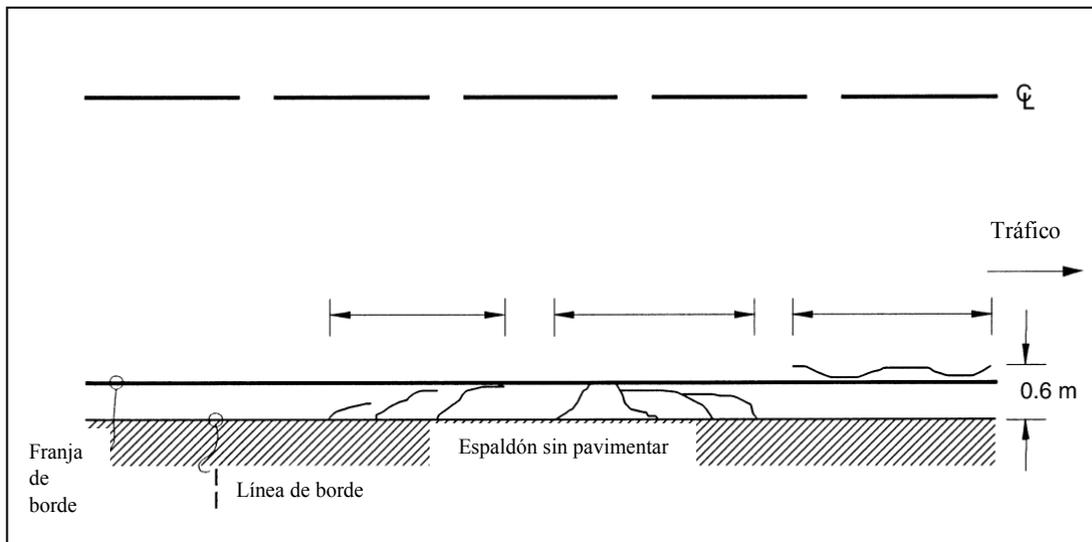
Nota. Tomado de la norma ASTM D6433-18, 2018.

Figura 20.*Grietas en bloque - severidad alta*

Nota. Tomado de la norma ASTM D6433-18, 2018.

2.6.1.5 Grietas de borde

Según el MOPT (2016) en la MAV-16 establece que las grietas de borde “son paralelas y usualmente separadas de 0,3 a 0,5m del borde externo del pavimento”

Figura 21.*Esquema de grietas de borde*

Nota. Adaptado del manual de deterioros de la Federal Highway Administration.

2.6.1.5.1 Causas probables

- Este daño puede originarse por debilitamiento, debido a condiciones climáticas, de la base o de la subrasante próximas al borde del pavimento, menor confinamiento lateral, deficiente compactación del borde, falla de rellenos, falla de taludes, fallas en los drenajes, entre otras; y se acelera por las cargas de tránsito (MOPT, 2016, p.45.).

2.6.1.5.2 Niveles de severidad

Se establecen los siguientes niveles de severidad establecidos por el MOPT (2016):

- Bajo: Agrietamiento bajo o medio definido por los criterios correspondientes al deterioro de "Grieta longitudinal y transversal", sin fracturas ni desprendimiento de agregado;
- Medio: Agrietamiento medio definido por los criterios correspondientes al deterioro de "Grieta longitudinal y transversal" con algunas fracturas y desprendimiento de agregado;
- Alto: Existen fracturas y desprendimiento de agregado considerable a través del borde del pavimento (p.45.).

2.6.1.5.3 Posibles acciones de intervención

El MOPT establece posibles acciones para intervenir el pavimento ante esta posible falla:

- Evaluar previamente el sistema de drenaje superficial o subdrenajes, para lo cual y si corresponde, se deberán tomar las medidas correctivas necesarias para evitar afectaciones en la estructura del pavimento;
- Bajo: Sellado de fisuras y grietas;
- Medio y Alto: Evaluación de las condiciones de drenaje y atención de las mismas. Reconstruir los espaldones colocando material perfectamente compactado y al menos revestido con un TS. Sellar las áreas comprometidas. Construcción de muro de retención.

Figura 22.

Grietas de borde - severidad baja



Nota. Tomado de la norma ASTM D6433-18, 2018.

Figura 23.

Grietas de borde - severidad media



Nota. Tomado de la norma ASTM D6433-18, 2018.

Figura 24.

Grietas de borde - severidad alta



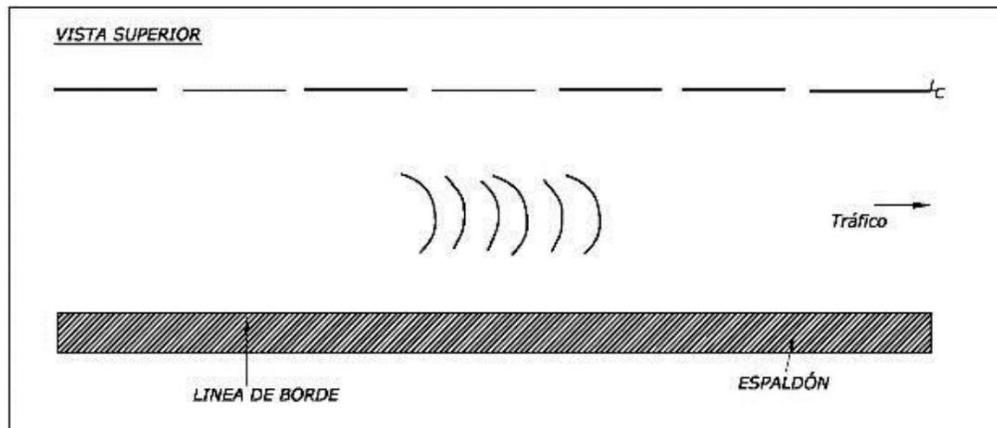
Nota. Tomado de la norma ASTM D6433-18, 2018.

2.6.1.6 Grietas en arco

Estas son fisuras de forma parabólica o media luna, generalmente estas son transversales a la dirección del flujo vehicular (INVIAS, 2006).

Figura 25.

Esquema de grietas en arco



Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

2.6.1.6.1 Causas probables

- Este daño puede originarse por debilitamiento, debido a condiciones climáticas, de la base o de la subrasante próximas al borde del pavimento, menor confinamiento lateral, deficiente compactación del borde, falla de rellenos, entre otras; y se acelera por las cargas de tránsito (MOPT, 2016, p.45.).

2.6.1.6.2 Niveles de severidad

El MOPT (2016) en el MAV-16 establece los criterios de severidad:

- Bajo: El ancho promedio de la grieta es menor a 10 mm;
- Medio: Alguna de las siguientes condiciones: el ancho promedio de la grieta está entre 10 mm y 40 mm o el área alrededor de la grieta está ligeramente fracturada o rodeada de grietas más pequeñas;

- Alto: alguna de las siguientes condiciones: el ancho promedio de la grieta es mayor a 40 mm o el área alrededor de la grieta está fracturada en pedazos que se pueden mover (p.47.).

2.6.1.6.3 Posibles acciones de intervención

El MOPT establece posibles acciones para intervenir el pavimento ante esta posible falla:

- Evaluar previamente el sistema de drenaje superficial o subdrenajes, para lo cual y si corresponde, se deberán tomar las medidas correctivas necesarias para evitar afectaciones en la estructura del pavimento;
- Bajo y Medio: Bacheo;
- Alto: Bacheo (para casos puntuales) o Sustitución de capa asfáltica.

Figura 26.

Grietas en arco - severidad baja



Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

Figura 27.

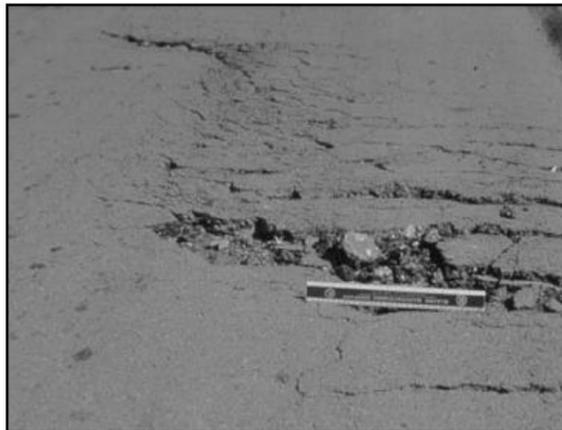
Grietas en arco - severidad media



Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

Figura 28.

Grietas en arco - severidad alta



Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

2.6.2 Deformaciones

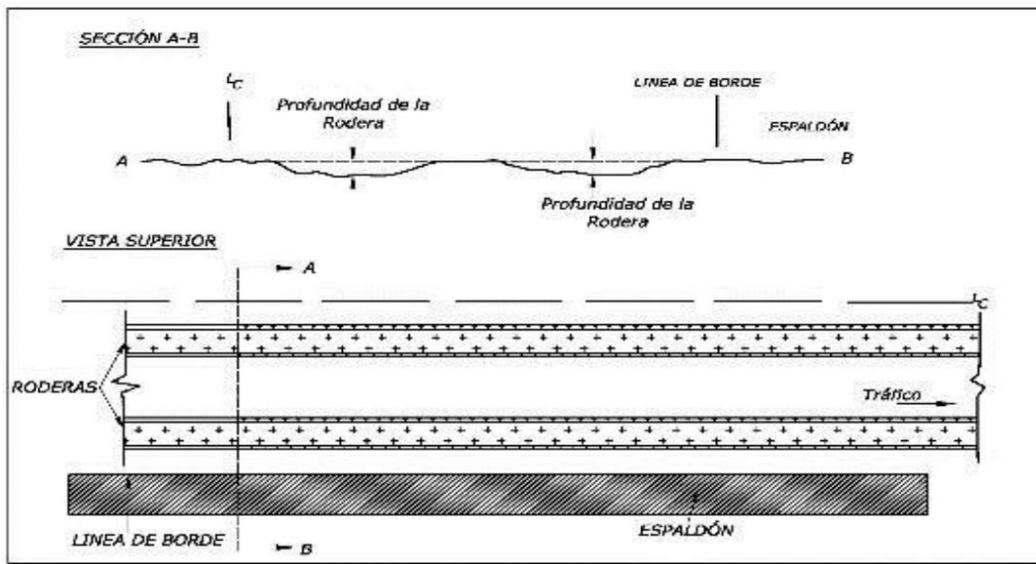
2.6.2.1 Roderas/Ahuellamiento

El ahuellamiento es uno de los deterioros comunes en los pavimentos flexibles, el cual se puede definir como una depresión en las huellas del vehículo, el ahuellamiento se

debe a una deformación permanente en alguna de las partes que componen la estructura del pavimento (MOPT, 2016, p.49).

Figura 29.

Esquema de roderas/ahuellamiento



Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

2.6.2.1.1 Causas probables

Se detallan algunas de las posibles causas al problema del ahuellamiento o rodera, los cuales están establecidos del MAV-16 los cuales basados con la norma ASTM D6433:

- Técnica de construcción pobre y un mal control de calidad. Las capas pobremente compactadas;
- Inestabilidad en bases y sub-bases granulares, creada por la presión del agua o saturación de la misma;
- La acción del tránsito (sobrecargas y altos volúmenes de tránsito no previstos en el diseño original);
- Utilización de materiales no apropiados o de mala calidad, entre otras (MOPT, 2016, p.49.).

2.6.2.1.2 Niveles de severidad

Los parámetros para el establecimiento de los niveles de severidad se tomaron del MAV-16:

- Bajo: La profundidad promedio es de 6 mm a 13 mm;
- Medio: La profundidad promedio es de 13 mm a 25 mm;
- Alto: La profundidad promedio es mayor a 25 mm (MOPT, 2006, p.49)

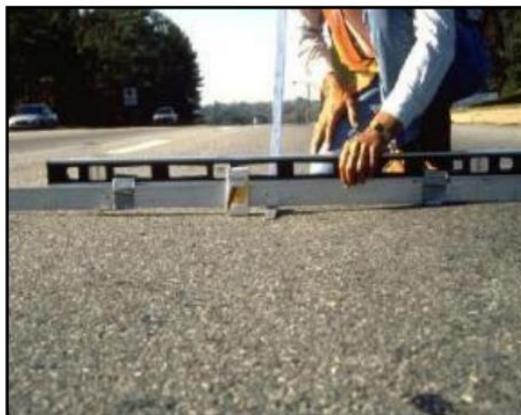
2.6.2.1.3 Posibles acciones de intervención

El MOPT establece posibles acciones para intervenir el pavimento ante esta posible falla:

- Bajo: Bacheo (para casos puntuales) o Tratamiento Superficial o Sellos asfálticos.
- Medio: Bacheo (para casos puntuales), tratamientos superficiales asfálticos, Sustitución de capa asfáltica o colocación de sobrecapa asfáltica.
- Alto: Sustitución de capa asfáltica (perfilado y carpeteo).

Figura 30.

Roderas/Ahuellamiento - severidad baja



Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

Figura 31.

Roderas/Ahuellamiento - severidad media



Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

Figura 32.

Roderas/Ahuellamiento - severidad alta



Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

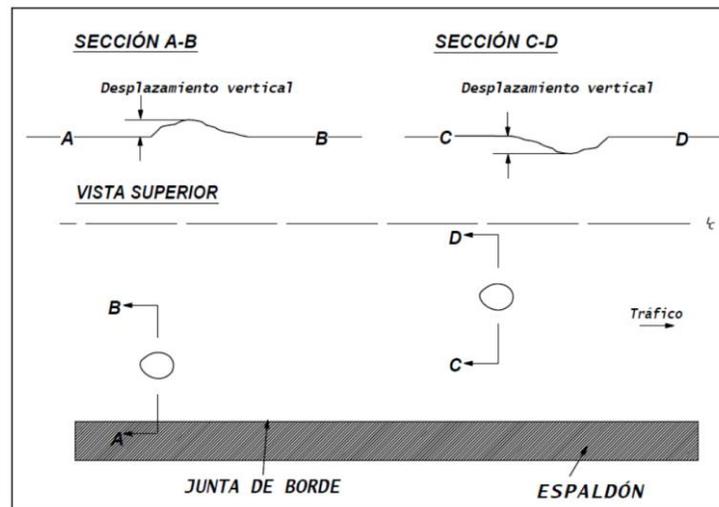
2.6.2.2 Abultamiento y hundimientos

Los abultamientos son levantamientos de la carpeta asfáltica, por lo general estos son localizados y tamaño pequeño o gradualmente en áreas grandes, en algunos casos puede venir acompañados de grietas. Los hundimientos son todo lo contrario, estos son

depresiones localizadas en el pavimento, pueden estar de forma transversal o longitudinal con respecto a la línea de calle e incluso pueden tener forma de arco (INVIAS, 2006, pp.12-13).

Figura 33.

