



UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE MANABÍ
FACULTAD DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y ARQUITECTURA

CARRERA: INGENIERÍA CIVIL
INFORME FINAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO CIVIL

MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

**EVALUACION Y CONSERVACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES MEDIANTE EL
METODO PCI EN LA CALLE 12 DE LA CIUDAD DE MANTA**

ELABORADO POR:

ANDRADE JARRIN NORMAN ALEXIEV

TUTOR:

ING. MOREIRA CEVALLOS JAVIER ENRIQUE

MANTA – MANABÍ – ECUADOR

Enero 2026

APROBACIÓN DEL TUTOR

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría del estudiante ANDRADE JARRIN NORMAN ALEXIEV, legalmente matriculado en la carrera de Ingeniería Civil, período académico 2025-2026, cumpliendo el total de horas 384, cuyo tema del proyecto es "EVALUACIÓN Y CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES MEDIANTE EL METODO PCI EN LA CALLE 12 DE LA CIUDAD DE MANTA".

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 5 de febrero de 2026.

Lo certifico,



Ing. Moreira Cevallos Javier Enrique
Docente Tutor
Área: Ingeniería Civil

DECLARACIÓN DE AUTORIA

Yo, Norman Alexiev Andrade Jarrin con CC: 171740705-8, doy constancia de ser el autor del Trabajo de Titulación con modalidad Proyecto de investigación con el tema **"EVALUACIÓN Y CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES MEDIANTE EL METODO PCI EN LA CALLE 12 DE LA CIUDAD DE MANTA"**, el cual fue dirigido por el tutor, Ing. Moreira Cevallos Javier Enrique

Quiero resaltar la originalidad de este trabajo, que se fundamenta en la contribución de varios autores que enriquecieron la investigación, así como en la recopilación de datos e información provenientes de fuentes bibliográficas, visitas de campo, entre otros recursos.

En la ciudad de Manta, a los 29 días del mes de junio de dos mil veinte y seis.



Norman Alexiev Andrade Jarrin

C.C. 171740705-8

Autor

CERTIFICACIÓN DE APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

En calidad de tribunales de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, certifico:

Haber revisado el trabajo de titulación, bajo la modalidad de Proyecto de Investigación, cuyo tema es **"EVALUACIÓN Y CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES MEDIANTE EL METODO PCI EN LA CALLE 12 DE LA CIUDAD DE MANTA"** internos de la modalidad en mención y en apego al cumplimiento de los requisitos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico, por tal motivo **APRUEBO**, que el mencionado proyecto reúne los méritos académicos, científicos y formales, suficientes para proceder a la defensa correspondiente.

Certifico lo anterior para los fines pertinentes, a salvo disposición de Ley en contrario. En la ciudad de Manta, a los 29 días del mes de mayo de dos mil veinte y seis.


Ing. Jorge García Argandoña
C.C 130756406-0
Tribunal 1
Ing. Freddy Mendoza Brands
C.C 130360672-5
Tribunal 2

DEDICATORIA

Ante todo, dedico este trabajo a Dios por guiarme en cada paso de mis estudios, por darme la fuerza, la salud y la sabiduría para superar los retos académicos y por permitirme culminar con éxito este importante proyecto de vida.

A mis padres Erika y Jaime, pilares de mi vida, gracias de corazón su amor incondicional, su guía y los constantes sacrificios que hicieron para que yo pudiera recibir una buena educación. Este éxito les pertenece tanto a ellos como a mí.

A mis hermanos Valeria, Ariel y Mikel, y a mis sobrinos Liam y Ernesto, les agradezco sus consejos, su apoyo moral y su presencia inquebrantable en los momentos más difíciles y por ser mi motivación para superarme cada día.

Y por último a mis familiares, abuelos, tíos, tías y primos, por animarme en todo sentido, con sus palabras de apoyo y su confianza en mis capacidades, motivándome cada día a progresar profesionalmente.

Andrade Jarrin Norman Alexiev

AGRADECIMIENTOS

Agradezco sinceramente a mi novia Michell L. por su apoyo incondicional durante este camino, por la estabilidad emocional que necesite para perseverar. Gracias por creer en mí y celebrar cada pequeño paso conmigo como si fuera propio.

Agradezco a mis amigos Joshua, Axel, Wilmer y Samuel por las sesiones de estudio compartidas, las charlas y los momentos de relajación que hicieron más llevaderos los retos de mis estudios. Su lealtad y apoyo han hecho de estos años una experiencia inolvidable.

Finalmente, quiero agradecer a los profesores de la Facultad de Ingeniería por su alto nivel de exigencia y dedicación, que contribuyeron enormemente a mi formación universitaria.

Andrade Jarrin Norman Alexiev

RESUMEN

La presente investigación examina el estado de la superficie y la seguridad operacional del pavimento flexible de la Calle 12 en Manta, Ecuador, mediante el Índice de Condición del Pavimento (PCI). La vía caracterizada por un alto volumen de tráfico y su importancia conectiva en el entorno urbano, presenta diversos tipos de daños que afectan la transitabilidad y la seguridad vial. El estudio se basa en las directrices dadas por la normativa ASTM D6433, que proporciona una evaluación sistemática y objetiva de los daños existentes y los clasifican por tipo, gravedad y densidad.

La metodología consistió en dividir en secciones de muestra representativas, en las que se realizó un examen detallado de daños como grietas longitudinales, piel de cocodrilo, baches y deformaciones. Con base en la cuantificación de estos daños, se determinó el índice PCI, que permite categorizar el estado de la vía de “Excelente” a “Fallado”. Los resultados obtenidos no solo sirven para diagnosticar el estado actual de la Calle 12, sino también sientan las bases para desarrollar estrategias de mantenimiento preventivo y correctivo, así como para la rehabilitación completa de tramos críticos. Este trabajo representa una herramienta técnica importante para la gestión de la infraestructura vial local y promueve la optimización de la asignación de recursos para el mantenimiento de pavimentos flexibles en las condiciones climáticas y de tráfico específicas de la región costera.

Palabras clave: Pavimento flexible, método PCI, ASTM D6433, mantenimiento vial, daño al pavimento, evaluación de la superficie, gestión de infraestructura

SUMMARY

This research examines the surface condition and operational safety of the flexible pavement on Calle 12 in Manta, Ecuador, using the Pavement Condition Index (PCI). This road, characterized by high traffic volume and its connective importance in the urban environment, exhibits various types of damage that affect trafficability and road safety. The study is based on the guidelines provided by ASTM D6433, which offers a systematic and objective evaluation of existing damage and classifies it by type, severity, and density.

The methodology consisted of dividing the road into representative sample sections, in which a detailed examination of damage such as longitudinal cracks, alligator cracking, potholes, and deformations was performed. Based on the quantification of this damage, the PCI index was determined, allowing the road condition to be categorized from "Excellent" to "Failed." The results obtained not only serve to diagnose the current condition of 12th Street, but also lay the groundwork for developing preventive and corrective maintenance strategies, as well as for the complete rehabilitation of critical sections. This work represents an important technical tool for the management of local road infrastructure and promotes the optimization of resource allocation for the maintenance of flexible pavements under the specific climatic and traffic conditions of the coastal region.

Keywords: Flexible pavement, PCI method, ASTM D6433, road maintenance, pavement damage, surface assessment, infrastructure management

ÍNDICE

CAPITULO I: GENERALIDADES Y OBJETIVOS	1
1.1. Introducción	1
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo General	3
1.3.2. Objetivos específicos	3
1.4. Antecedente.....	3
1.5. Justificación	4
1.6. Hipótesis	5
1.7. Variables	5
1.7.1. Variables independientes	5
1.7.2. Variables dependientes.....	5
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	6
2.1. Marco Teórico.....	6
2.1.1. Fundamentación Filosófica	6
2.1.2. Fundamentación Legal	6
2.2. Marco Conceptual.....	6
2.2.1. Definición de Pavimento.....	6
2.2.2. Tipos de Pavimentos	7

2.2.3.	Clasificación de los Pavimentos Flexibles	9
2.2.4.	Ventajas y Desventajas del Pavimento Flexible	10
2.2.5.	Métodos de diseño de pavimentos flexibles.....	11
2.2.6.	Consideraciones de diseño AASHTO	12
2.2.7.	Trafico.....	13
2.2.8.	Tipos de Mantenimiento	14
2.2.9.	Rehabilitación	15
2.2.10.	Mejoramiento	16
3.	DETERIORO EN EL PAVIMENTO	16
3.1.	Antecedente.....	16
3.1.1.	Ciclo de vida del Pavimento	17
3.1.2.	Causas del deterioro en Pavimentos.....	18
3.1.3.	Origen del deterioro en los Pavimentos flexibles	21
3.1.4.	Clases de deterioro en pavimentos.....	23
3.2.	Clasificación de las fallas (Norma ASTM D6433).....	24
3.2.1.	Fallas por Agrietamiento y Fatiga.....	24
3.2.2.	Deformaciones plásticas y movimientos.....	25
3.2.3.	Desintegración y defectos de superficie.....	25
3.3.	Análisis de severidad y Cuantificación Técnica	26
3.4.	Influencia del entorno Urbano y Climático en Manta	26

3.5.	Escala de calificación y significado de los rangos.....	27
CAPITULO IV: MATERIALES Y METODOS		27
4.1.	Diseño de la Investigación.....	27
4.2.	Área de estudio y unidad de muestreo	28
4.3.	Materiales y equipamiento técnico	28
4.4.	Procedimiento metodológico	29
4.4.1.	Fase de inspección visual.....	29
4.4.2.	Fase de cálculo del PCI.....	29
4.5.	Determinación de necesidades de mantenimiento	29
4.6.	Metodología de calculo.....	30
4.6.1.	Ubicación	30
4.6.2.	Definición de unidades de muestreo y selección de la muestra	31
4.6.3.	Inspección visual y levantamiento de fallas.....	33
CAPITULO V: ANÁLISIS Y RESULTADOS		46
5.	Análisis y resultados del pavimento	46
5.1.	Resultados del cálculo del PCI y valores deducidos.....	46
5.1.1.	Calculo PCI tramo 1.....	46
5.1.2.	Calculo PCI tramo 2.....	52
5.1.3.	Calculo PCI tramo 3.....	58
5.1.4.	Calculo PCI tramo 4.....	63

5.1.5. Cálculo PCI tramo 5.....	69
5.1.6. Cálculo PCI tramo 6.....	76
5.2. Presentación de resultados	82
5.2.1. Resultados de la evaluación del pavimento mediante el PCI en la calzada izquierda.....	82
5.2.2. Resultados de la evaluación del pavimento mediante el PCI en la calzada derecha.....	82
5.2.3. Ubicación de las fallas incidentes	83
5.3. Determinación del PCI global del tramo	88
5.4. Propuesta de plan de conservación y mantenimiento	89
CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	91
6. Conclusiones	91
7. Recomendaciones	92
8. BIBLIOGRAFÍA	93
9. ANEXOS	96
9.1. Fotografías de las fallas encontradas	96
9.1.1. Fallas UM1.....	96
9.1.2. Fallas UM3 y UM4	97
9.1.3. Fallas UM5 y UM6	99
9.1.4. Fallas UM7 y UM8	101