Esquema de abultamientos y hundimientos



Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

2.6.2.2.1 Causas probables

Las posibles causas de este deterioro se pueden deber a:

- Técnicas de construcción y de control de calidad inadecuadas;
- Levantamientos localizados producto de raíces, alcantarillas, otros;
- Por la acción del tránsito vehicular;
- Materiales de construcción inapropiados o de mala calidad, entre otros (MOPT, 2016, p.51)

2.6.2.2.2 Niveles de severidad

Se toman los niveles de severidad establecidos por el MOPT (2016):

- Bajo: Calidad de ruedo de severidad baja, con una deformación vertical aproximada de 3 mm a 50 mm;
- Medio: Calidad de ruedo de severidad media, con una deformación vertical aproximada de 50 mm a 100 mm;

- Alto: Calidad de ruedo de severidad alta, con una deformación vertical aproximada de más de 100 mm (p. 51)

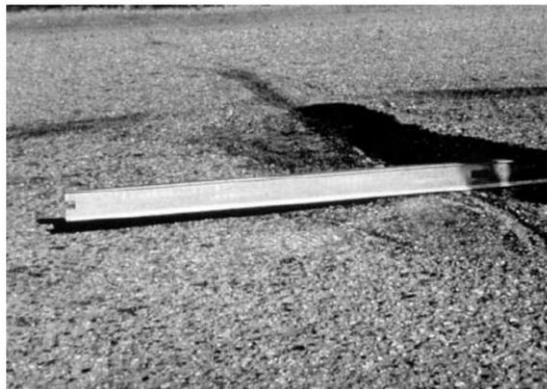
2.6.2.2.3 Posibles acciones de intervención

El MOPT establece posibles acciones para intervenir el pavimento ante esta posible falla:

- Evaluar previamente el sistema de drenaje superficial o subdrenajes, para lo cual y si corresponde, se deberán tomar las medidas correctivas necesarias para evitar afectaciones en la estructura del pavimento;
- Bajo: Bacheo;
- Medio y Alto: Bacheo (para casos puntuales) o Sustitución de capa asfáltica.

Figura 34.

Abultamientos y hundimientos - severidad baja



Nota. Tomado de la norma ASTM D6433-18, 2018

Figura 35.

Abultamientos y hundimientos - severidad media



Nota. Tomado de la norma ASTM D6433-18, 2018

Figura 36.

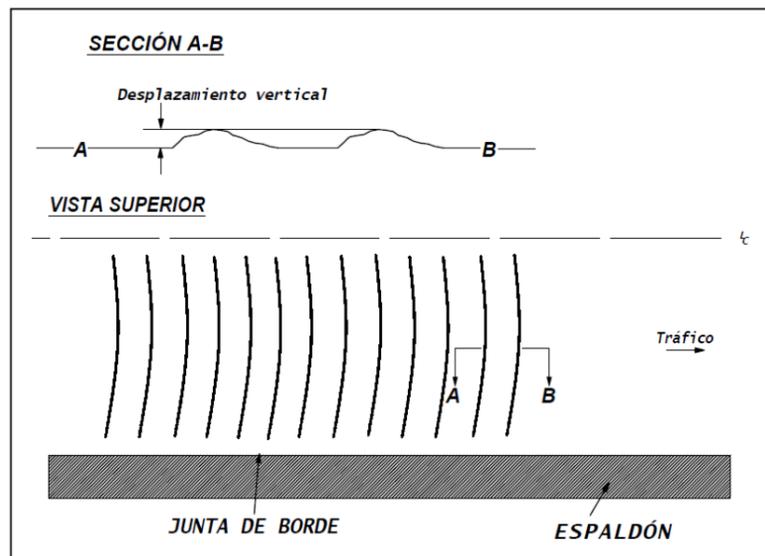
Abultamientos y hundimientos - severidad alta



Nota. Tomado de la norma ASTM D6433-18, 2018.

2.6.2.3 Corrugación

Es una serie de crestas y valles (ondulaciones) estrechamente espaciados, que se producen a intervalos bastante regulares, normalmente menos de 3 m a lo largo del pavimento. Las crestas son perpendiculares a la línea de calle. (ASTM D6433-18, 2018, p.14.)

Figura 37.*Esquema de corrugación*

Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

2.6.2.3.1 Causas probables

El MOPT (2016) describe las posibles causas de esta falla:

- Técnica de construcción pobre y un mal control de calidad. Las capas pobremente compactadas;
- Inestabilidad en bases y sub-bases granulares, creada por la presión del agua o saturación de la misma;
- La acción del tránsito (sobrecargas y altos volúmenes de tránsito no previstos en el diseño original);
- Utilización de materiales no apropiados o de mala calidad, entre otras (p.53).

2.6.2.3.2 Niveles de severidad

Se toman los niveles de severidad establecidos por el MOPT (2016):

- Bajo: Calidad de ruedo de severidad baja, levantamiento menor a 20 mm;
- Medio: Calidad de ruedo de severidad media, levantamiento entre 20 mm y 50 mm;
- Alto: Calidad de ruedo de severidad alta, levantamiento mayor a 50 mm. (p.53)

2.6.2.3.3 Posibles acciones de intervención

El MOPT establece posibles acciones para intervenir el pavimento ante esta posible falla:

- Bajo: Evaluar el área afectada para definir la intervención idónea (No hacer nada, Perfilado, entre otras).
- Medio y Alto: Sustitución de capa asfáltica.

Figura 38.

Corrugación - severidad baja



Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

Figura 39.

Corrugación - severidad media



Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

Figura 40.
Corrugación - severidad alta

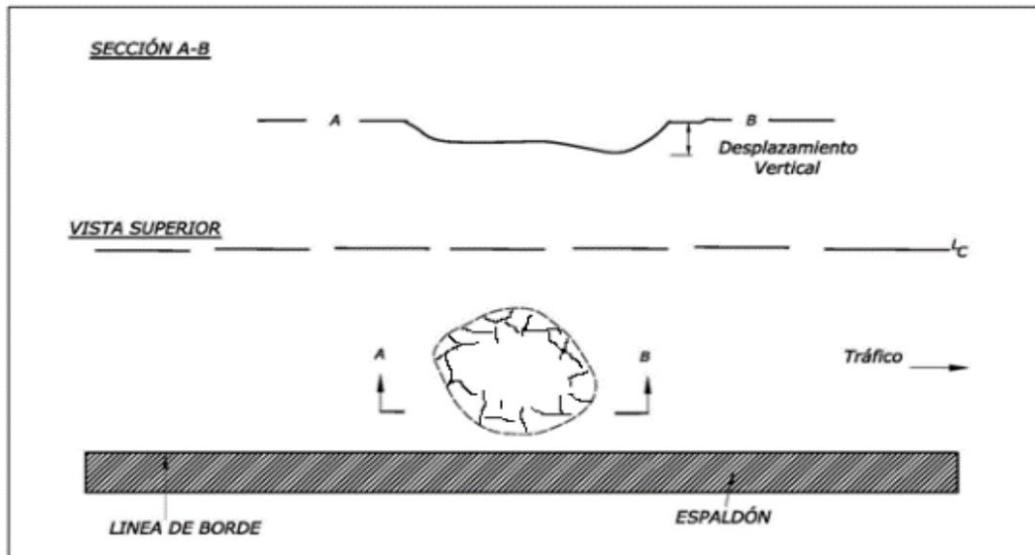


Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

2.6.2.4 Depresiones

Estas son zonas localizadas con elevaciones levemente inferiores a las del pavimento circundante, en muchas ocasiones estas pueden detectarse buscando manchas causadas por el agua estancada. (ASTM D6433-18, 2018, p.15.)

Figura 41.
Esquema de depresiones



Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

2.6.2.4.1 Causas probables

El MOPT (2016) describe una serie de las posibles causas de esta falla:

- Técnica de construcción pobre y un mal control de calidad. Las capas pobremente compactadas;
- Inestabilidad en bases y sub-bases granulares, creada por la presión del agua o saturación de la misma;
- Puntos de falla en el área del terreno próxima al pavimento. • Utilización de materiales no apropiados o de mala calidad, entre otras (p55).

2.6.2.4.2 Niveles de severidad

Se toman los niveles de severidad establecidos por el MOPT (2016) los cuales también son los mismos de la norma ASTM D6433-18:

- Bajo: De 13 mm a 25 mm de profundidad en el punto más hondo.
- Medio: De 25 mm a 50 mm de profundidad en el punto más hondo.
- Alto: Más de 50 mm de profundidad en el punto más hondo.

2.6.2.4.3 Posibles acciones de intervención

El MOPT establece posibles acciones para intervenir el pavimento ante esta posible falla:

- Evaluar previamente el sistema de drenaje superficial o subdrenajes, para lo cual y si corresponde, se deberán tomar las medidas correctivas necesarias para evitar afectaciones en la estructura del pavimento.
- Bajo: Bacheo.
- Medio y Alto: Bacheo (para casos puntuales) o Sustitución de capa asfáltica.

Figura 42.

Depresión – severidad media



Nota. Tomado de la norma ASTM D6433-18, 2018

Figura 43.

Depresión – severidad media



Nota. Tomado de la norma ASTM D6433-18, 2018

Figura 44.
Depresión – severidad alta

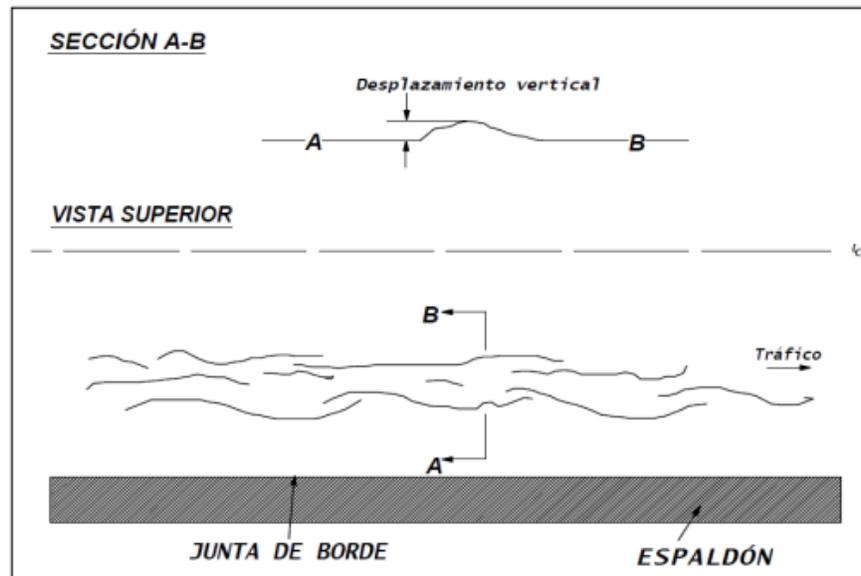


Nota. Tomado de la norma ASTM D6433-18, 2018

2.6.2.5 Hinchamiento

Los hinchamientos se caracterizan por un abultamiento de la superficie del pavimento creando una onda larga de más de 3 metros (MOPT, 2016, p.57).

Figura 45.
Esquema de hinchamiento



Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

2.6.2.5.1 Causas probables

El MOPT (2016) describe una serie de las posibles causas de esta falla:

- Suelos expansivos

2.6.2.5.2 *Niveles de severidad*

Se toman los niveles de severidad establecidos por el MOPT (2016) los cuales también son los mismos de la norma ASTM D6433-18:

- Bajo: Calidad de ruedo de severidad baja, levantamiento se encuentra entre 13 mm y 25 mm en el punto más alto;
- Medio: Calidad de ruedo de severidad media, levantamiento entre 25 mm y 50 mm en el punto más alto;
- Alto: Calidad de ruedo de severidad alta, levantamiento mayor a 50 mm en el punto más alto (p.57).

2.6.2.5.3 *Posibles acciones de intervención*

El MOPT establece posibles acciones para intervenir el pavimento ante esta posible falla:

- Evaluar previamente el sistema de drenaje superficial o subdrenajes, para lo cual y si corresponde, se deberán tomar las medidas correctivas necesarias para evitar afectaciones en la estructura del pavimento;
- Bajo: Bacheo;
- Medio y Alto: Bacheo (para casos puntuales) o estabilización de la capa granular afectada y sustitución de capa asfáltica.

Figura 46.

Hinchamiento – severidad alta



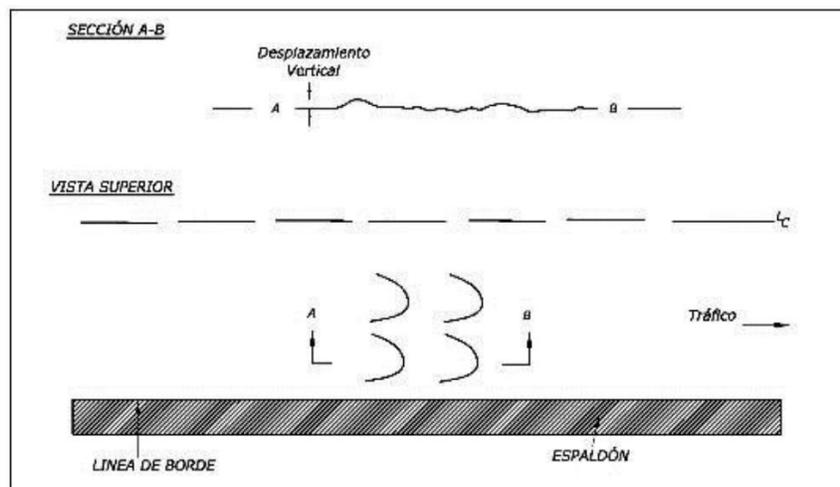
Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

2.6.2.6 Corrimiento/ Desplazamiento de la mezcla

Movimiento plástico caracterizado por el desplazamiento o deslizamiento de la mezcla asfáltica, a veces acompañado por el levantamiento del material, formando “cordones” principalmente laterales. Típicamente pueden identificarse a través de la señalización horizontal observándose una serpenteante demarcación de carriles (MOPC, 2016, p.28).

Figura 47.

Esquema de corrimiento



Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

2.6.2.6.1 Causas probables

El MOPT (2016) establece una serie de situaciones que pueden causar esta falla:

- Son ocasionados por las cargas del tránsito, actuando sobre mezclas asfálticas poco estables, ya sea por exceso de asfalto, falta de vacíos, o bien, por falta de confinamiento lateral;
- Inadecuada ejecución del riego de liga, entre otros (p.59).

2.6.2.6.2 Niveles de severidad

Se toman los criterios de severidad establecidos en el MAV-16 del MOPT (2016).

- Bajo: Calidad de rudo de severidad baja, profundidad o elevación máxima de 10 mm, causa cierta vibración o balanceo en el vehículo, sin generar incomodidad;

- Medio: Calidad de ruedo de severidad media, profundidad o elevación máxima se encuentra entre 10 mm y 20 mm, el corrimiento causa una significativa vibración o balanceo al vehículo, que genera cierta incomodidad;
- Alto: Calidad de ruedo de severidad alta, profundidad o elevación máxima es igual o mayor a 20 mm, el corrimiento causa a los vehículos un excesivo balanceo que genera una sustancial incomodidad y/o riesgo para la seguridad de circulación, siendo necesaria una reducción de la velocidad (p.59).

2.6.2.6.3 Posibles acciones de intervención

El MOPT establece posibles acciones para intervenir el pavimento ante esta posible falla:

- Bajo: Bacheo;
- Medio y Alto: Bacheo (para casos puntuales) o Sustitución de capa asfáltica.

Figura 48.

Corrimiento – severidad baja



Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

Figura 49.

Corrimiento – severidad media



Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

Figura 50.

Corrimiento – severidad alta



Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

2.6.3 Textura superficial

2.6.3.1 Exudación

La exudación es una película delgada de ligante asfáltico en la superficie de la carpeta asfáltica que crea un pequeño reflejo y que generalmente es pegajosa (MOPT, 2016, p.61).

2.6.3.1.1 Causas probables

El MOPT (2016) da una serie de las posibles causas de esta falla:

- Un excesivo contenido de asfalto en las mezclas asfálticas y/o sellos bituminosos;
- Bajo contenido de vacíos de aire;
- Uso de asfalto muy blando (con viscosidades muy bajas), derrame de solventes (p.61)

2.6.3.1.2 Niveles de severidad

- Bajo: La exudación ha ocurrido en pequeña medida y solo se nota durante algunos días del año, el asfalto no se pega a los zapatos o vehículos, se hace visible la coloración algo brillante de la superficie;
- Medio: La exudación ha ocurrido de tal forma que el asfalto se adhiere a los zapatos o vehículos durante algunas semanas del año, con exceso de asfalto libre que forma una película continua en las huellas de canalización del tránsito;
- Alto: La exudación ha ocurrido de tal forma que el asfalto se adhiere a los zapatos o vehículos considerablemente durante muchas semanas del año, presencia de una cantidad significativa de asfalto libre, le da a la superficie un aspecto "húmedo", de intensa coloración negra (p.61).