9.1.5. Fallas UM9 y UM10	102
--------------------------------	-----

9.1.6. Fallas UM11 y UM12	104
---------------------------------	-----

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de los pavimentos flexibles	10
Tabla 2 Causas del deterioro en pavimentos	19
Tabla 3 Hoja de registro PCI para la unidad de muestra UM1	34
Tabla 4 Hoja de registro PCI para la unidad de muestra UM2	35
Tabla 5 Hoja de registro PCI para la unidad de muestra UM3	36
Tabla 6 Hoja de registro PCI para la unidad de muestra UM4	37
Tabla 7 Hoja de registro PCI para la unidad de muestra UM5	38
Tabla 8 Hoja de registro PCI para la unidad de muestra UM6	39
Tabla 9 Hoja de registro PCI para la unidad de muestra UM7	40
Tabla 10 Hoja de registro PCI para la unidad de muestra UM8	41
Tabla 11 Hoja de registro PCI para la unidad de muestra UM9	42
Tabla 12 Hoja de registro PCI para la unidad de muestra UM10	43
Tabla 13 Hoja de registro PCI para la unidad de muestra UM11	44
Tabla 14 Hoja de registro PCI para la unidad de muestra UM12	45
Tabla 15 Calculo PCI UM1.....	46
Tabla 16 Valores deducidos UM1.....	48
Tabla 17 Índice de Condición del Pavimento UM1	49
Tabla 18 Calculo PCI UM2.....	49
Tabla 19 Valores deducidos UM2.....	50
Tabla 20 Índice de Condición del Pavimento UM2	51

Tabla 21 Calculo PCI UM3.....	52
Tabla 22 Valores deducidos UM3.....	54
Tabla 23 Índice de Condición del Pavimento UM3.....	55
Tabla 24 Calculo PCI UM4.....	56
Tabla 25 Valores deducidos UM4.....	56
Tabla 26 Índice de Condición del Pavimento UM4.....	57
Tabla 27 Calculo PCI UM5.....	58
Tabla 28 Valores deducidos UM5.....	60
Tabla 29 Índice de Condición del Pavimento UM5.....	60
Tabla 30 Calculo PCI UM6.....	61
Tabla 31 Valores deducidos UM6.....	62
Tabla 32 Índice de Condición del Pavimento UM6.....	63
Tabla 33 Calculo PCI UM7.....	63
Tabla 34 Valores deducidos UM7.....	65
Tabla 35 Índice de Condición del Pavimento UM7.....	66
Tabla 36 Calculo PCI UM8.....	66
Tabla 37 Valores deducidos UM8.....	68
Tabla 38 Índice de Condición del Pavimento UM8.....	69
Tabla 39 Calculo PCI UM9.....	69
Tabla 40 Valores deducidos UM9.....	71
Tabla 41 Índice de Condición del Pavimento UM9.....	72
Tabla 42 Calculo PCI UM10.....	73
Tabla 43 Valores deducidos UM10.....	75
Tabla 44 Índice de Condición del Pavimento UM10.....	75

Tabla 45 Calculo PCI UM11.....	76
Tabla 46 Valores deducidos UM11.....	78
Tabla 47 Índice de Condición del Pavimento UM11	78
Tabla 48 Calculo PCI UM12.....	79
Tabla 49 Valores deducidos UM12.....	81
Tabla 50 Índice de Condición del Pavimento UM12	81
Tabla 51 condición del pavimento carril izquierdo.....	82
Tabla 52 condición del pavimento carril derecho	82
Tabla 53 porcentaje de calificación de la condición	83
Tabla 54 PCI global del tramo	88

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estructura del pavimento rígido.....	7
Figura 2 Estructural del pavimento flexible	8
Figura 3 Estructura del pavimento semirrígido.....	9
Figura 4 Ciclo de vida del pavimento	18
Figura 5 Ubicación de la vía	30
Figura 6 Secciones de la vía.....	33
Figura 7 grafica valor deducido agrietamiento en bloque UM1	47
Figura 8 grafica valor deducido grieta long y transversal UM1	47
Figura 9 grafica valor deducido desprendimiento de agregados UM1	48
Figura 10 Corrección Valor deducido UM1	48
Figura 11 grafica valor deducido piel de cocodrilo UM2	49
Figura 12 grafica valor deducido grieta long y transversal UM2	50
Figura 13 grafica valor deducido desprendimiento de agregados UM2	50

Figura 14 Corrección Valor deducido UM2	51
Figura 15 grafica valor deducido grieta de borde UM3	52
Figura 16 grafica valor deducido desnivel carril/berma UM3	53
Figura 17 grafica valor deducido grieta long y transversal UM3	53
Figura 18 grafica valor deducido parcheo UM3	54
Figura 19 grafica valor deducido huecos UM3	54
Figura 20 Corrección Valor deducido UM3	55
Figura 21 Figura 17 grafica valor deducido grieta long y transversal UM4	56
Figura 22 Corrección Valor deducido UM4	57
Figura 23 Figura 17 grafica valor deducido agrietamiento en bloque UM5	58
Figura 24 grafica valor deducido grieta long y transversal UM5	59
Figura 25 grafica valor deducido parcheo UM5	59
Figura 26 grafica valor deducido desprendimiento de agregados UM5	59
Figura 27 Corrección Valor deducido UM5	60
Figura 28 grafica valor deducido grieta long y transversal UM6	61
Figura 29 grafica valor deducido huecos UM6	62
Figura 30 Corrección Valor deducido UM6	62
Figura 31 grafica valor deducido piel de cocodrilo UM7	64
Figura 32 grafica valor deducido grieta long y transversal UM7	64
Figura 33 grafica valor deducido parcheo UM7	64
Figura 34 grafica valor deducido huecos UM7	65
Figura 35 Corrección Valor deducido UM7	65
Figura 36 grafica valor deducido grieta de borde UM8	67
Figura 37 grafica valor deducido grieta long y transversal UM8	67

Figura 38 grafica valor deducido parcheo UM8	67
Figura 39 grafica valor deducido huecos UM8.....	68
Figura 40 Corrección Valor deducido UM8	68
Figura 41 grafica valor deducido piel de cocodrilo UM9	70
Figura 42 grafica valor deducido grieta long y transversal UM9	70
Figura 43 grafica valor deducido pulimento de agregados UM9.....	71
Figura 44 grafica valor deducido huecos UM9	71
Figura 45 Corrección Valor deducido UM9	72
Figura 46 grafica valor deducido grieta long y transversal UM10	73
Figura 47 grafica valor deducido parcheo UM10	74
Figura 48 grafica valor deducido pulimento de agregados UM10.....	74
Figura 49 grafica valor deducido huecos UM10.....	74
Figura 50 Corrección Valor deducido UM10	75
Figura 51 grafica valor deducido piel de cocodrilo UM11	76
Figura 52 grafica valor deducido grieta long y transversal UM11	77
Figura 53 grafica valor deducido ahuellamiento UM11	77
Figura 54 grafica valor deducido desprendimiento de agregados UM11	77
Figura 55 Corrección Valor deducido UM11	78
Figura 56 grafica valor deducido grieta de borde UM12	79
Figura 57 grafica valor deducido grieta long y transversal UM12	80
Figura 58 grafica valor deducido huecos UM12.....	80
Figura 59 grafica valor deducido desprendimiento de agregados UM12	80
Figura 60 Corrección Valor deducido UM12	81
Figura 61 ubicación de las fallas de piel de cocodrilo	83

Figura 62 ubicación de las fallas de agrietamiento en bloque	84
Figura 63 ubicación de las fallas de grieta de borde	84
Figura 64 ubicación de las fallas de desnivel carril/berma	85
Figura 65 ubicación de las fallas de piel de grietas long y transversal	85
Figura 66 ubicación de las fallas de piel de parcheo.....	86
Figura 67 ubicación de las fallas de piel de pulimento de agregados	86
Figura 68 ubicación de las fallas de huecos (baches)	87
Figura 69 ubicación de las fallas de ahuellamiento	87
Figura 70 ubicación de las fallas de desprendimiento de agregados	88
Figura 71 Distribución de la condición del Pavimento (%).....	89

CAPITULO I: GENERALIDADES Y OBJETIVOS

1.1. Introducción

En el contexto vial, las vías constituyen uno de los pilares fundamentales para el desarrollo social y económico de un país, dado que permiten la movilidad de bienes, servicios y personas, garantizando así la unión entre provincias, ciudades y barrios. Sin embargo, al paso del tiempo, el pavimento se expone a diferentes condiciones que afectan de forma significativa su vida útil y el nivel de servicio que ofrecen, dentro de estas condiciones podemos encontrar el deterioro por el tránsito vehicular, las condiciones climáticas, el mal diseño estructural y la falta de mantenimiento.

Dentro de los diferentes tipos de pavimentos que tenemos el pavimento flexible es el que más se utiliza, esto se debe a su alta capacidad de adaptarse a las diversas condiciones que ofrece el terreno, además de que es menos costoso que los otros pavimentos y la reparación de dicho pavimento es relativamente fácil. No obstante, requiere de controles periódicos para poder así identificar el estado en que se encuentra y programar acciones de conservación que garanticen la funcionalidad.

Es por esto, que surgió la necesidad de aplicar metodologías técnicas que permitieran evaluar la condición y el grado de deterioro en el que se encuentran las vías, uno de estos métodos y el que más destaca es el método PCI (Pavement Condition Index), el cual fue desarrollado por el U.S Army Corps of Engineers, este método consiste en la cuantificación y clasificación de los deterioros presentes en la superficie del pavimento, asignando un índice que refleja su condición en una escala del 0 al 100. Dicho método se ha consolidado como un instrumento confiable y normalizado para la gestión y mantenimiento de los pavimentos.

En la Calle 12 constituye un eje de gran importancia para la movilidad urbana y la interconexión de los sectores residenciales y comerciales. El deterioro progresivo de esta vía no afecta solo a la comodidad y seguridad de los usuarios, sino que también incrementan los costos de operación vehicular y puede representar un riesgo en la seguridad vial.

Por esta razón, la presente investigación tiene como finalidad evaluar el estado actual del pavimento en el tramo mencionado mediante la aplicación del método PCI, para posteriormente plantear estrategias de conservación y mantenimiento los cuales me permitan prologar la vida útil y mejorar la calidad del servicio vial.

1.2.Planteamiento del problema

En los últimos años el crecimiento urbano ha aumentado exponencialmente y con ello el uso de vehículos ha generado una mayor demanda sobre la red vial de las ciudades, lo que ha generado que las vías se deterioren rápidamente. Específicamente en los pavimentos flexibles se presentan daños superficiales y estructurales debido a cargas repetitivas, el clima, deficiencias en la construcción y la falta de programas adecuados para el mantenimiento.

En el caso específico del tramo que conecta los barrios Costa Azul y La Pradera, se observa la presencia de varios deterioros como fisuras, baches, deformaciones, etc. Los cuales afectan la comodidad, seguridad y funcionalidad de la vía. Estos problemas, de no ser atendidos pertinentemente, pueden agravarse y demandar intervenciones más costosas, lo cual representa un impacto negativo no solo para los usuarios, sino que también para las autoridades responsables de la gestión vial.

En la actualidad, en la mayoría de los proyectos de mantenimientos hace falta de un diagnóstico técnico, el cual permita anticipar acciones de conservación de manera eficiente. La falta de evaluaciones periódicas con métodos estandarizados limita la capacidad de los

municipios o entidades gestoras para planificar estrategias de intervención acordes con la realidad de las vías.

Frente a esta problemática, surge la necesidad de aplicar herramientas que me permitan conocer el estado en el que se encuentra el pavimento, para ello hacemos uso de la metodología PCI (Pavement Condition Index), que facilita la valoración objetiva del estado en el que se encuentra el pavimento y la toma de decisiones técnicas

1.3.Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Evaluar técnicamente la condición superficial del pavimento flexible en la Calle 12 de Manta, aplicando la metodología PCI para el diseño de un plan de mantenimiento y rehabilitación que optimice su vida útil y las condiciones de seguridad vial.

1.3.2. Objetivos específicos

- Aplicar el método PCI para identificar los niveles de deterioro en el pavimento del tramo de la vía
- Establecer los principales tipos de fallas presentes en el pavimento y su impacto en la funcionalidad de la vía.
- Proponer un plan de conservación y mantenimiento que asegure la durabilidad del pavimento en las condiciones actuales de tránsito y clima.

1.4. Antecedente

A nivel regional García y Moreira (2023) realizaron un estudio titulado “Análisis de Daños Superficiales en Vías Principales del Cantón de Portoviejo mediante el Método PCI”. Este estudio tuvo como eje principal evaluar la degradación del pavimento flexible en sectores con alta demanda vehicular. Dicho escenario guarda una estrecha relación con el

estado actual de la Calle 12 en Manta, donde las cargas de tránsito son un factor determinante en la aparición de patologías viales.

La metodología empleada consistió en dividir la vía en zonas de muestreo e identificar técnicamente daños como grietas de piel de cocodrilo, baches y erosión, de acuerdo con las directrices de la norma ASTM D6433. Entre los principales hallazgos, los autores observaron que el 40% de la vía se encontraba en buen estado. Por lo tanto, recomendaron medidas de mantenimiento preventivo para evitar colapsos.

Esta investigación representa un antecedente clave para el presente estudio, ya que valida la eficacia del método PCI como una herramienta de diagnóstico costo-efectiva y precisa. Su aplicación resulta particularmente relevante al considerar las condiciones geográficas y la influencia del clima costero de la provincia de Manabí en la degradación de pavimentos.

1.5. Justificación

Si bien el GAD de Manta ha destinado recursos significativos al mejoramiento vial de la ciudad en los últimos años, priorizando ejes como la Vía Circunvalación por su rol en el desvío del tráfico pesado y el desarrollo habitacional, existen arterias colectoras críticas que presentan un regazo considerable. Tal es el caso de la Calle 12, la cual, a pesar de ser un conector vital para la movilidad local, muestra actualmente un estado de deterioro avanzado. Las fallas superficiales y la pérdida de las condiciones óptimas de servicio en esta vía no solo dificultan la transitabilidad, sino que incrementan los riesgos para los usuarios, haciendo imperativa una evaluación técnica detallada de su pavimento.

Desde un punto de vista más técnico, la presente investigación permitirá obtener un diagnóstico detallado de los deterioros que se encuentran en el tramo evaluado de la vía,

generando de esta manera información confiable la cual servirá de base para proponer medidas de conservación adecuadas.

En el ámbito social, este estudio ayudará a mejorar la seguridad vial, la accesibilidad y la calidad de vida de los habitantes cercanos a la Calle 12, al reducir los riesgos asociados a la circulación por una vía en mal estado.

1.6.Hipótesis

La aplicación del método PCI en la Calle 12, permite evaluar objetivamente el estado en el que se encuentra el pavimento, estableciendo una relación entre la severidad, tipo y la extensión de las fallas encontradas en el pavimento, además de obtener el índice de condición del pavimento, con el fin de poder determinar el tipo de mantenimiento o rehabilitación de ser necesario.

1.7. Variables

1.7.1. Variables independientes

- Tipos de falla (grietas longitudinales, grietas por fatiga, huecos, surcos longitudinales, etc.).
- Severidad de la falla.
- Extensión de la falla.
- Condiciones de tránsito.
- Condiciones climáticas.

1.7.2. Variables dependientes

- PCI (Índice de Condición del Pavimento) valor numérico que va del 0 al 100 el cual refleja el estado del pavimento.
- Clasificación del estado del pavimento.

- Sugerencia de intervención.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1. Marco Teórico

2.1.1. Fundamentación Filosófica

El presente trabajo tiene como objetivo proponer un tipo de mantenimiento para mejorar el estado del pavimento, mediante una revisión visual, que se presenta en la evaluación de la capa de rodadura de la vía, se realizara mediante el uso del método PCI, comprobando los daños con su grado de severidad respectivamente de la vía elegida como objeto de estudio para así poder recuperar las condiciones óptimas de servicio garantizando la seguridad, confortabilidad de los usuarios.

2.1.2. Fundamentación Legal

Para concretar la evaluación de la vía escogida y posteriormente dar algún tipo de solución para mejorar la vía se tomarán como referencia las normas ASTM D6433

2.2. Marco Conceptual

2.2.1. Definición de Pavimento

Según (MTOP, 2013), “pavimento es un nombre genérico para toda la estructura de un pavimento (Firme). No obstante, se lo utiliza también para designar solo la capa de rodadura, especialmente cuando ella está constituida por una carpeta”.

Sin embargo (Medina & De la Cruz, 2015) nos dicen que “son una estructura que consiste en una capa superpuesta de materiales procesados sobre el terreno natural para distribuir la carga aplicada por el vehículo a la calzada, además debe contar con suficiente resistencia al deslizamiento. Asimismo, es una superficie que debe brindar seguridad y comodidad al caminar. Por su parte (Crespo Villalaz , 2010) enfatiza que la función primordial es la distribución de esfuerzos hacia las capas inferiores de manera decreciente.

En otras palabras, el pavimento es una estructura que está conformada por distintas capas subbase, base, subrasante y carpeta que están compuestas de distintos materiales, dichas capas se encuentran encima de la rasante cuyo objetivo es distribuir los esfuerzos que las cargas de tránsito transmiten hacia el suelo.

2.2.2. Tipos de Pavimentos

Existen 3 tipos de pavimentos, en cada uno de ellos se toma en cuenta la distribución de las cargas que recibe la subrasante.

2.2.2.1. Pavimento Rígido

El pavimento rígido consiste en una estructura con subbase granular que se puede estabilizar usando asfalto, cemento o cal. La capa de rodadura se compone de losas de concreto de cemento hidráulico, incorporando agregados, aditivos y aglomerados. Dentro de este tipo de pavimento se puede encontrar 3 distintas clases:

- Pavimentos rígidos con juntas con refuerzo de acero mallado.
- Pavimento de rígido simple con juntas.
- Pavimento de concreto con refuerzo continuo.



Figura 1 Estructura del pavimento rígido

Fuente: (Aguilar Valencia & Cruz Flores, 2021)

2.2.2.2. *Pavimento Flexible*

En el caso de los pavimentos flexibles, el diseño consiste en una serie de capas granulares (base y subbase) rematadas por una superficie de rodamiento. La rodadura asfáltica se aplica sobre estas capas granulares, utilizando opciones como morteros asfálticos, micro pavimentos, tratamientos superficiales bicapa, macadam asfáltico y mezclas asfálticas tanto en frío como en caliente.

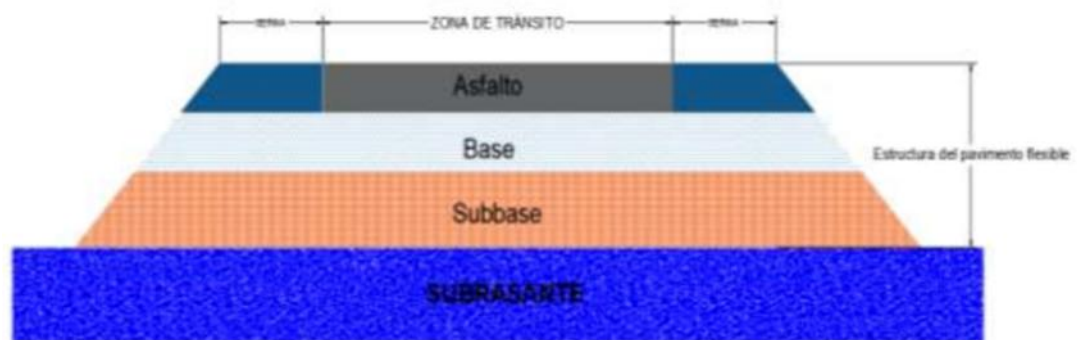


Figura 2 Estructural del pavimento flexible

Fuente: (Aguilar Valencia & Cruz Flores, 2021)

2.2.2.3. *Pavimento Semirrígido*

El pavimento semirrígido se caracteriza por una estructura compuesta de capas asfálticas con un espesor total bituminoso, constituyendo una carpeta asfáltica en caliente. asimismo, se considera pavimento semirrígido cuando su estructura incluye una carpeta asfáltica sobre una base tratada con cal.



Figura 3 Estructura del pavimento semirrígido

Fuente: (Aguilar Valencia & Cruz Flores, 2021)

2.2.3. Clasificación de los Pavimentos Flexibles

Los pavimentos flexibles están conformados por una mezcla bituminosa a base de asfalto, esta se caracteriza por su comportamiento plástico, por su resistencia a los agentes químicos como ácidos y por su capacidad de deformación. Dicha mezcla incorpora agregados pétreos de distintas calidades y propiedades, unidos por asfaltos líquidos los cuales actúan como ligantes, lo que garantiza la cohesión y la estabilidad de la superficie.

De esta forma los pavimentos flexibles se pueden clasificar dependiendo de la mezcla bituminosa que la compone, entre estos pavimentos tenemos los siguientes:

- Mezclas asfálticas en caliente.
- Mezclas asfálticas en frío.
- Tratamiento superficial.
- Macadam asfáltico.

Tabla 1 Clasificación de los pavimentos flexibles

CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
Mezclas asfálticas en frío	Combinación de agregados y un ligante bituminosos que permite mezclarse, extenderse y compactarse a temperatura ambiente. Su fabricación se emplea ligantes bituminosos con menor viscosidad que las mezclas en caliente, betunes fluidificados, alquitranes fluidos o emulsiones asfálticas. Estas mezclas se lo puede realizar "In Situ" o en las mismas plantas mezcladoras.
Mezclas asfálticas en caliente	Es una mezcla de agregados gruesos, finos y un ligante bituminoso. Esta mezcla necesariamente se lo realiza en una planta de mezclado, donde son calentados, proporcionados y mezclados para finalmente obtener una mezcla homogénea.
Tratamiento superficial	Se lo realiza para cumplir las siguientes necesidades: - Proveer una superficie de bajo costo para toda condición del tiempo atmosférico. - Sellar una superficie de rodamiento existente. - Ayudar a un revestimiento sobrepuesto a adherirse al revestimiento previo. - Proveer una superficie resistente al deslizamiento. - Rejuvenecer las superficies existentes deterioradas por el intemperismo. - Proveer una cubierta temporal Cubrir los pavimentos existentes y proveer cierto aumento en resistencia
Macadam asfáltico	Es el más antiguo utilizado en carreteras y actualmente en uso, consiste en una base o una superficie de rodamiento de piedra triturada o escoria de un solo tamaño en la que los fragmentos están ligados con asfalto. Se emplea como capa superficial para caminos de tránsito medio a pesado, pero para caminos de tránsito pesado ha sido sustituido por el concreto asfáltico. Para su construcción puede ser utilizado cemento asfáltico y asfalto emulsionado.

Fuente: (Rodríguez Molina & Rodríguez Mineros , 2012)

2.2.4. Ventajas y Desventajas del Pavimento Flexible

2.2.4.1. Ventajas

- Menor costo inicial.
- Mayor fricción.
- Fácil reparación.
- Flexibilidad y adaptación.
- Uso de materiales locales.

2.2.4.2. Desventajas

- Vida útil más corta (10 a 15 años).
- Requiere mantenimiento periódico.
- Susceptible al daño por temperatura.
- Deformación y agrietamiento.