2.6.3.1.3 Posibles acciones de intervención

El MOPT establece posibles acciones para intervenir el pavimento ante esta posible falla:

- Bajo y medio: Sello de arena o polvo de piedra;
- Alto: Sustitución de capa asfáltica.

Figura 51.

Exudación – severidad baja



Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

Figura 52.

Exudación – severidad media



Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

Figura 53.

Exudación – severidad alta



Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

2.6.3.2 Pulimiento de agregados

Agregados excesivamente pulidos en la superficie de rodamiento. Dan lugar a una textura muy lisa y suave al tacto, que reduce considerablemente la adherencia con los neumáticos de los vehículos. La consiguiente disminución de la función o resistencia al deslizamiento puede alcanzar niveles de riesgo para la seguridad del tránsito (MOPC, 2016, p.86).

2.6.3.2.1 Causas probables

El MOPT (2016) establece los siguientes factores que conducen al desarrollo de dicho proceso:

- Repetición de las cargas de tránsito;
- Uso de agregados propensos al pulimiento (por ejemplo las calizas) (p.63)

2.6.3.2.2 Niveles de severidad

- No posee niveles de severidad

2.6.3.2.3 Posibles acciones de intervención

El MOPT establece posibles acciones para intervenir el pavimento ante esta posible falla:

- Sellos asfálticos, tratamientos superficiales asfálticos o recarpeteo con material no propenso al pulimiento.

Figura 54.

Pulimiento de agregados



Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

2.6.3.3 Desprendimiento de agregados

Este es causado por el desprendimiento de las partículas de agregado grueso que componen la mezcla asfáltica (MOPT, 2016, p.64).

2.6.3.3.1 Causas probables

Entre las causas que ocasionan esta falla se encuentra:

- Colocación irregular del asfalto, mezcla pobre, el asfalto se ha endurecido en forma apreciable;
- Agregado inadecuado por falta de adherencia en el asfalto, agregado sucio, con polvo adherido;
- Lluvia durante la colocación o antes de que el asfalto adquiera consistencia;
- Puede ser causado por ciertos tipos de tránsito, por ejemplo, vehículos de orugas. El ablandamiento de la superficie y la pérdida de los agregados debidos al derramamiento de aceites también se consideran como desprendimiento (MOPT, 2016, p.64).

2.6.3.3.2 Niveles de severidad

Se utilizan los niveles de severidad que se establecen en el MAV-16 emitido por el MOPT (2016), el cual está basado también en la norma ASTM D-6433:

- Bajo: No Aplica;
- Medio: Desprendimiento considerable de agregados, al menos 20 partículas de agregado por metro cuadrado;
- Alto: La superficie se encuentra muy rugosa por la falta de agregado grueso, puede estar completamente desprendida en lugares (p.64).

2.6.3.3.3 Posibles acciones de intervención

El MOPT establece posibles acciones para intervenir el pavimento ante esta posible falla:

- Bajo: No aplica.
- Medio: Sellos asfálticos, tratamientos superficiales asfálticos.
- Alto: Sellos asfálticos, tratamientos superficiales asfálticos o Colocación de sobrecapa asfáltica.

Figura 55.

Desprendimiento de agregados – severidad media



Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

Figura 56.

Desprendimiento de agregados – severidad alta



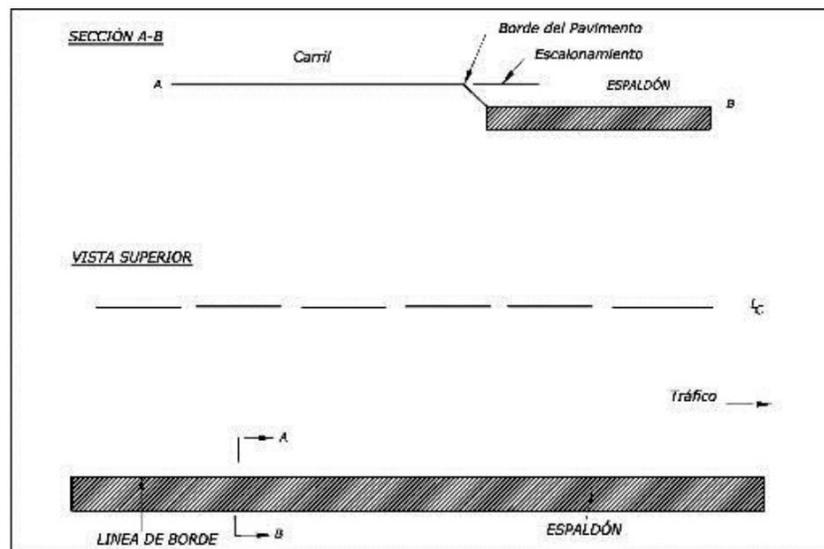
Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

2.6.4 Misceláneos**2.6.4.1 Escalonamiento calzada-espaldón**

El escalonamiento es una diferencia en elevación entre el borde del pavimento y el espaldón (MOPT, 2016, p.67).

Figura 57.

Esquema de escalonamiento entre calzada y espaldón



Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

2.6.4.1.1 Causas probables

Las posibles causas de este tipo de falla se deben principalmente a:

- La erosión del espaldón, el asentamiento del espaldón o al aumento de la estructura del pavimento sin ajustar el nivel del espaldón (MOPT, 2016, p.67).

2.6.4.1.2 Niveles de severidad

Se establecen los criterios de severidad establecidos por el MOPT (2016):

- Bajo: La diferencia en elevación entre la calzada y el espaldón es mayor a 25 mm y menor a 50 mm;
- Medio: La diferencia en elevación entre la calzada y el espaldón es mayor a 50 mm y menor a 100 mm;
- Alto: La diferencia en elevación entre la calzada y el espaldón es mayor a 100 mm (p.67).

2.6.4.1.3 Posibles acciones de intervención

El MOPT establece posibles acciones para intervenir el pavimento ante esta posible falla:

- Evaluar previamente el sistema de drenaje superficial o subdrenajes, para lo cual y si corresponde, se deberán tomar las medidas correctivas necesarias para evitar afectaciones en la estructura del pavimento;
- Para todos los casos: Nivelación del espaldón cuando el escalonamiento es producto de problemas en la fundación o erosión.

Figura 58.

Calzada-espaldón – severidad baja



Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

Figura 59.

Calzada-espaldón – severidad media



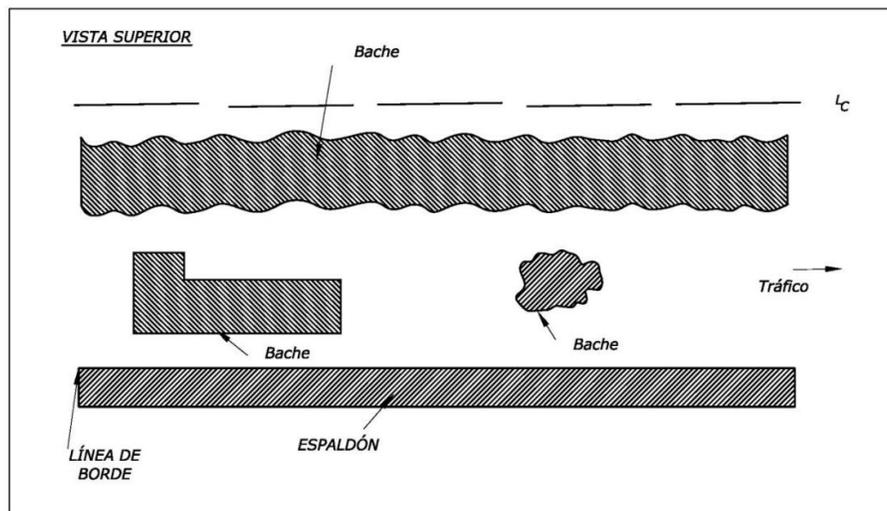
Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

Figura 60.*Calzada-espaldón – severidad alta*

Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

2.6.4.2 Baches

Un bache es un área de pavimento que ha sido reemplazada con material nuevo para reparar el pavimento existente, un bache es considerado un defecto no importa su desempeño y estado (MOPT, 2016, p69).

Figura 61.*Esquema de baches*

Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

2.6.4.2.1 Causas probables

Se exponen las posibles causas de la falla:

- Existencia de deterioros importantes en la sección del pavimento reemplazada (MOPT, 2016, p69).

2.6.4.2.2 Niveles de severidad

El MOPT (2016) establece los siguientes criterios de severidad para la falla mencionada:

- Bajo: El bache se encuentra en buena condición y la calidad de ruedo es de severidad baja o mejor;
- Medio: El bache está moderadamente deteriorado ó la calidad de ruedo de severidad media o ambos;
- Alto: El bache se encuentra muy deteriorado ó la calidad de ruedo es de severidad alta o ambos (p.69).

2.6.4.2.3 Posibles acciones de intervención

El MOPT establece posibles acciones para intervenir el pavimento ante esta posible falla:

- Evaluar previamente el sistema de drenaje superficial o subdrenajes, para lo cual y si corresponde, se deberán tomar las medidas correctivas necesarias para evitar afectaciones en la estructura del pavimento;
- Bajo y Medio: Evaluar el área afectada para definir la intervención idónea;
- Alto: Sustitución del Bache (Bacheo, para casos puntuales) o Sustitución de capa asfáltica.

Figura 62.

Baches – severidad baja



Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

Figura 63.

Baches – severidad media



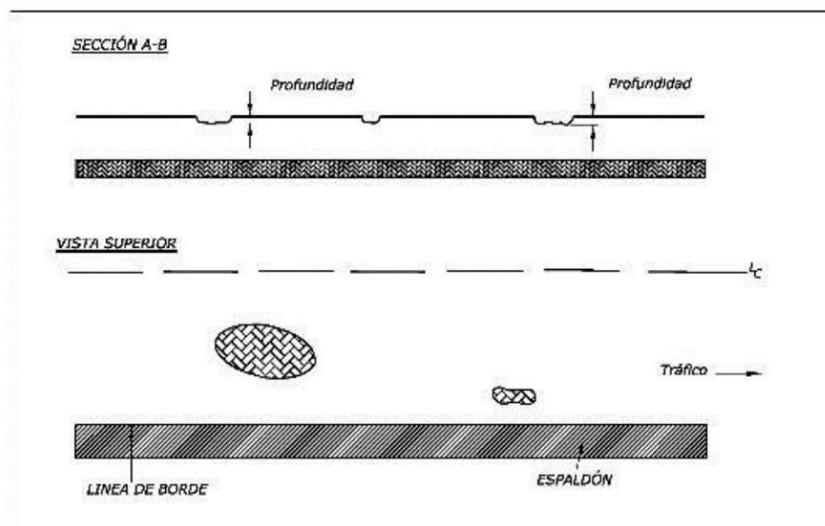
Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

Figura 64.*Baches – severidad alta*

Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

2.6.4.3 Huecos

Los huecos son depresiones en la superficie del pavimento que poseen forma de tazón, usualmente el diámetro es menor a 750mm. Generalmente poseen bordes afilados y paredes verticales cerca de la superficie del hueco (MOPT, 2016, p.71).

Figura 65.*Esquema de huecos*

Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

2.6.4.3.1 Causas probables

El MAV-16 del MOPT (2016) establece una serie de posibles causas a esta falla:

- Fundaciones y capas inferiores inestables; espesores insuficientes; defectos constructivos; retención de agua en zonas hundidas y/o fisuradas;
- Acción abrasiva del tránsito sobre sectores localizados de mayor debilidad del pavimento y/o fundación, o sobre áreas en las que se han desarrollado fisuras tipo cuero de lagarto, que han alcanzado un alto nivel de severidad, provoca la desintegración y posterior remoción de parte de la superficie del pavimento (p.71).

2.6.4.3.2 Niveles de severidad

Se presentan los niveles de severidad establecidos por el MOPT (2016) en su MAV-16 y una tabla resumen de estos:

- Si el hueco posee un diámetro mayor a 750 mm se debe dividir el área entre 0.5 m² y encontrar el número equivalente de huecos, y si la profundidad es 25 mm o menos los huecos son considerados de severidad media, si la profundidad es más de 25 mm de severidad alta (p.71).

Tabla 1.
Criterios de severidad-huecos

Profundidad	Diámetro promedio			
	máx.	100 a 200 mm	200 a 450 mm	450 a 750 mm
13 a <25mm		B	B	M
25 a 50mm		B	M	A
>50mm		M	M	A

Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

2.6.4.3.3 Posibles acciones de intervención

El MOPT establece posibles acciones para intervenir el pavimento ante esta posible falla:

- Evaluar previamente el sistema de drenaje superficial o subdrenajes, para lo cual y si corresponde, se deberán tomar las medidas correctivas necesarias para evitar afectaciones en la estructura del pavimento.
- Para todos los casos: Bacheo (para casos puntuales) o Sustitución de capa asfáltica

Figura 66.

Huecos – severidad baja



Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

Figura 67.

Huecos – severidad media



Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

Figura 68.

Huecos – severidad alta



Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

2.6.4.4 Cruce de línea férrea

No se desarrolla este apartado debido a que la carretera cantonal donde se va a realizar la auscultación visual no cuenta con cruces de línea férrea.

2.7 Método PCI**2.7.1 Definición**

El Índice de Condición del Pavimento “(PCI, por su sigla en inglés) se constituye en la metodología más completa para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos, flexibles y rígidos, dentro de los modelos de Gestión Vial disponibles en la actualidad. La metodología es de fácil implementación y no requiere de herramientas especializadas más allá de las que constituyen el sistema” (Vásquez, 2002, p.2)

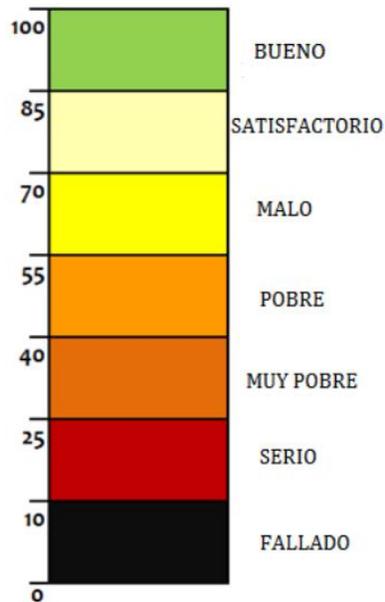
Este método es el modo más completo para la calificación y evaluación de pavimentos, siendo ampliamente aceptado y formalmente adoptado como un procedimiento estandarizado, por agencias como por ejemplo; el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, el APWA y este también ha sido publicado por la ASTM como un método de análisis y aplicación el cual tiene el siguiente nombre “Procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos ASTM D6433”.

2.7.2 Rangos de clasificación del PCI

El PCI es un índice numérico que puede variar desde cero (0), para un pavimento que se encuentra fallado o en mal estado, hasta un cien (100) para un pavimento que se encuentra en perfectas condiciones, como se puede observar en la siguiente escala:

Figura 69.

Rango de clasificación del PCI



Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016, p.112.

III. Marco metodológico

3.1 Paradigma, enfoque metodológico y método de investigación

En el desarrollo de este proyecto se plantea el uso del paradigma positivista – cuantitativo con el fin de generar el nuevo conocimiento.

El enfoque cuantitativo “utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías” (Hernández et al., 2014, p. 4).