2.2.5. Métodos de diseño de pavimentos flexibles

Al paso de los años los métodos para el diseño de pavimentos han sufrido cambios muy importantes tanto para los pavimentos flexibles como rígidos. Desde los métodos empíricos de inicios del siglo, los cuales se basan en un sistema de clasificación de suelos o en pruebas de resistencia las cuales también son empíricas. No obstante, con el avance de las investigaciones, estos métodos se han ido perfeccionado significativamente. Entre los aportes más distinguidos están los que provienen de tramos experimentales, en especial el que fue desarrollado bajo la dirección de la entonces American Association of State Highway Officials (ASSHO) en Estados Unidos, cuyos primeros resultados fueron incorporados a la tecnología de los pavimentos en el año 1962.

Sin embargo (Huang, 2004) nos dice que los pavimentos flexibles pueden estar diseñados para distintos métodos los cuales los clasifica de la siguiente forma: método empírico, método empírico-mecanista, método falla de corte al límite, método deflexión al límite y método basado en el comportamiento del pavimento.

Dentro del pavimento flexible los métodos de degradación que predominan son la fatiga y el ahuellamiento, de esta forma al momento de diseñar un pavimento flexible se debe tener en cuenta estos efectos y controlarlos durante su fase de diseño.

La fatiga es originada por la excesiva repetición de pasadas de los vehículos que transitan por el pavimento, cuando esto ocurre, se generan valores altos de deformación a tracción en la zona inferior de la capa asfáltica (Pallasco Catota , 2018).

Mientras que el ahuellamiento es originado por el comportamiento plástico de los materiales que conforman el pavimento flexible, estos al deformarse, alteran el nivel de servicio de la estructura (Pallasco Catota , 2018).

El método que propone la NEVI-12 mediante el MTOP para el diseño de pavimentos toma como referencia el método AASHTO 93 para el diseño de pavimentos. Este se enmarca dentro de los métodos de carácter empírico, fundamentados en el comportamiento real de los pavimentos y en las pruebas realizadas en las carreteras. Este método establece una ecuación de diseño el cual permite determinar el espesor adecuado de las diferentes capas que conforman la estructura del pavimento.

2.2.6. Consideraciones de diseño AASHTO

Este procedimiento se detalla en la guía (AASHTO, 1993) constituye uno de los procedimientos más utilizados a nivel internacional para el diseño estructural de pavimentos, tanto flexibles como rígidos. Su desarrollo se basa en los resultados obtenidos en las pruebas de carretera realizadas en los tramos experimentales de la American Association of State Highway Officials (ASSHO), lo que lo convierte en un método empírico-mecanista.

Como ya se lo menciono, este método nos presenta una ecuación de diseño la cual nos permite determinar el espesor de las capas del pavimento en función de diferentes factores que influyen en su comportamiento y vida útil. entre las principales consideraciones se destacan:

- Trafico de diseño (W18): número acumulado de ejes equivalentes de 18 kips (8,2 toneladas) que se espera que actúen sobre el pavimento durante su periodo de servicio.
- Confiabilidad (ZR): es el nivel de seguridad asociado al diseño, el cual se expresa a través de un valor estadístico que refleja la probabilidad de que el pavimento cumpla con el desempeño esperado.
- Desviación estándar (So): factor que contempla la variabilidad inherente al proceso de diseño y construcción.
- Índice de serviciabilidad (PSI): relación entre el nivel inicial de servicio del pavimento (Po) y el nivel final aceptable (Pt), que determina la pérdida de serviciabilidad permisible (Δ PSI).
- Modulo resiliente del suelo (MR): propiedad del material de la subrasante que refleja su capacidad de soportar cargas repetitivas sin deformaciones permanentes significativas.
- Condiciones climáticas y de drenaje: parámetros que afectan directamente el desempeño de los materiales constitutivos del pavimento.

2.2.7. Trafico

El tráfico constituye una de las variables más influyentes en el diseño de pavimentos; sin embargo, es también una de las más difíciles de estimar con exactitud. Por esta razón, resulta indispensable disponer de información confiable y precisa, ya que de lo contrario podrían generarse diseños poco seguros o, en su defecto, con un nivel considerable de sobredimensionamiento (Saucedo Vidal , 2010).

El tráfico vehicular es uno de los elementos con mayor influencia en las condiciones de una vía, ya que afecta directamente el diseño geométrico, la conformación estructural del pavimento y los planes de conservación. Su análisis implica identificar tanto el volumen como la tipología de los vehículos que circulan por una carretera determinada, mediante la aplicación de diferentes técnicas de conteo vehicular (Rodríguez González , 2011).

El tráfico de una carretera es medido mediante el tráfico promedio diario anual o (TPDA), el cual consiste en la observación del tráfico y los factores de variación, mediante los datos obtenidos con el TPDA podemos realizar un diseño acorde a las necesidades de los vehículos que transitan por la vía. (Garber & Hoel, 2014) señalan que la precisión en la clasificación vehicular determina la vida útil remanente del diseño.

2.2.8. Tipos de Mantenimiento

En los pavimentos ya sean rígidos o flexibles, el mantenimiento el mantenimiento es esencial para garantizar la seguridad y la comodidad de los usuarios además de alargar su vida útil, generalmente los mantenimientos los podemos clasificar en 3 grupos los cuales son:

2.2.8.1. Mantenimiento Rutinario

Este tipo de mantenimiento hace referencia a las actividades periódicas y de bajo costo las cuales buscan conservar el pavimento en buenas condiciones, entre estas actividades tenemos:

- Limpieza de cunetas y alcantarillas.
- Sellado de juntas y grietas pequeñas.
- Bacheo menor.
- Reposición de señalética horizontal y vertical.
- Control de vegetación en taludes y bordes de calzada.

2.2.8.2. *Mantenimiento preventivo*

Esto hace referencia a las intervenciones programadas que se realizan en la vía antes que el pavimento presente fallas más graves, cuyo objetivo es la de evitar deterioros mayores, como, por ejemplo:

- Sellado de superficie.
- Microrrevestimiento asfáltico.
- Sellado de grietas mayores.
- Refuerzo de drenajes.
- Tratamientos superficiales delgados (slurry seal).

2.2.8.3. *Mantenimiento correctivo*

Este mantenimiento se aplica cuando ya existen fallas funcionales o estructurales en el pavimento y es necesario repararlas para recuperar su capacidad.

- Bacheo profundo.
- Fresado y reposición de la carpeta asfáltica.
- Reemplazo de losas en pavimentos rígidos.
- Rehabilitación parcial de la estructura vial.

2.2.9. *Rehabilitación*

Hace referencia a la reparación electiva y de refuerzo estructural, previa a la demolición parcial de la estructura existente. La rehabilitación procede cuando el camino se encuentra demasiado deteriorado como para resistir una mayor cantidad de tránsito en el futuro, pudiendo incluir algunos mejoramientos en los sistemas de drenaje y de contención (Rodríguez González , 2011).

La rehabilitación vial es una intervención mayor cuyo propósito es restaurar la capacidad estructural del pavimento cuando el mantenimiento ya no es suficiente, por ejemplo:

- Implantación de capas de refuerzo (overlay).
- Reciclado de mezclas asfálticas (en frío o en caliente).
- Reconstrucción integral de capas estructurales.

2.2.10. Mejoramiento

Se trata de la ejecución de mejoras en las vías, que pueden involucrar el ensanche de la calzada, la modificación del alineamiento, la corrección de la curvatura o de la pendiente longitudinal. Estas labores también abarcan la renovación del pavimento y trabajos de rehabilitación. El propósito principal es aumentar la capacidad de la vía, facilitar una mayor velocidad de circulación y garantizar la seguridad de los vehículos que la transitan. No obstante, en un sentido estricto, estas actividades no se consideran parte de la conservación, a excepción de la renovación superficial.

3. DETERIORO EN EL PAVIMENTO

3.1. Antecedente

El deterioro de un pavimento flexible es un fenómeno multicausal que implica la degradación de las propiedades mecánicas y funcionales de la estructura. En el caso específico de la Calle 12 – Manta, el pavimento está sujeto a un proceso de fatiga acumulado debido al flujo constante de vehículos pesados y livianos. Este deterioro no es lineal; comienza con fallas imperceptibles a nivel microestructural (oxidación del ligante) y acelera su progresión una vez que aparecen las primeras fisuras, permitiendo la infiltración de agua que debilita la base y sub-base.

Según (The Asphalt Institute, 2007), el envejecimiento del asfalto reduce su capacidad de autorrecuperación ante cargas cíclicas.

3.1.1. Ciclo de vida del Pavimento

El ciclo de vida del pavimento lo podemos representar mediante la curva de comportamiento histórico de la calidad del pavimento (Medina & De la Cruz, 2015). En esta curva se los describen 4 etapas del ciclo de vida del pavimento las cuales se describirán a continuación:

- **Construcción:** el pavimento se encuentra en óptimas condiciones y este cumple con los parámetros de calidad requeridos que satisfacen a los usuarios. EL costo asumido hasta el momento corresponde a la construcción de la estructura.
- **Deterioro imperceptible:** con el tiempo la superficie del pavimento sufre un desgaste y desgarro gradual; aunque el deterioro ya se presenta en esta fase, resulta casi imperceptible para el usuario. En su mayoría, el daño se manifiesta en la capa de rodadura, influido por las variaciones climáticas y por el tránsito vehicular. Para minimizar el desgaste, es fundamental implementar un conjunto de medidas de mantenimiento y conservación; de lo contrario la vida útil de la vía se reducirá de forma significativa.
- **Deterioro acelerado:** “unos años después, los elementos de la acera se deterioraron y la resistencia del tráfico disminuyó. La estructura básica de la acera ha sido dañada, lo que se puede verificar por defectos visibles en la superficie de conducción. Esta etapa es muy corta porque la destrucción ya es muy rápida” (Medina & De la Cruz, 2015).

- **Deterioro total:** en esta fase se puede extender varios años, llegando a provocar el desgaste completo de la superficie de la vía. La transitabilidad se ve afectada de manera considerable, y los vehículos comienzan a sufrir daños en neumáticos y ejes, lo que incrementa los costos operativos debido a una carretera que se vuelve intransitable.

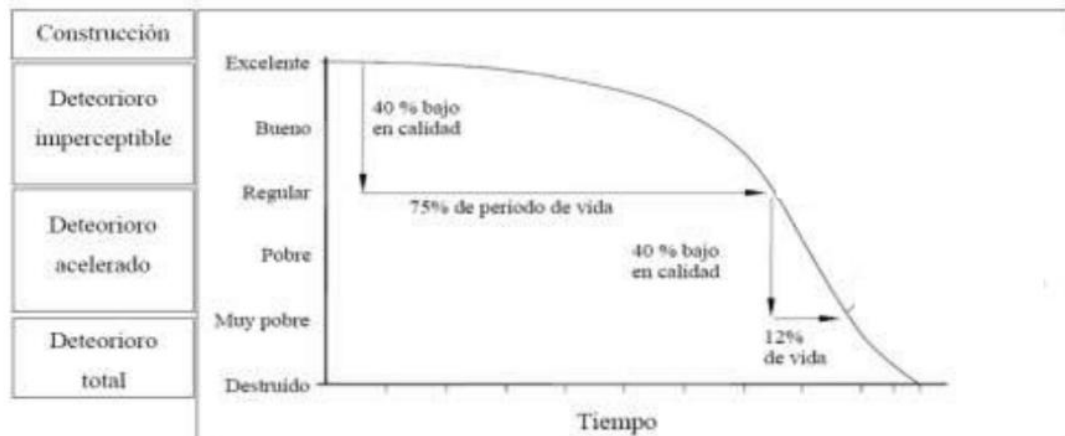


Figura 4 Ciclo de vida del pavimento

Fuente: (Aguilar Valencia & Cruz Flores, 2021)

3.1.2. Causas del deterioro en Pavimentos

Las causas por las que el pavimento se deteriora al paso del tiempo son provocadas principalmente por dos factores los cuales son el clima y el tránsito vehicular. Dichos factores inducen la aparición de fallas estructurales y superficiales que afectan directamente la funcionalidad del pavimento. Como consecuencia, se produce una reducción progresiva en el nivel de serviciabilidad, entendiendo como la capacidad del pavimento para garantizar condiciones adecuadas de comodidad, seguridad y eficiencia en la circulación vehicular. Sin embargo, hay otras causas que hacen que el pavimento se deteriore, como por ejemplo los factores de diseño, factores constructivos y factores de mantenimiento.