Es por eso por lo que se plantea un estudio descriptivo de enfoque cuantitativo ya que se recolectarán datos y componentes referentes al índice de condición del pavimento, auscultación de los deterioros presentes en la zona a estudiar, además de que se efectuarán mediciones y análisis de estos.

Según Hernández et al. (2018) “la investigación descriptiva tiene como objetivo especificar propiedades, características y rasgos importantes del fenómeno u objeto que se vaya a estudiar”

3.2 Diseño de la investigación

Esta investigación es de tipo; no experimental, transeccional, descriptiva, cuantitativa.

Es no experimental debido a que no se pueden manipular las variables, la recopilación de datos se obtendrá producto de la auscultación y medición de los deterioros presentes en el pavimento flexible de la ruta nacional 708 y es transeccional debido a que la recolección de los datos se realiza en un único tiempo.

La investigación no experimental “podría definirse como la investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, se trata de estudios en los que no haces variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables. Lo que efectúas en la investigación no experimental es observar o medir fenómenos y variables tal como se dan en su contexto natural, para analizarlas” (Hernández et al., 2018, p. 174).

Los diseños transeccionales descriptivos tienen como objetivo “indagar la incidencia de las modalidades, categorías o niveles de una o más variables en una población; son estudios puramente descriptivos” (Hernández et al., 2018, p. 178).

3.3 Categorías de análisis de la investigación

Tabla 2.

Categoría de análisis de investigación

Objetivos específicos	Variable independiente	Instrumento o método por utilizar	Variable dependiente
Realizar un levantamiento de las patologías presentes en el pavimento flexible de la zona en estudio.	Pavimento flexible.	Hojas de levantamiento de deterioros elaboradas por el MOPT (ver Anexo 1).	Patologías presentes en el pavimento.
Aplicar la metodología PCI para determinar la condición operacional del pavimento de la sección en estudio según la norma ASTM D6433.	Índice de condición del pavimento [PCI].	Software basado en la norma ASTM D6433.	Medición de las patologías presentes en el pavimento.
Proponer técnicas de intervención y rehabilitación de la vía en función de las patologías encontradas en la zona de estudio en base al manual de auscultación visual de pavimentos de Costa	Fallas encontradas durante la auscultación de los deterioros.	Catálogo de deterioros del MAV-16 y norma ASTM D6433.	Propuestas de intervención o rehabilitación del pavimento flexible.

Rica.

<p>Elaborar un inventario en formato de campo de los daños auscultados en la ruta nacional 708, basado en el manual de auscultación visual de pavimentos de Costa Rica.</p>	<p>Inventario de fallas auscultadas en campo.</p> <p>MAV-16</p> <p>en</p>	<p>Patologías existentes en la vía</p>
---	---	--

Nota. Elaboración propia.

3.4 Población y muestra. Técnicas de muestreo

La muestra por trabajar en este proyecto es de tipo no probabilística; es decir, la muestra está más que todo relacionada con las características y contexto de la investigación, la cual depende principalmente de los criterios que establezca el investigador y estos a su vez están en dependencia al planteamiento del problema.

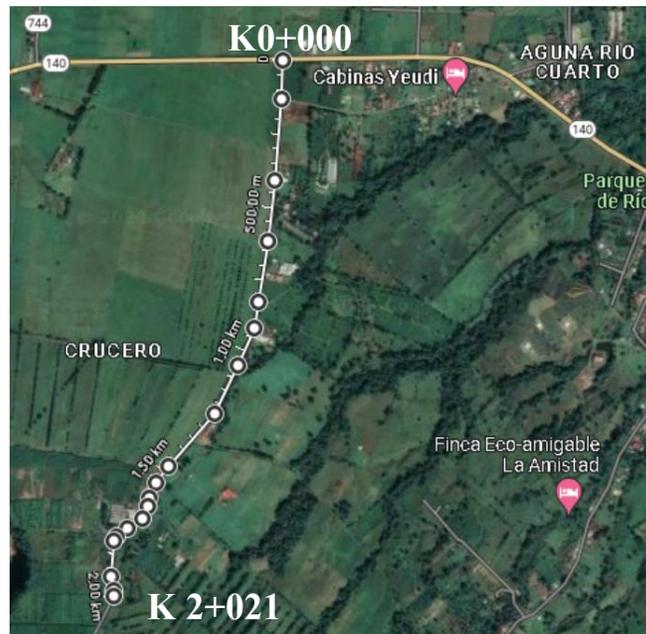
La carretera en la que se va a realizar la evaluación es en la ruta nacional 708, la cual se encuentra ubicada en la provincia de Alajuela, atraviesa el cantón de Sarchí (los distritos de Sarchí Sur, Sarchí Norte, Toro Amarillo, San Pedro) y el cantón de Río Cuarto (el distrito de Río Cuarto). La vía cuenta con una longitud de 44.50 Km y un ancho de calzada de 6 metros. Su construcción fue en el año 1994 y desde esa fecha hasta abril del 2023 solo se han realizado intervenciones de bacheos.

La RN 708, no se va a evaluar en su totalidad debido a que la ruta es muy extensa; se elige evaluar un tramo que se encuentra en el distrito de Río Cuarto esto debido a que esta zona se encuentra en muy malas condiciones y es un área en donde habita gran cantidad de personas. La evaluación del pavimento iniciará en el entronque con la RN 140 (K0+000) y terminará en el K2+021; es decir, 2021 metros lineales, para un área de 12126 metros cuadrados.

A continuación se puede observar el tramo de la ruta a evaluar.

Figura 70.

Ruta Nacional 708 en el entronque con la RN 140



Nota. Tomado de Google Maps.

3.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

La primera etapa corresponde a la recolección de los datos referente al Índice de Condición del Pavimento, operaciones y métodos asociados.

Inicialmente se realiza una reunión con el ingeniero Mario Jiménez, jefe de la Unidad Técnica de Gestión Vial Municipal de la Municipalidad de Río Cuarto, con quien se define la ruta que puede ser de interés de la municipalidad para que se realice la evaluación. Se establece que la ruta a trabajar considerando su estado, es la RN 708 iniciando en el entronque con la RN 140, en un tramo de longitud 2021 metros.

Como segunda etapa, se realiza la auscultación de las patologías del pavimento y un inventario de los elementos geométricos.

En la auscultación del pavimento no se hace con equipo automatizado, sino en forma manual; es decir, se va caminando por la vía, definiendo el tipo de daño encontrado, estableciendo su severidad y realizando la medición correspondiente.

Se utiliza los siguientes materiales e instrumentos.

3.5.1 Materiales e instrumentos

- Hojas de deterioro, donde se registra toda la información que se va recolectando durante la inspección visual; fecha, número de unidad de muestreo, sección de control, ubicación, estacionado inicial y final, tamaño de la unidad de muestreo, tipos de fallas, nivel de severidad, cantidades, esquema.
- Odómetro manual, este instrumento es utilizado para medir las longitudes y áreas de los daños.
- Regla de tres metros, cinta métrica y topográfica para establecer las profundidades de los ahuellamiento o depresiones.
- Regla pequeña, para medir anchos de grieta.
- Pintura en aerosol, esta es utilizada para marcar la carretera.
- Chalecos y conos refractivos para garantizar la seguridad en campo.
- Catálogo de deterioros para aclarar dudas en campo.

Se realizan estudios de documentos relacionados con temas como deterioros superficiales, se consulta el Manual de Auscultación Visual (2016), metodología PCI, concretamente la norma ASTM D6433-18, la cual se efectúa con el objetivo de conocer los requerimientos establecidos en la norma, con el fin de preparar ciertos criterios técnicos para la correcta evaluación de los procesos.

3.6 Técnicas e instrumentación para el procesamiento y análisis de datos

3.6.1 Aplicación anterior al método PCI

3.6.1.1 Unidades de muestreo

Lo primero que se debe realizar para determinar la condición superficial de una vía consiste en seleccionar las unidades de muestreo, los cuales consisten en tramos de la carretera que van a ser evaluados tomando en cuenta los objetivos que se plantearon. Dichas unidades de muestreo dependen de varios factores según el MOPT en el MAV-16, los cuales son los siguientes:

- Tipo de evaluación: la evaluación puede ser a nivel de red o a nivel de proyecto; sin embargo, para la primera lo mejor sería evaluar toda la red, no obstante, por los costos elevados y la gran demanda de tiempo que implicaría, se recomienda evaluar

la ruta aplicando el proceso de muestreo aleatorio, el cual permite calcular el PCI sin la necesidad de realizar una evaluación completa.

- Tipo de pavimento: el cálculo de las unidades de muestreo depende del tipo de pavimento presente en el sector del análisis, ya sea flexible, rígido o semi rígido.
- Características de la sección de la carretera: se tomará en cuenta un tramo que tenga una construcción uniforme en toda su área; es decir, un pavimento construido en un mismo lapso, con los mismos equipos, con la misma sección transversal, con el mismo tránsito, con un drenaje similar, con topografía similar, entre otras características.

La norma ASTM D6433-18 (2018) indica el procedimiento que se debe llevar a cabo para el cálculo de las unidades de muestra de cada uno de los tramos de las secciones de control en una ruta en específico.

A continuación se presenta dicha metodología:

3.6.1.2 Longitud de las unidades de muestreo

La longitud de la unidad de muestreo depende de la longitud de la calzada para el caso del pavimento flexible que es el que se va a trabajar en este proyecto. El área de la unidad de muestra de muestreo debe estar en el rango de $225,0 \pm 90,0 \text{ m}^2$ es decir entre 135 y 315 m^2 .

En la siguiente tabla se puede observar algunas relaciones longitud – ancho de calzada que satisfacen dicha área.

Tabla 3.

Selección de la longitud de la UM

Ancho de calzada (m)	Longitud de UM (m)
3,5 – 6,5	47
4,0 – 7,5	42
4,5 – 8,5	38
5,0 – 9,0	35
5,5 – 10 máx.	31

Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016, p.10.

En caso de que el ancho promedio de la calzada de un tramo sea mayor que los valores mostrados en la tabla anterior, se deberá dividir en dos, para que se cumpla con el rango establecido.

3.6.1.3 Número total de unidades de muestra (N)

Para el cálculo del número total de las unidades de muestreo presentes en la sección de carretera a evaluar, se debe resolver la siguiente ecuación:

$$N = \frac{\text{Long. Proyecto}}{\text{Long. UM}} \quad (1)$$

Donde el MOPT en su MAV-16 define los siguientes términos:

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

Long. Proyecto: La longitud total del proyecto a evaluar (m).

Long. UM: La longitud de la unidad de muestra seleccionada.

3.6.2 Auscultación de los deterioros

El procedimiento para el levantamiento de los deterioros está en dependencia del tipo de pavimento presente en la ruta a estudiar, ya sea rígido o flexible, debido a que los deterioros que se pueden presentar en cada uno son distintos. Es muy importante que se sigan todos los lineamientos estipulados en la norma ASTM D6433-18 para obtener un valor del PCI confiable.

3.6.3 Índice de Condición del Pavimento

Una vez finalizada la auscultación de los deterioros en la vía deseada, se procede a realizar el cálculo del Índice de Condición del Pavimento, el cual se basa en los “Valores Deducidos (VD)” las cuales describen el daño que causa cierto deterioro superficial al pavimento de acuerdo con su tamaño y su severidad reportada. Estos valores se obtienen de las gráficas de la norma ASTM D6433, creadas para el cálculo del PCI.

El cálculo del PCI para el pavimento flexible se divide en dos etapas; el cálculo de las unidades de muestra (UM) y posteriormente el cálculo del tramo de la ruta evaluada.

3.6.4 Cálculo del PCI de las unidades de muestreo (UM)

El PCI se debe calcular para todas las (UM) que presenten algún tipo de deterioro en la superficie de ruedo.

A continuación se presenta una tabla del MAV-16 que muestra el orden correcto de los datos obtenidos de la auscultación para una unidad de muestra:

Tabla 4.

Orden de los datos obtenidos en el levantamiento de campo (Pav. Flexible)

a	b	c	d	e	f	g
Unidad de Muestra	Área de la UM	Deterioros Auscultados	Severidad	Medida	Densidad	Valor Deducido
1						
2						
3						

Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016, p.122.

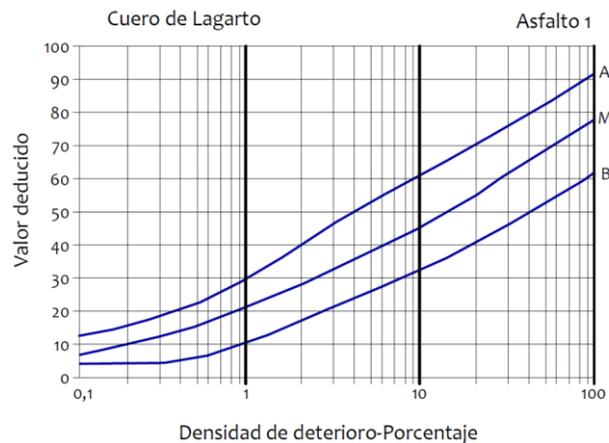
Se deben seguir los siguientes para realizar el cálculo del PCI de las UM:

3.6.4.1 Cálculo de los Valores Deducidos (VD)

1. Rellenar los datos de las columnas a, b, c, d y e de la Tabla 3, con los datos obtenidos del levantamiento de campo.
2. La columna f de la Tabla 3, corresponde a la densidad del deterioro y esta se puede obtener como el resultado de dividir la medida de cada deterioro entre el área de la UM.
3. La columna g, corresponde a los valores deducidos, los cuales se calculan con las gráficas de la norma ASTM D6433-18. A continuación se puede observar una gráfica para obtener el valor deducido del cuero de lagarto como un ejemplo.

Figura 71.

Gráfica del valor deducido con respecto a la densidad del cuero de lagarto



Nota. Tomado del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2016.

3.6.4.2 Cálculo del Número de Deducciones Admisibles (m)

Realizando un análisis de los valores deducidos obtenidos del primer paso, se pueden dar los siguientes casos:

- a) Ningún o sólo un valor deducido es mayor a dos.
- b) Más de un valor deducido es mayor a dos o todos los valores deducidos son mayores a dos.

Para el caso a) no se tiene que calcular “m”, ya que se utiliza el valor deducido total sin corregir (corresponde a la suma de todos los valores deducidos)

Para el caso b) se debe calcular “m”, por ende se deben seguir los siguientes pasos:

1. Ordenar todos los valores deducidos en orden descendente (de mayor a menor)
2. El mayor valor de deducido se va a denominar como “mayor valor deducido individual (MVD)
3. Seguidamente se utiliza la siguiente ecuación en donde se tiene que utilizar el “MVD”:

$$\left[m = 1 + \frac{9}{98} (100 - MVD) \right] \leq 10 \quad (2)$$

Dónde:

m= Número máximo de deterioros en una misma UM que se pueden utilizar para calcular el valor deducido total (VDT); es decir, se van seleccionando todos los deterioros de forma descendente hasta completar el valor de “m”. En caso de que haya menos valores deducidos que “m” se utilizan todos los “VD”.