Tabla 2 Causas del deterioro en pavimentos

Causas	Fallas generadas	Efecto en la serviciabilidad
Transito (cargas repetitivas, sobrecargas, frenadas)	Fatiga, surcos, desprendimiento superficial, huecos	Vibraciones, incomodidad al conducir, inseguridad
Agua y clima (lluvia, cambios de temperatura, radiación solar)	Grietas térmicas, exudación, debilitamiento de capas, desintegración.	Menor durabilidad, reducción de capacidad estructural.
Diseño inadecuado (espesor insuficiente, mal drenaje, mala elección de materiales)	Grietas prematuras, deformaciones plásticas, hundimientos.	Pavimento se daña más rápido de lo previsto
Construcción deficiente (mala compactación, mezcla mal elaborada, errores de ejecución)	Segregación, huecos, grietas longitudinales y transversales.	Superficie irregular, pérdida de confort y seguridad
Falta de mantenimiento	Expansión de grietas, aumento de baches, desprendimiento superficial.	Rápida caída del nivel de serviciabilidad y mayor costo de rehabilitación

Fuente: Elaboración Propia

3.1.2.1. Tránsito vehicular

En toda la vida útil de un pavimento los vehículos que circulan por el pavimento pueden ser de distintos tipos de ejes, los cuales los vehículos pesados son los considerados más propensos a dañar el pavimento rápidamente, y aún más si dichos vehículos transitan por las calles con un peso mayor al permitido en esa vía.

Los principales factores que influyen en el impacto del tránsito sobre los pavimentos incluyen el espaciamiento entre ruedas, la presión de inflado de los neumáticos, el tipo de transporte, la magnitud e intensidad de las cargas, así como la rigidez relativa de las capas que los conforman. Estos aspectos representan las mayores dificultades al momento de predecir los posibles efectos negativos ocasionados por las cargas de tránsito.

3.1.2.2. Clima

El clima es uno de los factores que más afectan en el comportamiento y deterioro de los pavimentos flexibles. Sus efectos se presentan principalmente a través de la temperatura y

las precipitaciones, las cuales altera la rigidez del ligante y la capacidad portante de las capas granulares.

Temperatura y radiación solar:

- Manta al estar ubicada en una zona costera con alta radiación, provoca que el pavimento alcance temperaturas elevadas que favorecen a la exudación o sangrado del asfalto.
- Las altas temperaturas constantes aceleran el proceso de oxidación y envejecimiento del ligante bituminoso, lo cual lo vuelve rígido y quebradizo, lo que facilita la aparición de fisuras terminas y el desprendimiento de agregados.
- Por otro lado, cuando el asfalto se calienta en exceso, pierde viscosidad lo que reduce su resistencia a las cargas y facilita la formación de ahuellamientos por deformación plástica.

Precipitación y humedad:

- La lluvia es un factor crítico en el deterioro de los pavimentos; el agua acumulada en la superficie tiende a infiltrarse mediante las grietas, debilitando la unión entre la carpeta asfáltica y las capas inferiores.
- La presencia de humedad excesiva en la sub-base y la base reduce drásticamente su capacidad portante, lo que genera asentamientos y la formación acelerada de baches bajo el paso del tránsito.

- En climas húmedos, se produce el fenómeno de desnudamiento (stripping), donde el agua desplaza la película de asfalto del agregado pétreo, provocando la desintegración prematura de la mezcla.
- (Rico Rodríguez & del Castillo , 2006) explican que la presión de poros generada por el tráfico en bases saturadas es la causa principal del bombeo de finos.

Efecto de la salinidad:

- Dada la proximidad de la Calle 12 al perfil costero, la brisa marina cargada de sales puede acelerar la desintegración química de ciertos agregados y del ligante, afectando la adherencia y la durabilidad a largo plazo de la superficie de rodadura.

3.1.3. Origen del deterioro en los Pavimentos flexibles

3.1.3.1. Sub-base

Es una capa fundamental que garantiza el soporte uniforme y la protección de la subrasante. Un deterioro que se origina aquí suele deberse a la migración de finos (bombeo), la insuficiente compactación o la presencia excesiva de humedad, lo que reduce drásticamente su capacidad portante y provoca asentamientos diferenciales que se reflejan como grietas en la superficie.

3.1.3.2. Base

Considerada como el corazón estructural del pavimento. Las fallas en esta capa se relacionan comúnmente con la baja calidad de los materiales (poca resistencia a la abrasión o trituración), la insuficiente estabilización o la deficiente capacidad de drenaje. Las deflexiones excesivas y la fatiga prematura del pavimento son síntomas directos de un fallo en la base.

3.1.3.3. Carpeta de riego

Carpeta de mezcla asfáltica en el lugar

El origen del deterioro aquí está intrínsecamente ligado a la calidad de la emulsión utilizada, la homogeneidad de la mezcla en el campo y la variabilidad de los materiales originales reciclados. una compactación inadecuada o una estabilización incompleta se traducirá en el desprendimiento de agregados y fallas prematuras de cohesión.

Carpeta asfáltica mezcla en caliente

Esta capa reíste directamente las cargas de tráfico y las inclemencias del tiempo. Sus deterioros más comunes son el resultado de la fatiga por repetición de cargas (grietas piel de cocodrilo), la oxidación y envejecimiento del ligante asfáltico (fisuración térmica), la disminución de la fricción (pulimento de agregados) o la inadecuada dosificación en la planta (roderas y desplazamientos plásticos).

Riego de impregnación

Su función es sellar los poros de la base y protegerla de la humedad antes de la colocación de la capa asfáltica. Un deterioro ligado a su falla implica la infiltración de agua en la base, lo que desencadena fallas estructurales. El problema suele ser la aplicación irregular o la falta de penetración.

Riegos de liga

Su propósito es asegurar una unión monolítica entre las capas. La omisión o una aplicación deficiente (exceso o defecto) resulta en la separación de las capas, permitiendo el movimiento diferencial bajo cargas y acelerando la fátiga (ej. Deslizamiento o fisuras localizadas).

Riego de sellado

Busca proteger la capa asfáltica del envejecimiento, el agua y restaurar la textura superficial. Sus fallas, como el desprendimiento o el exceso de asfalto (sangrado o exudación), comprometen la seguridad y la durabilidad de la superficie.

3.1.4. Clases de deterioro en pavimentos

Los deterioros en la superficie de un pavimento pueden clasificarse en dos grandes grupos que definen la urgencia y el tipo de intervención requerida.

3.1.4.1. Deterioro estructural

Este tipo de deterioro está directamente relacionado con la pérdida de la capacidad portante de la estructura del pavimento, ya sea en la subrasante, sub-base, base o en la carpeta asfáltica. Se manifiesta cuando las tensiones y deformaciones inducida por el tránsito exceden la resistencia de los materiales.

- Manifestaciones típicas: grietas de fatiga o “piel de cocodrilo” (la forma más clara de falla estructural), roderas profundas (deformación plástica en la capa de base o subrasante), y hundimientos (fallas por asentamiento).
- Implicaciones: requiere rehabilitación o refuerzo de la estructura (ej. Fresado y reposición, o sobrecapas asfálticas de gran espesor). Es la clase de deterioro más costosa y crítica.

3.1.4.2. Deterioro funcional

Se refiere a la pérdida de la calidad de servicio que percibe el usuario, sin que necesariamente exista una falla en la capacidad de carga de la estructura. Este deterioro afecta la seguridad, la comodidad y la economía operativa del vehículo.

- Manifestaciones típicas: grietas de origen térmico o por reflexión (que no compromete totalmente la estructura), pérdida de agregados, pulimento de la

superficie (reducción de fricción), sangrado y un bajo índice de regularidad internacional (IRI), que es la medida de la rugosidad.

- Implicaciones: generalmente se resuelve con mantenimiento rutinario o preventivo (ej. Sellado de grietas, tratamientos superficiales con lechadas asfálticas o micro aglomerados).

3.2. Clasificación de las fallas (Norma ASTM D6433)

De acuerdo con los manuales de inspección visual para el cálculo del PCI, las fallas en pavimentos asfálticos se detallan a continuación:

3.2.1. Fallas por Agrietamiento y Fatiga

- Piel de cocodrilo (grietas por fatiga): es la falla estructural más grave. Se presenta como una serie de grietas interconectadas que forman polígonos con ángulos agudos (similares a la piel de un reptil). Su origen en la Calle 12 es la aplicación repetida de cargas de tránsito que exceden la resistencia a la tracción en la base de la capa asfáltica. Una vez que la “piel de cocodrilo” es visible, la estructura ha perdido su capacidad de carga en esa zona.
- Fisuras de bloque: son grietas interconectadas que forman piezas rectangulares de gran tamaño (0,3m a 3m). a diferencia de la fatiga, estas se deben a la contracción del asfalto por variaciones de temperatura y al endurecimiento del ligante. En Manta, la alta exposición a la radiación UV acelera el proceso de rigidización.
- Fisuras longitudinales y transversales: se presentan de forma paralela o perpendicular al eje de la vía. Este tipo de fisura puede deberse a untas de

construcciones mal selladas o al inicio de la fatiga en la huella de la rueda, mientras que las transversales suelen aparecer por contracción térmica.

3.2.2. Deformaciones plásticas y movimientos

- Ahuellamiento (roderas): es una depresión longitudinal en las trayectorias de las ruedas. Indica una deformación permanente en cualquiera de las capas del pavimento o en la subrasante. En tramos con semáforos en la Calle 12, el ahuellamiento puede ser crítico debido a que el tráfico detenido ejerce una carga estática prolongada sobre la mezcla asfáltica.
- Ondulaciones y desplazamientos: se presentan como una serie de crestas y valles muy cercanos. Son comunes en zonas de frenado brusco o arranque (paradas de buses), donde el esfuerzo cortante horizontal desplaza la mezcla asfáltica que ha perdido estabilidad por el calor o un diseño deficiente.
- Hinchamientos: se caracterizan por un levantamiento localizado de la superficie, usualmente causado por la expansión de suelos arcillosos o por congelación del agua (aunque en Manta este último no aplica, el hinchamiento por suelos expansivos es un factor a considerar).

3.2.3. Desintegración y defectos de superficie

- Baches: son cavidades de diversos tamaños con bordes verticales. Se forman cuando el pavimento se ha agrietado previamente y los fragmentos son removidos por el paso de los vehículos. Representan el nivel máximo de deterioro funcional y un alto riesgo para la seguridad vial.

- Exudación: es la migración de un exceso de ligante asfáltico hacia la superficie, creando una película brillante y pegajosa. Esto reduce drásticamente la resistencia al deslizamiento.
- Peladura (desprendimiento): es la pérdida de la película de asfalto que recubre los agregados, causada por la acción combinada del agua y el tránsito (stripping). El pavimento se vuelve rugoso y comienza a desgranarse.

3.3. Análisis de severidad y Cuantificación Técnica

Para que la evaluación mediante el PCI sea objetiva, cada daño debe evaluarse bajo tres niveles de severidad:

1. Severidad Baja (L): las grietas son finas (menores a 6mm) o las deformaciones son apenas perceptibles. No requieren reparación inmediata y el confort de conducción es normal.
2. Severidad Media (M): las grietas tienen entre 6mm y 19mm, o presentan un ligero descascaramiento. El usuario siente la irregularidad y se recomienda mantenimiento preventivo (sellado de grietas).
3. Severidad Alta (H): grietas mayores a 19mm, baches profundos o deformaciones que obligan a reducir la velocidad, indican una falla inminente que requiere mantenimiento correctivo o reconstrucción.

3.4. Influencia del entorno Urbano y Climático en Manta

- Salinidad y Humedad: la proximidad al mar introduce agentes agresivos que pueden acelerar la oxidación de la mezcla.

- Cargas dinámicas urbanas: el tráfico de buses y camiones de distribución comercial en una vía estrecha genera una canalización de tránsito, concentrando los esfuerzos en una sola franja y acelerando el ahuellamiento.
- Drenaje deficiente: la acumulación de agua en los bordes de la calzada por falta de cunetas facilita la infiltración lateral, debilitando el soporte lateral del pavimento.

3.5. Escala de calificación y significado de los rangos

El índice PCI final proporciona una medida numérica del estado el pavimento:

- $PCI > 70$: el pavimento está en condiciones estables; solo requiere mantenimiento de rutina (limpieza, sellado menor).
- $PCI 40 - 70$: el pavimento está en una etapa de deterioro acelerado, es el momento técnico óptimo para invertir en mantenimiento preventivo y evitar que el costo de reparación aumente.
- $PCI < 40$: la estructura está comprometida. Las reparaciones superficiales no serán duraderas; se requiere refuerzo estructural (overlayers) o reconstrucción total.

CAPITULO IV: MATERIALES Y METODOS

4.1. Diseño de la Investigación

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo, ya que se basa en la recolección de datos numéricos y su procesamiento estadístico para determinar el índice de condición del pavimento. El diseño es de tipo no experimental y descriptivo, debido a que se observa la realidad del estado actual de la Calle 12 sin manipular las variables, describiendo minuciosamente los deterioros encontrados en el sitio.

La investigación descriptiva se clasifica como un diseño no experimental. Bajo este enfoque, el investigador se limita a examinar y detallar el estado real de un fenómeno en su entorno natural mediante una observación sistemática. En este proceso, el evaluador actúa de forma no participante registrado los datos tal como se presentan sin intervenir ni manipular las condiciones del pavimento evaluado (García Sanz & García Meseguer).

4.2. Área de estudio y unidad de muestreo

El estudio se localiza en la Calle 12 de la ciudad de Manta, una arteria vial de flujo constante. Para efectos de la evaluación, se ha segmentado la vía en unidades de muestra, siguiendo los lineamientos de la norma (ASTM International , 2018).

De acuerdo con el manual técnico consultado, “la unidad de muestreo es cualquier subdivisión de la sección de pavimento que tiene un área de $230 \pm 90\text{m}^2$ para pavimentos asfálticos” (Vásquez Varela, 2002). Esta subdivisión permite que el levantamiento de fallas sea manejable y estadísticamente representativo de toda la calzada.

4.3. Materiales y equipamiento técnico

Para garantizar la precisión en la identificación y medición de los 19 tipos de daños, se emplearán los siguientes recursos:

- Instrumentos de medición: cinta métrica, y una regla para cuantificar la profundidad de las deformaciones transversales.
- Documentación de apoyo: formatos de inspección estandarizados para pavimentos flexibles y el catálogo de las fallas del manual de Vásquez Varela, el cual servirá como guía visual para determinar los niveles de severidad.
- Herramientas digitales: cámara fotográfica para el registro de evidencias, GPS para la georreferenciación de unidades y software de procesamiento de datos para el cálculo de los valores deducidos.

4.4. Procedimiento metodológico

4.4.1. Fase de inspección visual

Esta etapa consiste en el recorrido minucioso de cada unidad de muestreo seleccionada. El proceso no es meramente visual, si no que requiere una evaluación técnica de tres factores clave: el tipo de daño, su severidad y su densidad. Según (Vásquez Varela, 2002), el deterioro de la estructura es una función directa de estos tres elementos, por lo que se pondrá especial énfasis en distinguir entre fallas de origen estructural y funcional.

4.4.2. Fase de cálculo del PCI

Una vez recolectada la información, se procede al cálculo matemático del índice. Este procedimiento no es una simple suma de daños; es un proceso iterativo que busca reflejar el impacto real del deterioro en la operatividad de la vía. El cálculo se divide en:

1. **Cálculo de densidades:** se determina la proporción del área afectada por cada tipo de daño dentro de la unidad de muestreo.
2. **Obtención de valores deducidos (VD):** se utilizan las curvas de impacto desarrolladas por el cuerpo de ingenieros de la armada de EE.UU., las cuales asignan un “peso” al daño según su severidad.
3. **Ajuste del valor deducido máximo (VDC):** para evitar que múltiples fallas pequeñas resulten en un índice excesivamente bajo, se aplica un factor de corrección, como bien indica el manual, “el PCI es un índice numérico que varía de cero (0), para un pavimento fallados, hasta cien (100) para un pavimento en excelentes condiciones” (Vásquez Varela, 2002),

4.5. Determinación de necesidades de mantenimiento

El resultado final del PCI en la Calle 12 permitirá clasificar la vía dentro de una escala de condición. Esta clasificación es el insumo principal para decidir si el tramo requiere un

mantenimiento rutinario (cuando el PCI es alto), tratamientos preventivos como lechadas asfálticas, o si el deterioro ha avanzado tanto que es necesaria una rehabilitación estructural completa.

4.6. Metodología de calculo

El procesamiento de la información recolectada en la Calle 12 se realizará mediante un proceso analítico estandarizado que transforma las observaciones físicas en un indicador numérico de desempeño. Este proceso se divide en las siguientes etapas.

4.6.1. Ubicación

La zona donde se realizará el estudio corresponde a la Calle 12 en la ciudad de Manta, el ancho de la vía es de 8m, mientras que la longitud considerada para el estudio es de 1094m, su localización general referida al sistema UTM, en la zona 17 M es de 528799.00 m E; 9894414.00 m S, para el inicio de la vía y, 529826.11 m E; 9894612.84 m S para el fin de la vía.



Figura 5 Ubicación de la vía

Fuente: (Google Earth , 2026)

4.6.2. Definición de unidades de muestreo y selección de la muestra

Dado que la Calle 12 presenta un ancho de 8m, se procedió a dividir la calzada en dos franjas longitudinales de 4m cada una para representar los carriles de circulación.

Considerando el área estándar de $230 \pm 90m^2$, se procede en primer lugar a calcular el área de la vía seguido del total de unidades a evaluar:

4.6.2.1. Área total de la vía

$$A_t = \text{Longitud tramo} \times \text{Ancho vía}$$

$$A_t = 1094m \times 8m = 8752m^2$$

4.6.2.2. Total de unidades (N)

$$N = \frac{A_t}{\text{Area estandar}}$$

$$N = \frac{8752m^2}{230m^2} = 38 \text{ unidades}$$

4.6.2.3. Número mínimo de unidades a inspeccionar (n)

Si bien en el cálculo anterior nos salió que debemos evaluar 38 unidades, aplicando el muestreo estadístico que nos proporciona el manual de Vásquez Varela en la página 8, usando un error admisible de 5 y una desviación estándar de 10 aplicamos la siguiente ecuación:

$$n = \frac{N \cdot s^2}{\left(\frac{e^2}{4}\right) \cdot (N - 1) + s^2}$$

Donde:

n = cantidad mínima necesaria para el análisis.

N = número de unidades totales de muestreo.

e = margen de tolerancia para el cálculo del PCI de la sección (e = 5%)

s = desviación estándar del PCI entre las unidades.

$$n = \frac{38 \cdot 10^2}{\left(\frac{5^2}{4}\right) \cdot (38 - 1) + 10^2}$$

$$n = 11,47 \approx 12 \text{ unidades}$$

Aplicada la ecuación obtuvimos que se deberá realizar el análisis de 12 unidades distribuidas aleatoriamente a lo largo de los 1094m del tramo, garantizando un nivel de confianza del 95%.

4.6.2.4. Cálculo del intervalo (i)

Para que las unidades a inspeccionar en la vía sean estadísticamente representativas y cubran todo el tramo a evaluar se hace uso de la siguiente ecuación:

$$i = \frac{N}{n}$$

$$i = \frac{38}{12} = 3,16 \approx 3$$

Para garantizar que la muestra sea distribuida de manera uniforme y aleatoria a lo largo de los 1094m del tramo en la Calle 12, se determinó el intervalo de muestreo calculado anteriormente. La selección de unidades se realizó mediante un arranque aleatorio (S), sumando sucesivamente el valor del intervalo hasta completar las 12 unidades requeridas para el estudio.



Figura 6 Secciones de la vía

Fuente: (Google Earth , 2026)

En la imagen anterior se puede observar en los rectángulos en rojo las secciones de vía en donde se realizó el análisis, cabe recalcar que la vía se la dividió en dos secciones por lo que en cada rectángulo rojo hay dos unidades de muestra.

4.6.3. Inspección visual y levantamiento de fallas

Para cada unidad de muestreo seleccionada, se realizó un censo detallado de los daños encontrados. El proceso incluyó:

- Identificación del tipo de falla: según el manual existen 19 tipos de fallas para pavimentos flexibles.
- Evaluación de la severidad: determinación del nivel de daño Bajo (L), Medio (M), Alto (H), bajo criterios visuales objetivos.
- Medición: cuantificación de la extensión del daño en metros lineales (m), metros cuadrados (m^2) o unidades (u) según corresponda

4.6.3.3. Inspección tramo 2 unidad de muestra 3

Tabla 5 Hoja de registro PCI para la unidad de muestra UM3

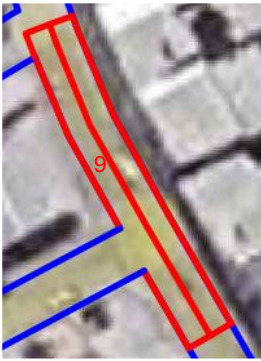
HOJA DE REGISTRO PARA PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE PCI											
LUGAR: Calle 12					SECCIÓN: 2						
FECHA: 12/01/2026					UNIDAD DE MUESTRA: UM3						
REALIZADO POR: Norman Andrade					ÁREA DE LA UNIDAD: 230m2						
TIPO DE FALLAS					DIAGRAMA						
1. Piel de cocodrilo (m ²) 2. Exudación (m ²) 3. Agrietamiento en bloque (m ²) 4. Abultamiento y hundimientos (m) 5. Corrugación (m ²) 6. Depresión (m ²) 7. Grieta de borde (m) 8. Grieta de reflexión de junta (m) 9. Desnivel carril/berma (m) 10. Grietas longy transversal (m) 11. Parcheo (m ²) 12. Pulimento de agregados (m ²) 13. Huecos (unidades) 14. Cruce de vía férrea (m ²) 15. Ahuellamiento (m ²) 16. Desplazamiento (m ²) 17. Grieta parabólica (m ²) 18. Hinchamiento (m ²) 19. Desprendimiento de agregados (m ²)											
NIVEL DE SEVERIDAD			UNIDADES DE MUESTRA	INTERVALO	NUM MAX DE VD						
Low	Bajo	L	12	3	$m_i = 1,00 + \frac{9}{98}(100 - HDV_i) =$ 2						
Medium	Medio	M									
High	Alto	H									
		TIPOS DE FALLAS EXISTENTES									
		7		9		10		11		13	
Rango	Clasificación	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.
100-85	Excelente	1,2	M	12	M	1,5	M	8,75	L	9,25	H
85-70	Muy Bueno	4	M			6	M				
70-55	Bueno	5,5	M			1	L				
55-40	Regular					0,7	L				
40-25	Malo					0,5	L				
25-10	Muy Malo										
10-0	Fallado										
TOTAL		BAJO (L)				2,2		8,75			
		MEDIO (M)		10,7		12		7,5			
		ALTO (H)								9,25	

Fuente: (Elaboración Propia)

En este tramo las fallas encontradas apuntan a una falla por humedad y falta de confinamiento lateral, más que a un simple envejecimiento del material.