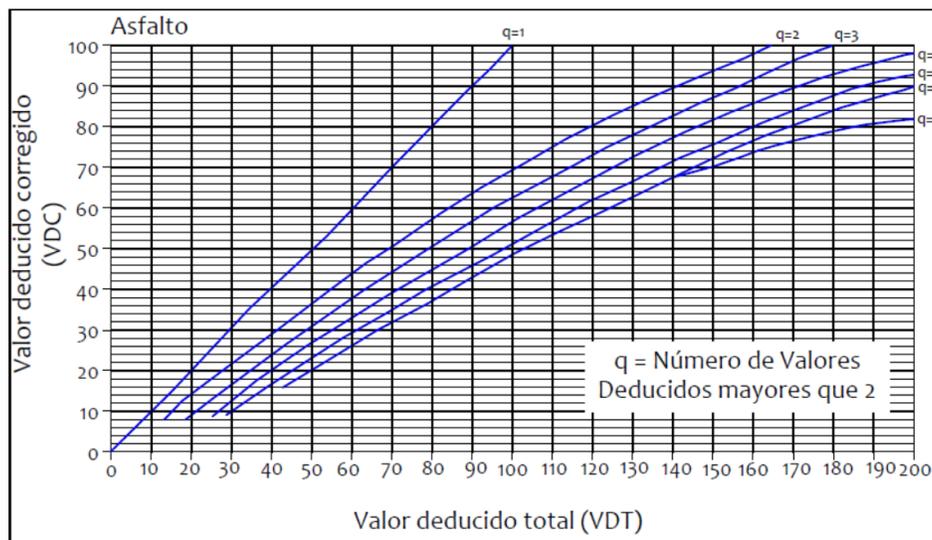
3.6.4.3 Cálculo del Máximo Valor Deducido Corregido (MVDC)

El MVDC se puede calcular mediante el siguiente proceso iterativo:

- Determinar el número de valores deducidos que sean mayores a 2. A este número se le llamará q.
- Determine el Valor Deducido Total (VDT) sumando TODOS los valores deducidos individuales.
- Determine el Valor Deducido Corregido (VDC) con “q” y el Valor Deducido Total (VDT) en la curva de corrección que se muestra en la Figura

Figura 72.

Gráfica para el Cálculo del VDC (Pav. Flexible)



- Cambie a 2 el menor de los valores deducidos individuales que sea mayor que 2 y repita las etapas a), b) y c) hasta que q sea igual a 1.

- El VDC que se tomará en cuenta en el siguiente paso corresponde al mayor de los VDC obtenidos en este proceso, el cual se denomina Máximo Valor Deducido Corregido (MVDC).

3.6.4.4 Cálculo del PCI de la Unidad de Muestra Analizada

El valor del Índice de Pavimento se calcula con la siguiente fórmula:

$$PCI_{UM} = 100 - MVDC \quad (3)$$

3.6.4.5 Cálculo del PCI para una sección (Todas las UM o UM aleatorias)

Después de que se tiene calculado el Índice de Condición del Pavimento de cada una de las unidades de muestreo (UM), se procede a calcular el PCI de la sección de control. Seguidamente cuando se obtiene la calificación PCI para todas las secciones de control, se procede a obtener la calificación PCI para toda la ruta. Para ambos casos se utiliza la siguiente ecuación:

$$PCI = \frac{\sum_{i=1}^n (PCI_i * A_i)}{\sum_{i=1}^n (A_i)} \quad (4)$$

Donde:

PCI_i = Índice de condición de la unidad de muestreo.

A_i = Área de la unidad de muestreo.

n = número total evaluado de unidades de muestreo utilizadas (todas o el número auscultado si se utilizó la técnica aleatoria).

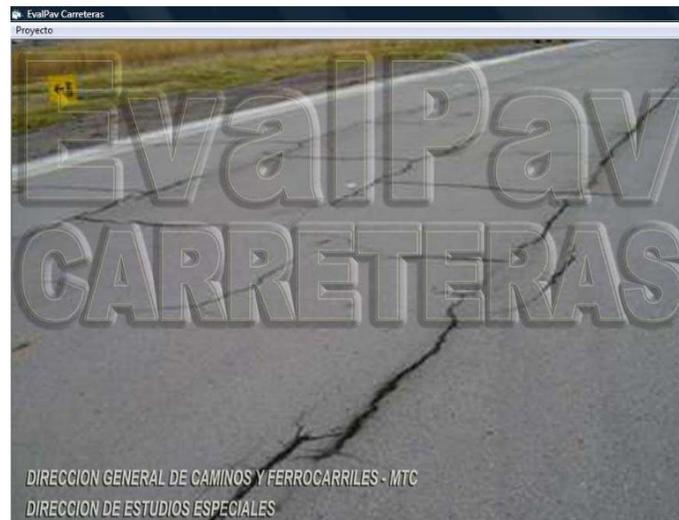
3.6.5 *Software EvalPav*

Para el procesamiento de los datos se hará uso del software EvalPav para superficies de pavimento asfáltico carreteras y aeropuertos, el mismo fue desarrollado por la Dirección de Estudios Especiales de la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles – MTC, dicho programa fue desarrollado bajo la norma internacional ASTM D6433-03.

Para las carreteras pavimentadas se realiza la auscultación visual de los deterioros. La definición de los tipos de deterioro, sus grados de severidades y los criterios que se han utilizado para realizar el levantamiento de la información los cuales están basados según lo establecido en la metodología PCI (ASTM D6433) y posteriormente será procesada en el Software EvalPav.

Figura 73.

Presentación del software EvalPav-Carreteras



Nota. Tomado del Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Perú.

El software – EvalPav para la evaluación de la condición superficial en el área de mantenimiento, mejoramiento y rehabilitación de pavimentos, permite optimizar la recopilación de los datos de campo, procesamiento de la información en un menor tiempo, calidad y grado de confiabilidad para facilitar el análisis mediante la interpretación de los resultados y propuestas de alternativas de solución en el tiempo.

Como primer paso debe especificar el nombre del proyecto con el cual se va a trabajar, esto puede realizar de dos maneras:

- La primera es crear un proyecto nuevo
- La segunda es abrir un proyecto que ya se ha creado con anterioridad

Para crear un proyecto se debe seleccionar la opción que dice proyecto en la barra del menú y luego la opción “Nuevo”.

Figura 74.

Crear un proyecto en software EvalPav-Carreteras

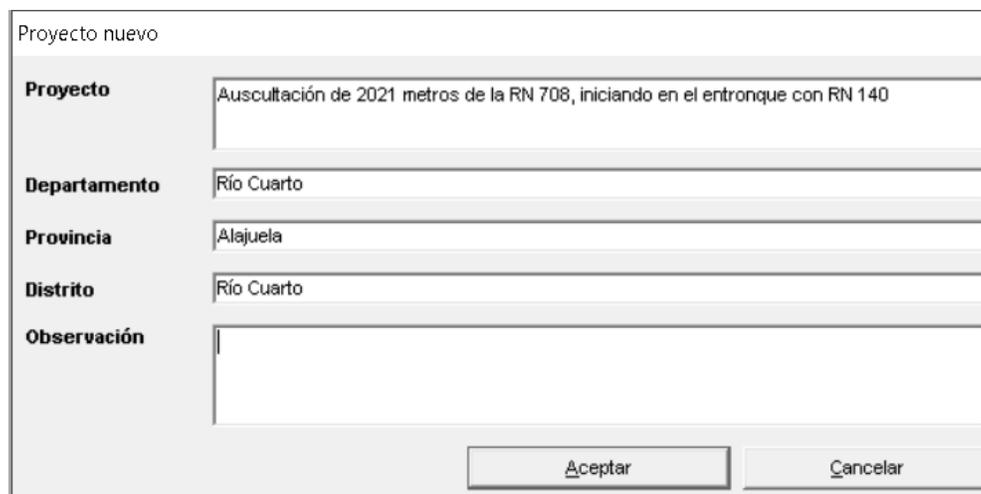


Nota. Tomado del Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Perú.

Seguidamente se presentará un cuadro de diálogo “Proyecto Nuevo”, en el se escribe el nombre del proyecto y los demás datos que se solicitan. Una vez realizado este paso presionamos en el botón “Aceptar”

Figura 75.

Ingreso de datos referentes al proyecto en el software EvalPav-Carreteras

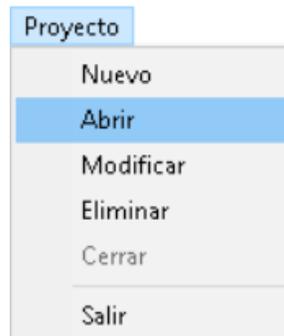
A screenshot of the 'Proyecto nuevo' dialog box in the EvalPav-Carreteras software. The dialog has a title bar that says 'Proyecto nuevo'. It contains five input fields: 'Proyecto' (with the text 'Auscultación de 2021 metros de la RN 708, iniciando en el entronque con RN 140'), 'Departamento' (with 'Río Cuarto'), 'Provincia' (with 'Alajuela'), 'Distrito' (with 'Río Cuarto'), and 'Observación' (empty). At the bottom right, there are two buttons: 'Aceptar' and 'Cancelar'.

Nota. Tomado del Software EvalPav-Carreteras.

Luego de se tiene creado el proyecto, vamos a proceder a abrirlo, para abrirlo o modificar un proyecto creado anteriormente se debe seleccionar la opción “Proyecto” en la barra de menú, y en la opción “Abrir”

Figura 76.

Abrir un proyecto en software EvalPav-Carreteras



Nota. Tomado del Software EvalPav-Carreteras.

Luego de que se abre el cuadro de diálogo “Abrir Proyecto:” ahí podemos elegir el proyecto en el que se desea trabajar.

Figura 77.

Establecer proyecto en el que se desea trabajar en el software EvalPav-Carreteras



Nota. Tomado del software EvalPav- Carreteras

Para seleccionar el proyecto se debe hacer click en el selector de registro (círculo rojo que se muestra en la figura anterior) y presionamos el botón de “Aceptar”.

Una vez establecido el proyecto con el que se va a trabajar, se procederá a registrar las unidades de muestreo, con las fallas correspondientes producto de la auscultación de la vía.

Para el resumen de las fallas por unidad de muestra, seleccionar previamente el sector (tramo de la vía) y el carril de evaluación, con esto se establece que las unidades de muestra con los que se va a trabajar actualmente corresponden a las selecciones actuales.

Figura 78.

Ingreso de datos referentes a la auscultación en el software EvalPav-Carreteras

EvalPav: Manantial
Proyecto Evaluación Datos Imprimir

Evaluación de Pavimentos de Superficie Asfáltica - Método PCI (ASTM D 6433)

Sector Carril

Unidad de muestra Area de muestra (m²)

Progresiva inicial Progresiva final

Inspeccionado por

Fecha Muestra adicional

m VRC PCI

Daños

1. Piel de cocodrilo	7. Grieta de borde	13. Huecos
2. Exudación	8. Grieta de reflexión de junta	14. Cruce de vía ferrea
3. Agrietamiento en bloque	9. Desnivel carril/berma	15. Ahuellamiento
4. Abultamientos y	10. Grietas longitudinales y	16. Desplazamiento
5. Corrugación	11. Parcheo	17. Grieta parabólica (slippage)
6. Depresión	12. Pulimento de agregados	18. Hinchamiento
		19. Desprendimientos de agregad

Diagrama

Longitud (m) Ancho (m)

TIPO	SEVERIDAD	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	TOTAL	DENSIDAD	VR

Nota. Tomado del Software EvalPav-Carreteras.

En la figura 78 se puede observar el interfaz del programa en donde se ingresa la información referente a la Unidad de Muestreo, carril en el que se va a trabajar (derecho, central, izquierdo o ambos).

Al dar click sobre diagrama, el cual se muestra en la figura 78 con un rectángulo rojo, se puede ingresar toda la información referente a la auscultación de la vía; código de las fallas, severidad del tipo de falla (Leve – L , Moderado – M, Severa – H), longitud y ancho del tipo de falla.

Figura 79.

Ingreso de datos de las fallas en el software EvalPav-Carreteras

	TIPO	SEVERIDAD	X	Y	LONGITUD	ANCHO	AREA
▶	10	M	0	10	12	0	12

Nota. Tomado del Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Perú.

En la figura 79 se puede observar un ejemplo de cuando seleccionamos la opción diagrama como se ejemplificó en la figura 78, en donde se abrirá este apartado y se procederá a ingresar los datos de las fallas tomadas en campo. Por ejemplo, el 10 que aparece en la columna “Tipo” corresponde al tipo de falla “Grietas longitudinales y transversales”.

Cuando se termina de registrar los datos correspondientes se presiona en el botón “Grabar” del cuadro de dialogo. Una vez que se concluye el registro de todos los tipos de fallas que corresponden a la unidad de muestra actual, se da click en el botón “Salir” del cuadro de diálogo.

Figura 80.

Actualizar y registrar las fallas en el software EvalPav-Carreteras



Nota. Tomado del Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Perú.

En ese momento, el sistema va a preguntar si “De desea actualizar las fallas”, y se procede a dar click en “Yes” como se muestra en la figura 80.

Seguidamente el software va a proceder a calcular el total, la densidad, el valor deducido y el PCI de la unidad de muestreo como se muestra en el ejemplo de la siguiente figura:

Figura 81.

Resultados de la auscultación con el software EvalPav-Carreteras

Evaluación de Pavimentos de Superficie Asfáltica - Método PCI (ASTM D 6433)

Sector: 00-000 -10-000 - CALZADA DERECHA Carril: IZQUIERDO

Unidad de muestra: 202 Área de muestra (m²): 180

Progresiva inicial: 10+050 Progresiva final: 10+100

Inspeccionado por: Ing. Geber J. Zavala Ascaño

Fecha: 04/05/2009

m: 0 VHC: 15 PCI: 85 Excelente

Daños:

1. Piel de cocodrilo	7. Grieta de borde	13. Huecos
2. Exudación	8. Grieta de reflexión de junta	14. Cruce de vía férrea
3. Agrietamiento en bloque	9. Desnivel cantil/bierna	15. Abusillamiento
4. Abultamientos y hundimientos	10. Grietas longitudinales y transversales	16. Desplazamiento
5. Comagación	11. Parcheo	17. Grieta parabólica (ripping)
6. Depresión	12. Pulimento de agregados	18. Hinchamiento
		19. Desprendimientos de agregados

TIPO	SEVERIDAD	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	TOTAL	DENSIDAD	VR
10	M	12.0										12.0	6.7	15

Nota. Tomado del Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Perú.

IV. Análisis de resultados

4.1 Unidades de muestreo y evaluación de la condición superficial

El apartado de metodología está dividida en dos partes importantes. La primera consiste en la aplicación previa del método PCI, esto con el fin de verificar si se debe auscultar la totalidad de la ruta o únicamente ciertas unidades de muestreo; del cual se evalúan 2021 metros, iniciando en el entronque con la RN 140, se decide evaluar ese tramo por una reunión con el Ing. Mario Jiménez de la UTGVM de la Municipalidad de Río Cuarto, se decidió evaluar los primeros 2021 metros, debido a que este tramo se encuentra en muy mal estado; una zona donde residen muchas personas y es el tramo vial de uso constante por parte de este grupo social.

La segunda etapa consta de una evaluación de la condición superficial del pavimento en la ruta nacional 708, la misma se realiza de manera manual es decir “caminando por la vía”.

La información de las dos etapas mencionadas anteriormente son las que dan paso al análisis de resultados. A continuación, se muestran los datos de la ruta nacional 708.

4.2 Primera etapa

Ver las tablas 4 y 5.

Tabla 5.