4.6.3.9. Inspección tramo 5 unidad de muestra 9

Tabla 11 Hoja de registro PCI para la unidad de muestra UM9

HOJA DE REGISTRO PARA PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE PCI											
LUGAR: Calle 12					SECCIÓN: 5						
FECHA: 12/01/2026					UNIDAD DE MUESTRA: UM9						
REALIZADO POR: Norman Andrade					ÁREA DE LA UNIDAD: 230m ²						
TIPO DE FALLAS					DIAGRAMA						
1. Piel de cocodrilo (m ²) 2. Exudación (m ²) 3. Agrietamiento en bloque (m ²) 4. Abultamiento y hundimientos (m) 5. Corrugación (m ²) 6. Depresión (m ²) 7. Grieta de borde (m) 8. Grieta de reflexión de junta (m) 9. Desnivel carril/berma (m) 10. Grietas longy transversal (m) 11. Parcheo (m ²) 12. Pulimento de agregados (m ²) 13. Huecos (unidades) 14. Cruce de vía férrea (m ²) 15. Ahuellamiento (m ²) 16. Desplazamiento (m ²) 17. Grieta parabólica (m ²) 18. Hinchamiento (m ²) 19. Desprendimiento de agregados (m ²)											
NIVEL DE SEVERIDAD			UNIDADES DE MUESTRA		INTERVALO		NUM MAX DE VD				
Low	Bajo	L	12		3		$m_i = 1,00 + \frac{9}{98}(100 - HDV_i) = 7$				
Medium	Medio	M									
High	Alto	H									
		TIPOS DE FALLAS EXISTENTES									
		1		10		11		12		13	
Rango	Clasificación	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.
100-85	Excelente	0,75	M	2	M	0,64	M	100	M	0,21	H
85-70	Muy Bueno	3	H	0,6	M	0,64	M			0,09	H
70-55	Bueno					4	M				
55-40	Regular										
40-25	Malo										
25-10	Muy Malo										
10-0	Fallado										
TOTAL		BAJO (L)									
		MEDIO (M)		0,75		2,6		5,28		100	
		ALTO (H)		3							

Fuente: (Elaboración propia)

Las fallas encontradas evidencian un fallo estructural por fatiga y pulimento de superficie, lo que indica que el pavimento ha perdido tanto su resistencia como su seguridad superficial.

CAPITULO V: ANÁLISIS Y RESULTADOS

5. Análisis y resultados del pavimento

5.1. Resultados del cálculo del PCI y valores deducidos

Para el procesamiento de los datos obtenidos en la Calle 12, se procedió a transformar las evidencias físicas en valores numéricos siguiendo estrictamente los lineamientos de la norma ASTM D6433. En este sentido, el cálculo de los Valores Deducidos (VD) se realizó mediante el uso de ábacos o curvas de impacto proporcionadas por dicha normativa, los cuales permiten asignar una penalización objetiva según el tipo, severidad y densidad de cada daño identificado. Posteriormente, para llegar al valor real del PCI, se emplearon graficas de corrección técnica que ajustan la suma total de los daños encontrados, evitando así una subestimación del estado de la vía y garantizando que el índice final refleje con precisión la condición de servicio de pavimento.

5.1.1. Cálculo PCI tramo 1

5.1.1.1. PCI unidad de muestra 1

Tabla 15 Cálculo PCI UM1

CÁLCULO DEL PCI					
Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad	Valor deducido	Número de valores deducidos > 2(q) Valor deducido mas alto = 8 Número máximo de VD (m) =
3	L	4	1,74%	1	
10	L	18	7,83%	6	
11	L	0,64	0,28%	0	
19	L	49,12	21,36%	8	
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		

Fuente: (Elaboración propia)

Los valores deducidos se obtiene mediante los abacos que se presentan a continuacion, como la falla 11 no representa un daño significativo no se lo toma en cuenta para los calculos

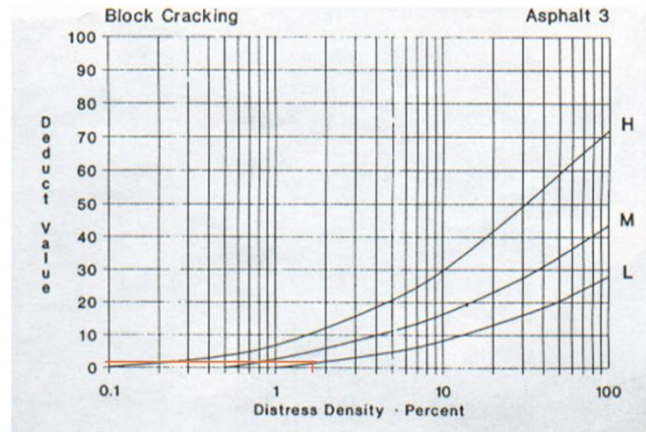


Figura 7 grafica valor deducido agrietamiento en bloque UM1

Fuente: (ASTM International , 2018)

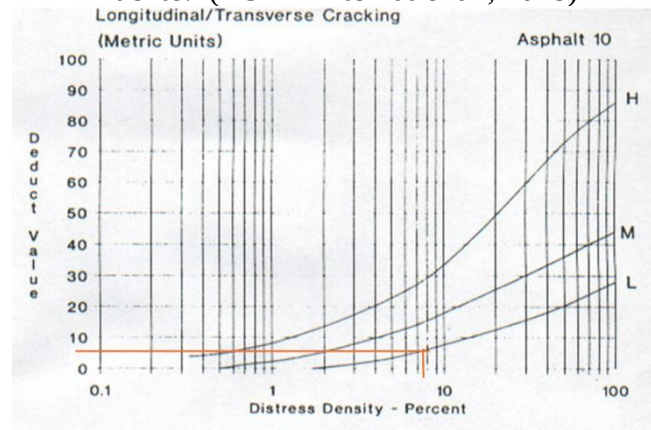


Figura 8 grafica valor deducido grieta long y transversal UM1

Fuente: (ASTM International , 2018)

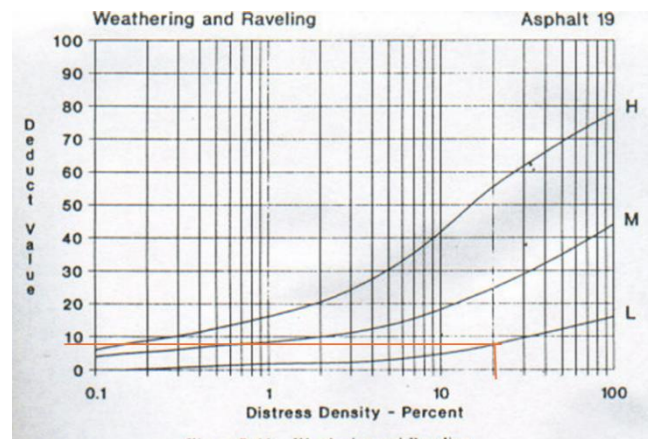


Figura 9 grafica valor deducido desprendimiento de agregados UM1

Fuente: (ASTM International , 2018)

Tabla 16 Valores deducidos UM1

NRO	VALORES DEDUCIDOS						VDT	q	VDC
1	8	6	1	0			15	2	14
2	8	2	1	0			11	1	11
								Max. VDC	14

Fuente: (Elaboración propia)

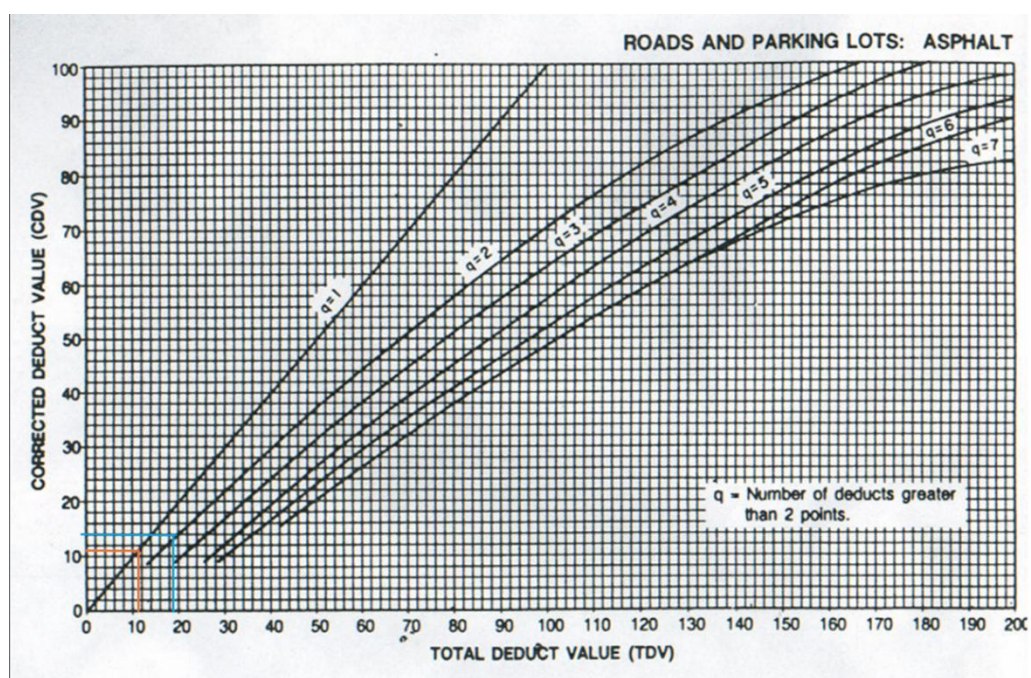


Figura 10 Corrección Valor deducido UM1

Fuente: (ASTM International , 2018)

Tabla 17 Índice de Condición del Pavimento UM1

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTO (PCI)	$PCI = 100 - Max.VCD =$	86
CONDICION DEL PAVIMENTO	EXCELENTE	

Fuente: (Elaboración propia)

5.1.1.2.PCI unidad de muestra 2

Tabla 18 Calculo PCI UM2

CALCULO DEL PCI					Número de valores deducidos > 2(q) Valor deducido mas alto = 28 Número máximo de VD (m) =
Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad	Valor deducido	
1	M	0,5	0,22%	12	
10	M	9,4	4,09%	10	
0	M		0,00%	0	
19	M	49,12	21,36%	28	
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		

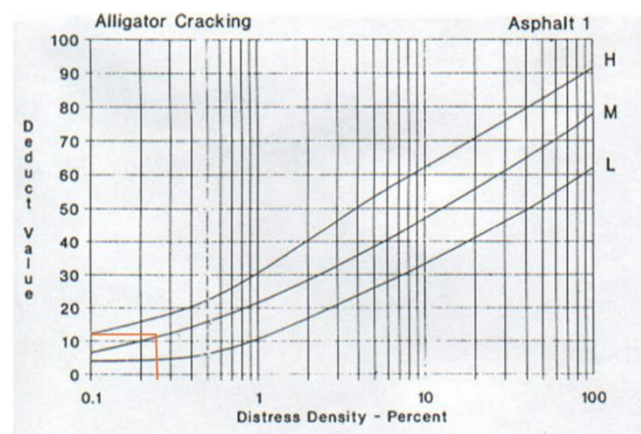


Figura 11 grafica valor deducido piel de cocodrilo UM2

Fuente: (ASTM International , 2018)