Datos referentes a la sección a estudiar

Ruta Nacional n°.	708
Longitud (m)	2021
Ancho de calzada	6
Pavimento	Flexible
Longitud de la UM (m)	47
UM Totales (N)	43
UM Mínimas	NO APLICA
Intervalo de Muestreo (i)	1
Sentido	1-2(Río Cuarto-Sarchí)

UM por analizar

TODAS

Nota. Elaboración propia.**Tabla 6.***Unidades de muestreo a analizar*

Unidades de muestreo por analizar		
UM	Est. Inicial	Est. Final
1	00+000	00+047
2	00+047	00+094
3	00+094	00+141
4	00+141	00+188
5	00+188	00+235
6	00+235	00+282
7	00+282	00+329
8	00+329	00+376
9	00+376	00+423
10	00+423	00+470
11	00+470	00+517
12	00+517	00+564
13	00+564	00+611
14	00+611	00+658
15	00+658	00+705
16	00+705	00+752
17	00+752	00+799
18	00+799	00+846
19	00+843	00+893
20	00+893	00+940
21	00+940	00+987
22	00+987	01+034
23	01+034	01+081
24	01+081	01+128
25	01+128	01+175
26	01+175	01+222

27	01+222	01+269
28	01+269	01+316
29	01+316	01+363
30	01+363	01+410
31	01+410	01+457
32	01+457	01+504
33	01+504	01+551
34	01+551	01+598
35	01+598	01+645
36	01+645	01+692
37	01+692	01+739
38	01+739	01+786
39	01+786	01+833
40	01+833	01+880
41	01+880	01+927
42	01+927	01+974
43	01+974	02+021

Nota. Elaboración propia.

La ruta nacional 708 tiene una longitud de unidad de muestreo de cuarenta y siete metros esto se debe a que el ancho de calzada es de seis metros.

4.3 Segunda Etapa

En esta etapa se adjuntan los cuadros completos con los resúmenes de los deterioros auscultados para la ruta 708.

Tabla 7.

Resumen del proceso de las patologías auscultadas en la ruta nacional 708

Unidad de muestra	Área (m ²)	Deterioros	Severidad	Densidad (%)	Valor deducido
1	282,0	Bacheo	Baja	34,1	29
1	282,0	Desprendimiento de agregados	Media	51,5	34
1	282,0	Exudación	Baja	0,5	0

1	282,0	Bacheo	Alta	0,7	17
2	282,0	Huecos	Baja	0,7	15
2	282,0	Exudación	Baja	0,6	0
2	282,0	Bacheo	Baja	13,0	18
2	282,0	Desprendimiento de agregados	Media	101,0	40
3	282,0	Desprendimiento de agregados	Media	63,8	37
3	282,0	Bacheo	Baja	33,6	29
3	282,0	Grieta longitudinal y transversal	Baja	1,7	0
3	282,0	Grieta longitudinal y transversal	Alta	0,2	3
3	282,0	Bacheo	Media	1,6	13
4	282,0	Bacheo	Baja	27,9	26
4	282,0	Desprendimiento de agregados	Alta	0,5	13
4	282,0	Bacheo	Media	0,3	5
5	282,0	Desprendimiento de agregados	Media	42,5	32
5	282,0	Bacheo	Media	0,4	6
5	282,0	Bacheo	Baja	1,9	3
6	282,0	Bacheo	Media	0,1	3
6	282,0	Bacheo	Baja	51,1	33
6	282,0	Cuero de lagarto	Baja	0,2	4
6	282,0	Desprendimiento de agregados	Media	39,1	31
7	282,0	Bacheo	Media	0,1	3
7	282,0	Desprendimiento de agregados	Media	16,0	23
7	282,0	Bacheo	Baja	1,2	2
8	282,0	Bacheo	Baja	47,0	32
8	282,0	Bacheo	Media	1,2	11
8	282,0	Huecos	Alta	1,1	53
9	282,0	Bacheo	Baja	34,7	29
9	282,0	Bacheo	Media	1,0	10
9	282,0	Huecos	Alta	0,3	34
9	282,0	Huecos	Media	0,3	15
10	282,0	Bacheo	Media	2,9	18
10	282,0	Bacheo	Baja	16,4	21
11	282,0	Bacheo	Baja	2,3	4
11	282,0	Bacheo	Media	7,3	26

11	282,0	Desprendimiento de agregados	Media	7,4	15
12	282,0	Bacheo	Baja	21,8	24
12	282,0	Bacheo	Media	17,2	42
12	282,0	Huecos	Alta	0,7	46
12	282,0	Huecos	Media	0,3	15
13	282,0	Huecos	Baja	0,3	9
13	282,0	Bacheo	Baja	4,6	9
13	282,0	Bacheo	Media	0,7	8
13	282,0	Huecos	Alta	0,7	46
14	282,0	Bacheo	Media	0,7	8
14	282,0	Huecos	Alta	0,3	34
14	282,0	Bacheo	Baja	5,7	11
14	282,0	Bacheo	Baja	1,5	14
15	282,0	Huecos	Baja	17,3	21
15	282,0	Huecos	Alta	0,7	46
15	282,0	Huecos	Media	0,3	15
16	282,0	Bacheo	Baja	9,3	15
16	282,0	Bacheo	Media	1,4	12
16	282,0	Huecos	Alta	1,4	59
16	282,0	Huecos	Media	1,4	38
17	282,0	Desprendimiento de agregados	Media	10,1	18
17	282,0	Huecos	Media	1,1	32
17	282,0	Huecos	Baja	13,3	18
17	282,0	Huecos	Alta	2,1	68
18	282,0	Bacheo	Baja	36,3	29
18	282,0	Bacheo	Media	20,2	45
18	282,0	Huecos	Alta	0,3	34
19	282,0	Huecos	Media	0,3	15
19	282,0	Bacheo	Baja	19,2	22
19	282,0	Bacheo	Media	6,4	24
19	282,0	Huecos	Alta	0,7	46
20	282,0	Huecos	Alta	1,8	64
20	282,0	Bacheo	Baja	39,3	30
20	282,0	Bacheo	Media	1,4	12

21	282,0	Huecos	Media	0,3	15
21	282,0	Grieta longitudinal y transversal	Media	0,3	-1
21	282,0	Bacheo	Baja	21,3	23
21	282,0	Bacheo	Media	5,7	23
21	282,0	Huecos	Alta	0,3	34
21	282,0	Desprendimiento de agregados	Media	8,5	16
22	282,0	Bacheo	Baja	18,8	22
22	282,0	Bacheo	Media	2,1	15
22	282,0	Huecos	Alta	0,3	34
22	282,0	Huecos	Baja	0,3	9
22	282,0	Exudación	Baja	0,7	0
23	282,0	Grieta longitudinal y transversal	Baja	1,4	0
23	282,0	Bacheo	Baja	13,7	19
23	282,0	Bacheo	Media	1,1	10
23	282,0	Huecos	Baja	0,7	15
23	282,0	Desprendimiento de agregados	Media	4,8	13
24	282,0	Bacheo	Media	0,1	3
24	282,0	Bacheo	Baja	5,6	11
25	282,0	Bacheo	Media	0,6	7
25	282,0	Huecos	Baja	0,3	9
25	282,0	Huecos	Media	0,3	15
25	282,0	Bacheo	Baja	13,7	19
26	282,0	Bacheo	Baja	14,2	19
26	282,0	Bacheo	Media	0,1	3
26	282,0	Huecos	Alta	0,7	46
27	282,0	Bacheo	Baja	16,9	21
27	282,0	Desprendimiento de agregados	Media	1,4	9
28	282,0	Bacheo	Baja	3,4	7
28	282,0	Bacheo	Media	2,7	17
28	282,0	Huecos	Baja	0,3	9
28	282,0	Huecos	Media	0,3	15
29	282,0	Bacheo	Baja	9,9	16
29	282,0	Bacheo	Media	0,9	9
29	282,0	Bacheo	Alta	1,3	21

29	282,0	Desprendimiento de agregados	Media	6,4	14
30	282,0	Bacheo	Baja	12,8	18
30	282,0	Bacheo	Media	0,5	7
30	282,0	Huecos	Alta	0,7	46
30	282,0	Desprendimiento de agregados	Media	5,3	13
30	282,0	Exudación	Baja	0,9	0
31	282,0	Grieta longitudinal y transversal	Media	0,3	-1
31	282,0	Bacheo	Baja	12,5	18
31	282,0	Grieta longitudinal y transversal	Baja	1,9	0
31	282,0	Bacheo	Media	0,4	6
32	282,0	Bacheo	Media	0,3	5
32	282,0	Bacheo	Baja	32,6	28
33	282,0	Bacheo	Baja	24,1	25
33	282,0	Bacheo	Media	0,6	7
34	282,0	Huecos	Baja	0,3	9
34	282,0	Huecos	Alta	0,3	34
34	282,0	Bacheo	Baja	23,0	24
35	282,0	Bacheo	Media	5,8	23
35	282,0	Huecos	Baja	0,3	9
35	282,0	Huecos	Media	0,3	15
35	282,0	Bacheo	Baja	30,7	28
36	282,0	Bacheo	Baja	6,4	12
36	282,0	Cuero de lagarto	Baja	2,3	19
36	282,0	Huecos	Media	0,3	15
37	282,0	Huecos	Media	1,1	32
37	282,0	Bacheo	Media	2,8	18
37	282,0	Huecos	Alta	0,3	34
37	282,0	Bacheo	Baja	28,1	27
38	282,0	Bacheo	Baja	24,1	25
38	282,0	Bacheo	Media	1,5	13
38	282,0	Huecos	Alta	0,7	46
38	282,0	Huecos	Baja	0,3	9
39	282,0	Huecos	Alta	0,7	46
39	282,0	Bacheo	Baja	15,0	20

39	282,0	Bacheo	Media	1,6	13
40	282,0	Bacheo	Media	13,4	36
40	282,0	Huecos	Media	0,3	15
40	282,0	Bacheo	Baja	1,2	2
40	282,0	Huecos	Alta	0,7	46
41	282,0	Huecos	Alta	1,8	64
41	282,0	Bacheo	Baja	6,6	13
41	282,0	Huecos	Media	0,7	25
41	282,0	Bacheo	Media	0,3	5
42	282,0	Bacheo	Media	1,1	10
42	282,0	Huecos	Alta	0,3	34
42	282,0	Bacheo	Baja	54,8	33
43	282,0	Exudación	Baja	0,9	0
43	282,0	Bacheo	Baja	13,7	19
43	282,0	Bacheo	Media	1,4	12

Nota. Elaboración propia.

En el Anexo 2 se presenta en formato de campo los daños inventariados basado en el MAV-16. En este se muestra una interpretación tipo croquis de las fallas auscultadas en la ruta nacional 708.

4.4 Dedución de las fallas auscultadas y PCI de la RN 708

Este apartado de la metodología contempla la obtención del máximo valor deducido corregido (MVDC), en este mismo apartado se obtiene el Índice de Condición del Pavimento (PCI) para cada una de las unidades de muestreo que componen la ruta nacional 708 con su respectiva clasificación.

Dicha información se presenta en el siguiente cuadro.

Tabla 8.

Resumen de los datos de la aplicación PCI.

Área (m ²)	Unidad de muestra	Progresiva inicial	Progresiva final	m	MVDC	PCI	Clasificación
282,0	1	00+000	00+047	7,1	52	48	Pobre

282,0	2	00+047	00+094	6,2	49	51	Pobre
282,0	3	00+094	00+141	6,8	52	48	Pobre
282,0	4	00+141	00+188	7,8	30	70	Satisfactorio
282,0	5	00+188	00+235	7,2	36	64	Malo
282,0	6	00+235	00+282	7,2	49	51	Pobre
282,0	7	00+282	00+329	8,1	27	73	Satisfactorio
282,0	8	00+329	00+376	5,3	63	37	Muy pobre
282,0	9	00+376	00+423	7,1	52	48	Pobre
282,0	10	00+423	00+470	8,3	29	71	Satisfactorio
282,0	11	00+470	00+517	7,8	32	68	Malo
282,0	12	00+517	00+564	6,0	72	28	Muy pobre
282,0	13	00+564	00+611	6,0	52	48	Pobre
282,0	14	00+611	00+658	7,1	40	60	Malo
282,0	15	00+658	00+705	6,0	53	47	Pobre
282,0	16	00+705	00+752	4,8	73	27	Muy pobre
282,0	17	00+752	00+799	3,9	76	24	Serio
282,0	18	00+799	00+846	6,1	68	32	Muy pobre
282,0	19	00+843	00+893	6,0	61	39	Muy pobre
282,0	20	00+893	00+940	4,3	70	30	Muy pobre
282,0	21	00+940	00+987	7,1	58	42	Pobre
282,0	22	00+987	01+034	7,1	47	53	Pobre
282,0	23	01+034	01+081	8,4	31	69	Malo
282,0	24	01+081	01+128	9,2	13	87	Bueno
282,0	25	01+128	01+175	8,4	28	72	Satisfactorio
282,0	26	01+175	01+222	6,0	50	50	Pobre
282,0	27	01+222	01+269	8,3	23	77	Satisfactorio
282,0	28	01+269	01+316	8,6	27	73	Satisfactorio
282,0	29	01+316	01+363	8,3	33	67	Malo
282,0	30	01+363	01+410	6,0	52	48	Pobre
282,0	31	01+410	01+457	8,5	19	81	Satisfactorio
282,0	32	01+457	01+504	7,6	30	70	Satisfactorio
282,0	33	01+504	01+551	7,9	27	73	Satisfactorio
282,0	34	01+551	01+598	7,1	44	56	Malo
282,0	35	01+598	01+645	7,6	44	56	Malo

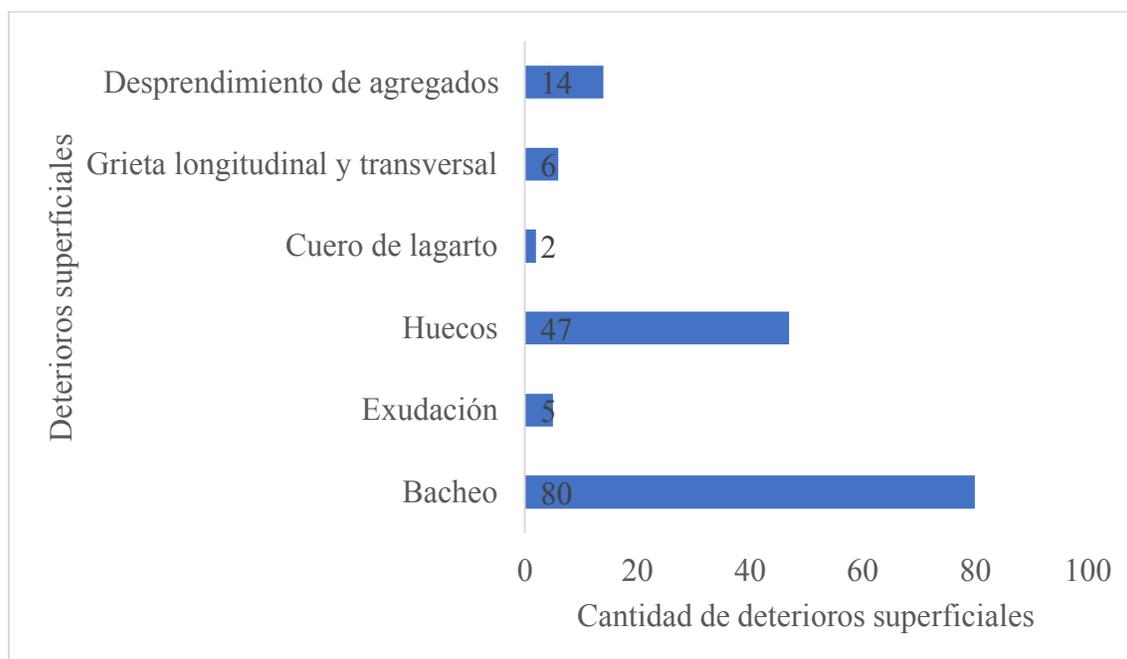
282,0	36	01+645	01+692	8,4	28	72	Satisfactorio
282,0	37	01+692	01+739	7,1	63	37	Muy pobre
282,0	38	01+739	01+786	6,0	55	45	Pobre
282,0	39	01+786	01+833	6,0	51	49	Pobre
282,0	40	01+833	01+880	6,0	63	37	Muy pobre
282,0	41	01+880	01+927	4,3	70	30	Muy pobre
282,0	42	01+927	01+974	7,1	50	50	Pobre
282,0	43	01+974	02+021	8,4	23	77	Satisfactorio

Nota. Elaboración propia.

En el siguiente gráfico de barras se muestra un reporte general; de la cantidad y de los tipos de deterioros.

Figura 82.

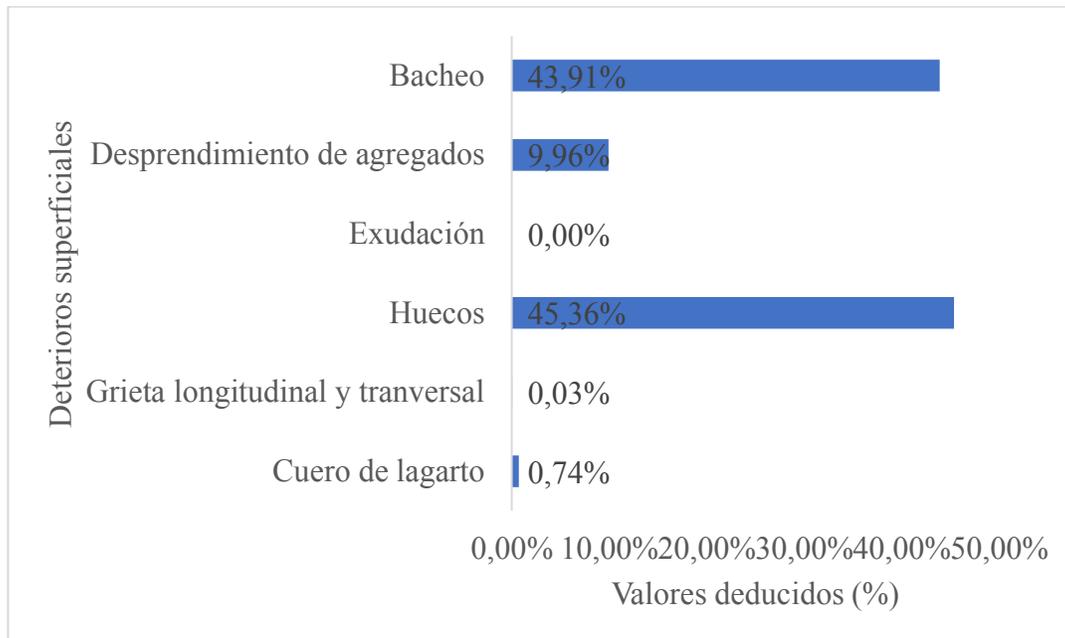
Cantidad de cada tipo de deterioro superficial en la ruta nacional 708



Nota. Elaboración propia.

Figura 83.

Porcentaje de la deducción para cada tipo de patología presente en la ruta nacional 708

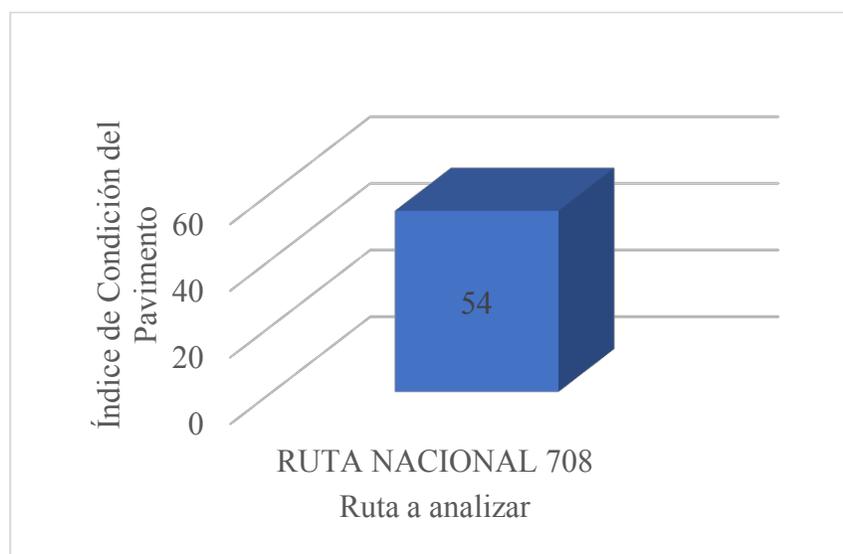


Nota. Elaboración propia.

En el siguiente gráfico se observa la clasificación del nivel de condición del pavimento de la Ruta Nacional 708.

Figura 84.

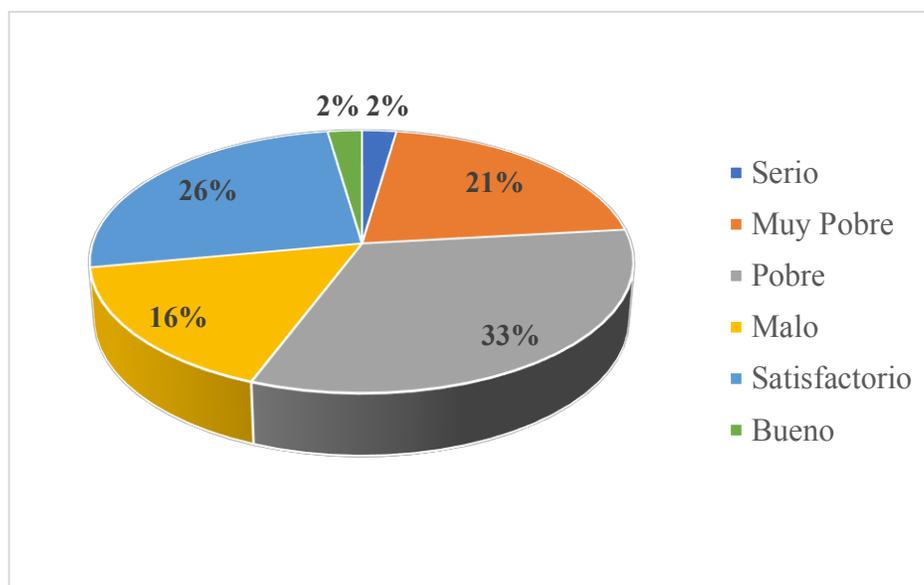
Índice de la Condición del Pavimento flexible en la ruta nacional 708



Nota. Elaboración propia.

Tabla 9.*Estado de las unidades de muestreo*

Estado	Unidades de muestreo	Longitud de las UM	%
Serio	1	47	2%
Muy Pobre	9	47	21%
Pobre	14	47	33%
Malo	7	47	16%
Satisfactorio	11	47	26%
Bueno	1	47	2%

Nota. Elaboración propia.**Figura 85.***Porcentaje del estado de daño de las unidades de muestreo**Nota.* Elaboración propia.

La sección evaluada de la ruta nacional 708, iniciando en el entronque con la ruta nacional 140, con una extensión de 44,50 km, de los cuales solo se va a evaluar los primeros 2021 metros.

Los deterioros más frecuentes en las unidades de muestreo son el bacheo, con un total de 80 ocurrencias con una severidad baja-media; los huecos con un total de 47 ocurrencias y una severidad media-alta. Los bacheos poseen extensiones que llegan a

abarcar incluso los 108 metros cuadrados. Los huecos se presentan en varias de las unidades de muestreo con una severidad media-alta, sus dimensiones van desde los 10 cm hasta los 70 cm de diámetro.

Es importante tomar en cuenta la medida del deterioro y no solo la cantidad de ocurrencias de este en una misma sección, ya que puede haber una gran cantidad de deterioros con un área de menor tamaño y en otra zona de la misma sección, una sola falla con un área de mayor extensión la cual puede repercutir más a la capacidad estructural del pavimento, así como a los usuarios que transitan por la vía.

La falla más recurrente es el bacheo, sin embargo, en ninguna de las ocasiones su densidad es mayor a 54,8 % en las UM. Esto demuestra que a pesar de que este deterioro es el que más aparece en la vía, no es el que tiene mayor extensión en la ruta nacional 708. La falla con la densidad más grande se debe al desprendimiento de agregados con un valor de 94%, es decir, existen unidades de muestreo que esta falla la abarca en su mayoría.

Las patologías que producen una mayor afectación al pavimento son las que poseen un número mayor de deducción. Según la figura 82, de todos los deterioros evaluados los que representan un mayor daño al pavimento de la ruta 708 son los huecos con un valor deducido de 45,36% seguido del bacheo con un 43,91%.

De acuerdo con la información anterior, queda evidenciado que el deterioro que más afecta el pavimento corresponde a los huecos, por lo que se debe de prestar mayor atención a las causas que dan paso a dicha falla. Según el MOPT (2016) en el manual de auscultación visual, entre las posibles causas se destacan las siguientes: fundaciones y capas inferiores inestables; espesores insuficientes; defectos constructivos; retención de agua en zonas hundidas y/o fisuradas, acción abrasiva del tránsito sobre sectores localizados de mayor debilidad del pavimento o sobre áreas en las que se han desarrollado fisuras tipo cuero de lagarto.

De acuerdo con la figura 83, se observa que el valor del índice de condición del pavimento obtenido para el tramo de la ruta nacional 708 el cual es de 54. De acuerdo con la norma ASTM D6433-18, la condición superficial de la ruta asfaltada se clasifica como “pobre”. Este estado es una indicación de la mala condición que presenta esta ruta, por

ende, deben tomarse en consideración ciertas variables para su análisis y aplicar medidas de intervención.

Una de las variables a considerar es la fecha de construcción y el tiempo en que se han realizado mantenimientos periódicos o rehabilitaciones, ya que con esta información, se puede tener más claro si la vía se deterioró más rápido del tiempo para la que fue diseñada o bien verificar si está acorde al periodo de diseño de la misma. Se hace énfasis en la necesidad que tienen las carreteras de recibir mantenimientos oportunos y específicamente el pavimento, para que pueda alcanzar el periodo de diseño, por lo que, a pesar de que la ruta presenta una condición superficial “pobre” se debe prestar especial atención a las unidades de muestreo que presentan un menor PCI, igualmente a las que presentan un buen PCI se deben de tener en cuenta para evitar que estas bajen su calificación, ya sea realizando los mantenimientos correspondientes.

4.5 Intervención requerida en la Ruta Nacional 708

Los resultados obtenidos evidencian un problema estructural en esta ruta; los tramos en una condición buena son muy cortos y están ubicados entre tramos de condición regular a mala; por lo tanto, no es viable establecer tramos en buen estado y tramos en mal estado, sino considerar que la totalidad de la ruta debe ser evaluada a nivel estructural.

La evaluación que requiere como paso posterior, es un estudio de deflectometría, una evaluación geotécnica, la evaluación del drenaje, la determinación de la variable tránsito y con todo ello una evaluación de la capacidad estructural actual del pavimento y el diseño de una rehabilitación, si es requerido.

Mientras llega el presupuesto para realizar los estudios requeridos e intervenir esta vía, pueden realizarse mantenimientos tendientes a brindar a los usuarios seguridad y menores costos de operación.

El Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica también proporciona una guía detallada para las técnicas de intervención y rehabilitación recomendadas para cada tipo de problema. A continuación, se detallan algunas de las técnicas de intervención y rehabilitación comunes para las patologías encontradas en el pavimento flexible de la zona en estudio:

4.5.1 Bacheo:

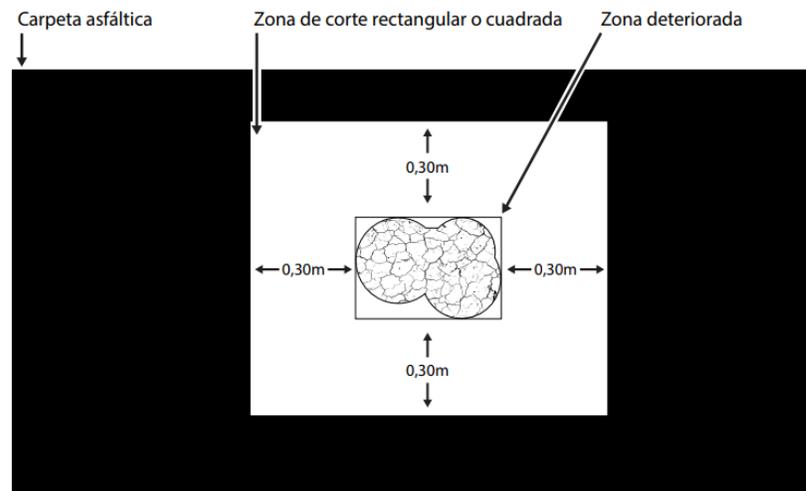
Para el caso del bacheo el cual es una de las fallas más presentadas en la sección de estudio, este se puede reparar mediante la eliminación del material dañado y la reconstrucción de la sección afectada con una mezcla adecuada de asfalto.

4.5.2 Huecos:

Los huecos se pueden reparar mediante una técnica conocida como bacheo o realizar una sustitución de la carpeta asfáltica. Un buen bacheo se realiza de la siguiente manera; el área se debe marcar por medio de pintura, crayón o tiza, de forma rectangular o cuadrada. Es necesario que la zona marcada cubra por lo menos 30 cm más, separada de la zona deteriorada de manera que se asegure eliminar todas las zonas debilitadas. (Ver figura 86).

Figura 86.

Zona de corte rectangular para un bache



Nota. Adaptado por Daniela Martínez (2021). Tomado del LanammeUCR (2021).

4.5.3 Exudación:

La falla por exudación puede ser reparada mediante un sello de arena o polvo de piedra, cuando por su severidad puede afectar la seguridad en el tránsito de los vehículos; no es necesario realizar una sustitución de la capa asfáltica debido a que los casos por exudación que se presentan en la sección en estudio poseen una severidad baja-media.

4.5.4 Grietas por fatiga:

Para intervenir las grietas por fatiga o cuero de lagarto, se pueden aplicar sellos asfálticos o tratamientos superficiales asfálticos, esto para el caso de la sección en estudio, la cual presenta una severidad baja-media. Si su severidad es alta y se ha formado un patrón de grietas totalmente interconectadas (simulando el cuero de lagarto) que se encuentran en su mayoría fracturadas en los bordes y que forman bloques sueltos que pueden llegar a moverse bajo el paso de un vehículo, para este caso se deben realizar bacheos puntuales o sustitución de la capa asfáltica.

4.5.5 Grietas longitudinales y transversales:

Para tratar las grietas longitudinales y transversales es importante aplicar un sellador de grietas en la zona afectada. El sellador debe llenar la grieta completamente y asegurar una buena unión con la superficie existente.

4.5.6 Desprendimiento de agregados:

Para intervenir la falla por desprendimientos de agregados se debe aplicar una capa de sellado de la superficie para evitar que se produzca un mayor desprendimiento de agregados. La capa de sellado debe estar compuesta por una mezcla de asfalto y agregados finos, seguido de una buena compactación.

Las fisuras y grietas en el pavimento son una de las principales causas del desprendimiento de agregados. Sellando estas fisuras y grietas se evita que la humedad y otros materiales puedan infiltrarse y causar el desprendimiento de los agregados.

La aplicación de una capa de sellado es una técnica eficaz para prevenir el desprendimiento de agregados. El sellado proporciona una capa protectora sobre el pavimento que ayuda a prevenir la entrada de agua, productos químicos y otros materiales que pueden causar daños.

Conclusiones

Se puede concluir que el tramo del K 0+000 al K 2+021 evaluado en la ruta nacional 708 presenta un problema estructural, ya que los tramos que presentan una buena condición son muy cortos y estos están ubicados entre tramos de condición regular a mala.

Se determina que el pavimento flexible de la ruta nacional 708 de acuerdo con la norma ASTM D6433-18 presenta una clasificación “pobre”.

Se concluye que las fallas con mayor valor deducido tales como los huecos, el bacheo y el desprendimiento de agregados son los que generan un daño mayor a la capacidad estructural del pavimento de la ruta nacional 708, por lo que se les debe prestar mayor atención.

El inventario de campo de la ruta nacional 708 da una realidad gráfica en donde se puede observar que la mayor parte de las fallas se presentan en el carril con sentido Sarchí – Río Cuarto (2-1).

Recomendaciones

Se recomienda que la metodología PCI sea usada de manera continua por parte de las entidades encargadas del mantenimiento de la red vial (MOPT, CONAVI, municipalidades) para así poder establecer ciertas políticas y plantear técnicas de intervención que resulten más eficientes en cuanto a tiempo, costos y recursos.

Es recomendable el uso de tecnologías complementarias como el análisis de deflexiones del pavimento, evaluación del desempeño del pavimento mediante la evaluación del Índice de Regularidad Internacional (IRI), un buen “IRI” nos garantiza bajos costos operativos por parte del usuario y menos afectaciones al pavimento por parte de los vehículos, con lo cual se puede obtener una valoración óptima que permite determinar la capacidad estructural que presenta el pavimento de la sección en estudio.

Se recomienda después de que se tiene rehabilitada la vía, implementar un plan de conservación vial, el cual se centre en el continuo y periódico monitoreo del pavimento y las fallas que se puedan presentar, así como la aplicación de mantenimientos preventivos antes de que se formen fallas de mayor extensión, las cuales pueden perjudicar la condición operacional de la vía.

Referencias

- Méndez, T. E. (2019). *Evaluación de la condición superficial de pavimentos por medio de Trimble Trident*. <https://hdl.handle.net/2238/10982>.
- Arias, A. C. (2014). *Diagnóstico de vías de la red vial pavimentada del cantón de Alajuela*. <https://hdl.handle.net/2238/6185>.
- Tacza, H. E., y Rodríguez, P. B. (2018). *Evaluación de fallas mediante el método PCI y planteamiento de alternativas de intervención para mejorar la condición operacional del pavimento flexible en el carril segregado del corredor Javier Prado*. <http://hdl.handle.net/10757/624556>.
- García, S. D., y Silva, C. D. (2018). *Análisis comparativo de metodologías de evaluación VIZIR y PCI (parte b), aplicado a la estructura de pavimento de una vía urbana, en el barrio Chicó norte (localidad Chapinero)*. <http://hdl.handle.net/10654/17863>.
- Organización Mundial de la Salud. (2017). *10 datos sobre la seguridad vial en el mundo*. <https://www.who.int/features/factfiles/roadsafety/es/>.
- Salas, O. (2022, 4 de julio). *¿Cuál es el estado de las carreteras nacionales y por qué?* Universidad de Costa Rica. <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2022/07/04/cual-es-el-estado-de-las-carreteras-nacionales-y-por-que.html>
- Arrieta, E. (2022, 13 de octubre). *Rodrigo Chaves: “La responsabilidad en infraestructura para el invierno 2023 es mía”*. La República. <https://www.larepublica.net/noticia/rodrigo-chaves-la-responsabilidad-en-infraestructura-para-el-invierno-2023-es-mia>
- Madriz, A. (2022, 23 de setiembre). *Mal estado de las carreteras nacionales afecta desarrollo turístico del país*. La República. <https://www.larepublica.net/noticia/mal-estado-de-las-carreteras-nacionales-afecta-desarrollo-turistico-del-pais>
- Mocondino, J. (2020, 11 de marzo). *¿Qué son los pavimentos y cómo se clasifican?* LinkedIn. <https://www.linkedin.com/pulse/qu%C3%A9-son-los-pavimento-y-c%C3%B3mo-se-clasifican-jhonn-jairo-mocondino-r/>
- Montejo, F. A. (2002). *Ingeniería de pavimentos para carreteras*. Agora Editores.

- Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica. (2022). *CR-2020 Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes*. <http://repositorio.mopt.go.cr:8080/xmlui/123456789/4694>
- Castaño, M. F., Herrera, B. J., Gómez, S. J., Reyes, L. F. (2009). *Análisis cualitativo del flujo de agua de infiltración para el control del drenaje de una estructura de pavimento flexible en la ciudad de Bogotá D.C.* *Infraestructura Vial*, 11(22). https://www.researchgate.net/publication/277070286_Analisis_cualitativo_del_flujo_de_agua_de_infiltracion_para_el_control_del_drenaje_de_una_estructura_de_pavimento_flexible_en_la_ciudad_de_Bogota_DC
- Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones de República Dominicana. (2016). *Identificación de fallas en pavimentos y técnicas de reparación (catálogo de fallas)*. <https://www.mopc.gob.do/media/2335/sistema-identifici%C3%B3n-fallas.pdf>
- Cruz Valenzuela. F. O. (s.f.). *Conservación de caminos de pavimento flexible*. <http://www.bidi.uson.mx/TesisIndice.aspx?tesis=3024>
- Arroyo Pinto. R. (2016). Pavimentos flexibles y rígidos: Sección transversal. [Fotografía]. SlidePlayer. <http://slideplayer.es/slide/10916850/>
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica. (2016). *Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica*. <http://repositorio.mopt.go.cr:8080/xmlui/123456789/3623>
- American Society for Testing and Materials. (2018). *Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys (ASTM D6433-18)*
- The Federal Highway Administration. (2014). *DISTRESS IDENTIFICATION MANUAL for the Long-Term Pavement Performance Program*. [distress-identification-manual-13092.pdf \(dot.gov\)](http://www.fhwa.dot.gov/pavement/pdp/distress-identification-manual-13092.pdf)
- Instituto Nacional de Vías de Colombia. (2006). *Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles*. Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles (invias.gov.co)

- Hernández Sampieri, R., Baptista Lucio, P., Fernández Collado, C.(2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill. <https://www.ebooks7-24.com:443/?il=721>
- Hernández Sampieri, R., Mendoza Torres, C. P.(2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill. <https://www.ebooks7-24.com:443/?il=6443>
- Vásquez Varela, L. (2002). *PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI) PARA PAVIMENTOS ASFÁLTICOS Y DE CONCRETO EN CARRETERAS*. <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-pci1.pdf>
- Secretaría de Integración Económica Centroamericana (2000). *Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras*. Catalogo centroamericano de daños a pavimentos viales.
- Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras*. Stella Valbuena de Fierro.
- Pomareda, F. (2022). *Ministro Luis Amador: Los nuevos contratos de mantenimiento estarán en mayo o junio del 2023*. Semanario Universidad. <https://semanariouniversidad.com/pais/ministro-luis-amador-los-nuevos-contratos-de-mantenimiento-estaran-en-mayo-o-junio-del-2023/>

Anexos

Anexo 1

Hoja de levantamiento de deterioros

Se presenta la hoja de levantamiento de deterioros utilizada para la auscultación de los deterioros.

Pág 1

Hoja /

Fecha: _____
 # Unidad de Muestras: _____
 Secc Control: _____
 Provincia, Cantón y Distrito: _____

Estc. Inicial: _____
 Estc. Final: _____
 Código de Vía/Ruta: _____

Longitud de la UM: _____
 Inspeccionada por: _____
 Posición GPS: _____

Deterioros Pavimento Flexible	Severidad (Marcar con X)			Medida (Llevar la casilla que corresponde con la severidad)			Simbología
	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo	
Grietas							
01. Cuero de lagarto							
02. Longitudinal - Transversal							
03. Reflejo de juntas							
04. Bloque							
05. Borde							
06. Arco							
07. Roderas							
Deformaciones							
08. Abultamientos y hundimientos							
09. Corrugación							
10. Depresiones							
11. Hinchamiento							
12. Corrimiento/Desplazamiento							
13. Exudación							
Textura Superficial							
14. Pulimiento de agregados							
15. Desprendimiento de agregados							
16. Desgaste superficial							
17. Escalonamiento calzada-espaldón							
18. Baches							
19. Huecos							
20. Cruce de línea férrea							
Misceláneos							

Nota: Anotar el nivel de severidad de cada deterioro en el croquis con una A, M o B encima del dibujo, según corresponda.

Observaciones:

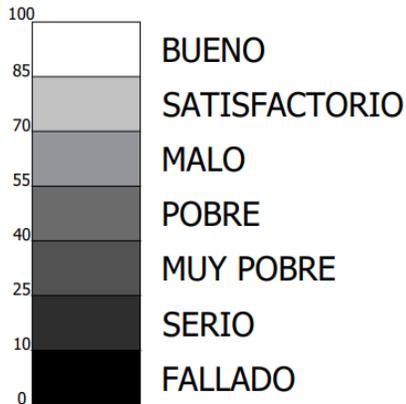
Nota: Tomado del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT).

Anexo 2

Auscultación de fallas de la ruta nacional 708 en formato de campo.

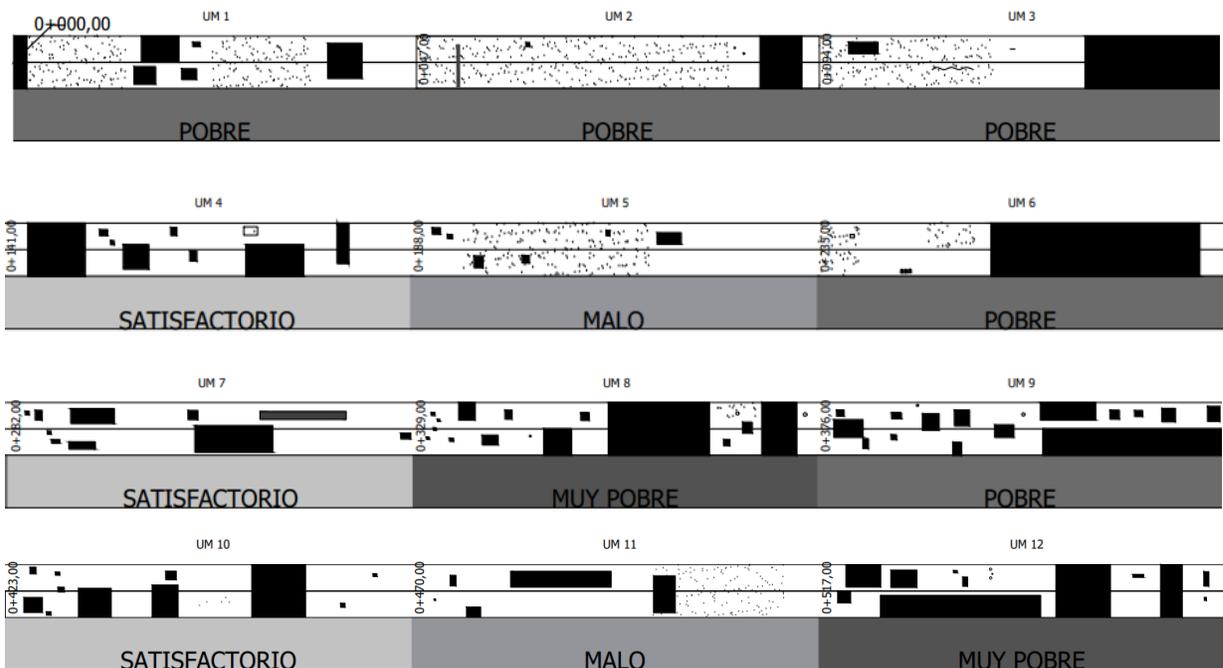
Se presenta el rango de clasificación del PCI de la ruta y la simbología referente a las fallas presentes:

RANGO DE CLASIFICACIÓN DEL PCI

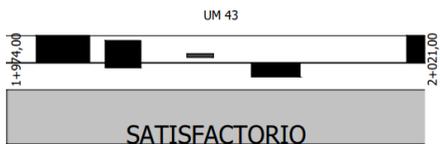


FALLAS	SIMBOLOGÍA
DESPRENDIMIENTOS DE AGREGADOS	
GRIETA LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL	
CUERO DE LAGARTO	
HUECOS	
EXUDACIÓN	
BACHEO	

Inventario de las fallas encontradas en cada unidad de muestreo (UM) y su clasificación de acuerdo con el índice de condición del pavimento:







Nota. Elaboración propia 2023.

Anexo 3

Registro fotográfico de la auscultación de fallas de la ruta nacional 708.

Bacheo en el K0+000 al K0+003 con la ruta nacional 708.



Nota. En dicha imagen se puede observar un bacheo de severidad baja. Elaboración propia 2023.

Bacheo en el K0+030 ruta nacional 708.



Nota. Se puede observar un bacheo con severidad media el cual está marcado con las líneas negras, dentro de este también se puede ver en la zona marcada con líneas rojas la existencia de un hueco el cual fue sellado por los vecinos con concreto hidráulico. Elaboración propia 2023.

Huecos en el K0+150 ruta nacional 708.



Nota. En las imágenes anteriores se puede observar una falla muy ocurrente en la sección estudiada, en este caso los dos huecos de las imágenes se encuentran ubicados en el carril derecho (sentido Río Cuarto-Sarchí). Elaboración propia 2023.

Desprendimientos de agregados y huecos en el K0+760 ruta nacional 708.



Nota. En la fotografía anterior se puede observar un desprendimiento de agregados con severidad alta, la cual abarca una longitud de 14 metros y un ancho de 6 metros, producto de este desprendimiento se genera gran cantidad de huecos con severidades media-alta. Elaboración propia 2023.

Exudación en el K1+000 ruta nacional 708.



Nota. Se puede observar una falla por exudación con una severidad baja-media, producto de un mal diseño de mezcla en el carril izquierdo (sentido Sarchí-Río Cuarto). Elaboración propia 2023.

Cuero de lagarto/grietas por fatiga en el K1+040 ruta nacional 708.



Nota. Se puede observar una serie de grietas con severidad media, ya que estas poseen interconexiones, las mismas se encuentran ubicadas en el carril derecho (sentido Río Cuarto-Sarchí). Elaboración propia 2023.

Grieta transversal en el K1+800 ruta nacional 708.



Nota. Se puede observar en la imagen anterior una grieta transversal producto de una junta de construcción inadecuadamente trabajada, con una severidad media. Elaboración propia 2023.

Grieta longitudinal en el K1+925 ruta nacional 708.



Nota. Se puede observar en la imagen anterior una grieta longitudinal, con una severidad media, esta se encuentra ubicada en el carril izquierdo (sentido Sarchí-Río Cuarto). Elaboración propia 2023.

Glosario

Infraestructura vial pública: Es todo camino, calle o vía férrea, incluidas sus obras complementarias, de carácter rural o urbano de dominio y uso público.

Pavimento flexible: Es una mezcla procesada, compuesta por agregados gruesos y finos, material bituminoso y de ser el caso aditivo de acuerdo con diseño y especificaciones técnicas. Es utilizada como capa de base o de rodadura y forma parte de la estructura del pavimento.

MAV-16: Manual de Auscultación Visual de Pavimentos 2016.

Espaldón: Es el área adyacente a ambos lados de la calzada, su función principal es dar soporte a la calzada.

Línea de borde: Se utiliza para demarcar el borde del pavimento y su función principal es facilitar la conducción a los usuarios, principalmente en la noche o en zonas con condiciones desfavorables.

PCI: Índice de Condición del Pavimento.

INVIAS: Instituto Nacional de Vías de Colombia.

Auscultación: Es un proceso que se utiliza para evaluar el estado actual del pavimento, el cual sirve de insumo para el mantenimiento preventivo.

Patologías: Daños de tipo estructural/funcional presentes en un pavimento.

ASTM: Sociedad Americana de Ensayos y Materiales.

MOPC: Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones de Republica Dominicana.

MOPT: Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica.

UTGVM: Unidad Técnica de Gestión Vial Municipal