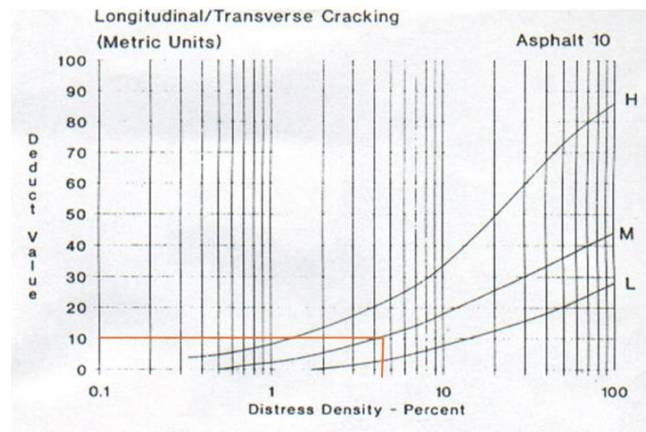


Figura 12 grafica valor deducido grieta long y transversal UM2

Fuente: (ASTM International , 2018)

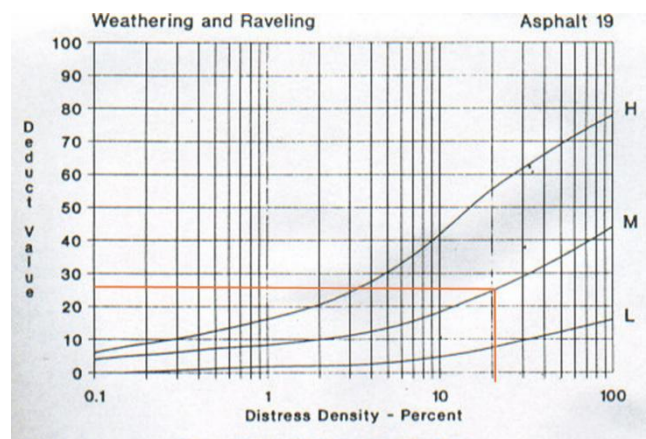


Figura 13 grafica valor deducido desprendimiento de agregados UM2

Fuente: (ASTM International , 2018)

Tabla 19 Valores deducidos UM2

NRO	VALORES DEDUCIDOS							VDT	q	VDC
1	28	12	10					50	3	32
2	28	12	2					42	2	31
3	28	2	2					32	1	32
									Max. VDC	32

Fuente: (Elaboración propia)

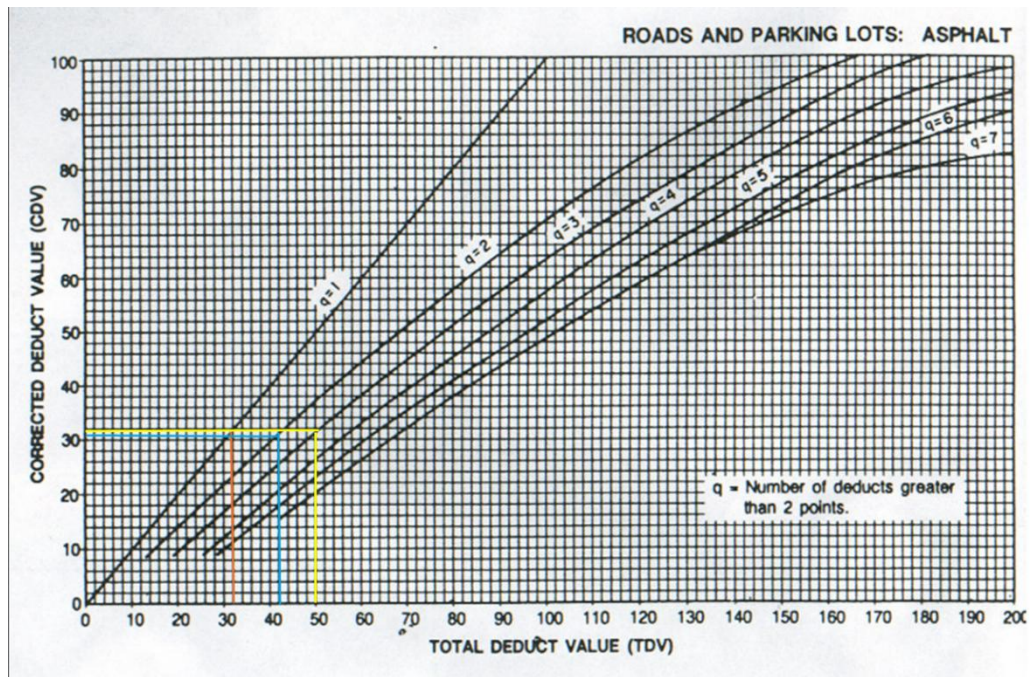


Figura 14 Corrección Valor deducido UM2

Fuente: (ASTM International , 2018)

Tabla 20 Índice de Condición del Pavimento UM2

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTO (PCI)	$PCI = 100 - Max.VCD =$	68
CONDICION DEL PAVIMENTO	BUENO	

Fuente: (Elaboración propia)

5.1.2. Calculo PCI tramo 2

5.1.2.1. PCI unidad de muestra 3

Tabla 21 Calculo PCI UM3

CALCULO DEL PCI					Número de valores deducidos > 2(q) Valor deducido mas alto = 84 Número máximo de VD (m) =
Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad	Valor deducido	
7	M	10,7	4,65%	10	
9	M	12	5,22%	7	
10	L	2,2	0,96%	0	
10	M	7,5	3,26%	10	
11	L	8,75	3,80%	7	
13	H	9,25	4,02%	84	
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		

Fuente: (Elaboración propia)

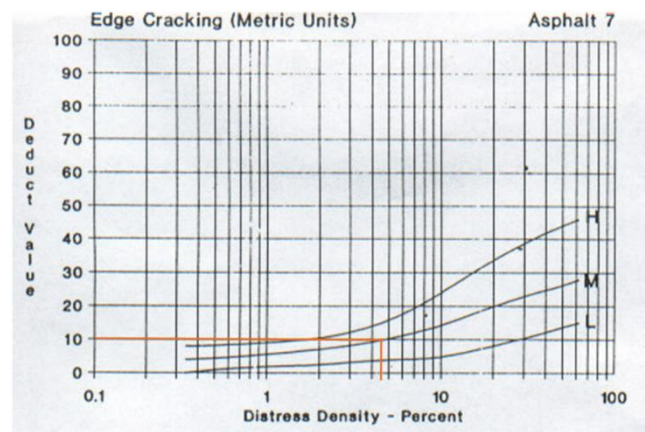


Figura 15 grafica valor deducido grieta de borde UM3

Fuente: (ASTM International , 2018)

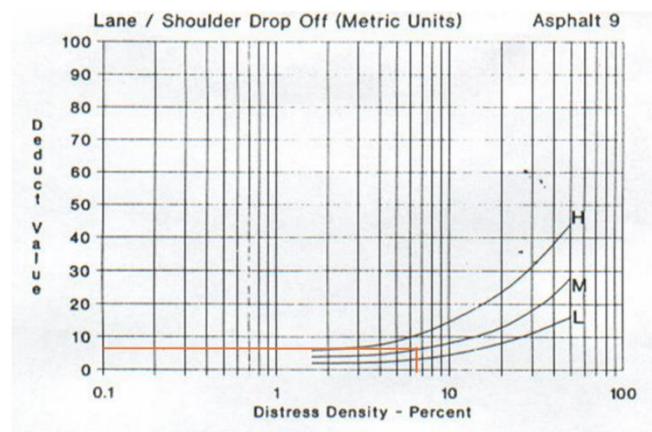


Figura 16 grafica valor deducido desnivel carril/berma UM3

Fuente: (ASTM International , 2018)

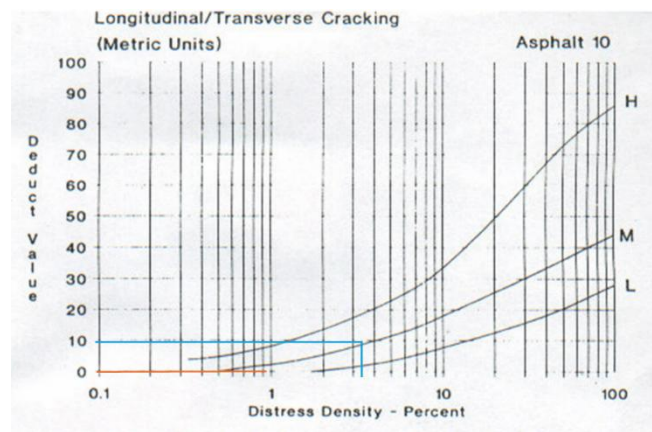


Figura 17 grafica valor deducido grieta long y transversal UM3

Fuente: (ASTM International , 2018)

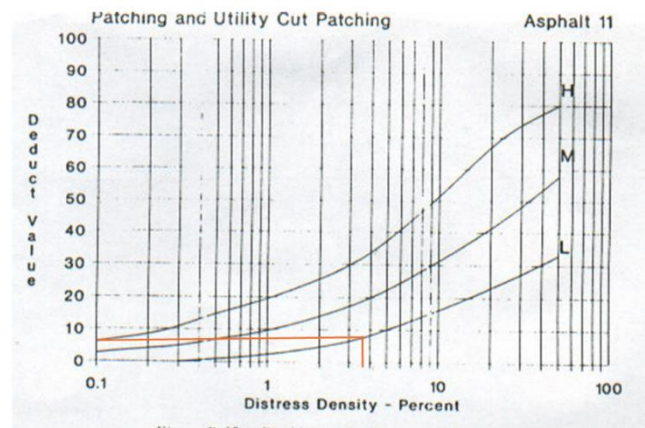


Figura 18 grafica valor deducido parcheo UM3

Fuente: (ASTM International , 2018)

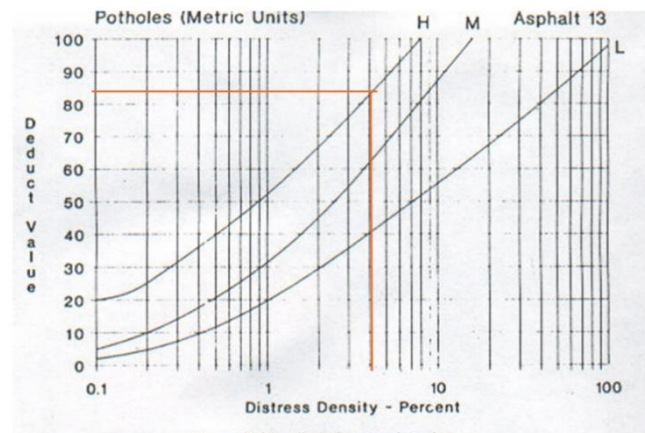


Figura 19 grafica valor deducido huecos UM3

Fuente: (ASTM International , 2018)

Tabla 22 Valores deducidos UM3

NRO	VALORES DEDUCIDOS							VDT	q	VDC
1	84	10	10	7	7			118	5	62
2	84	10	10	7	2			113	4	66
3	84	10	10	2	2			108	3	68
4	84	10	2	2	2			100	2	72
5	84	2	2	2	2			92	1	92
									Max. VDC	92

Fuente: (Elaboración propia)

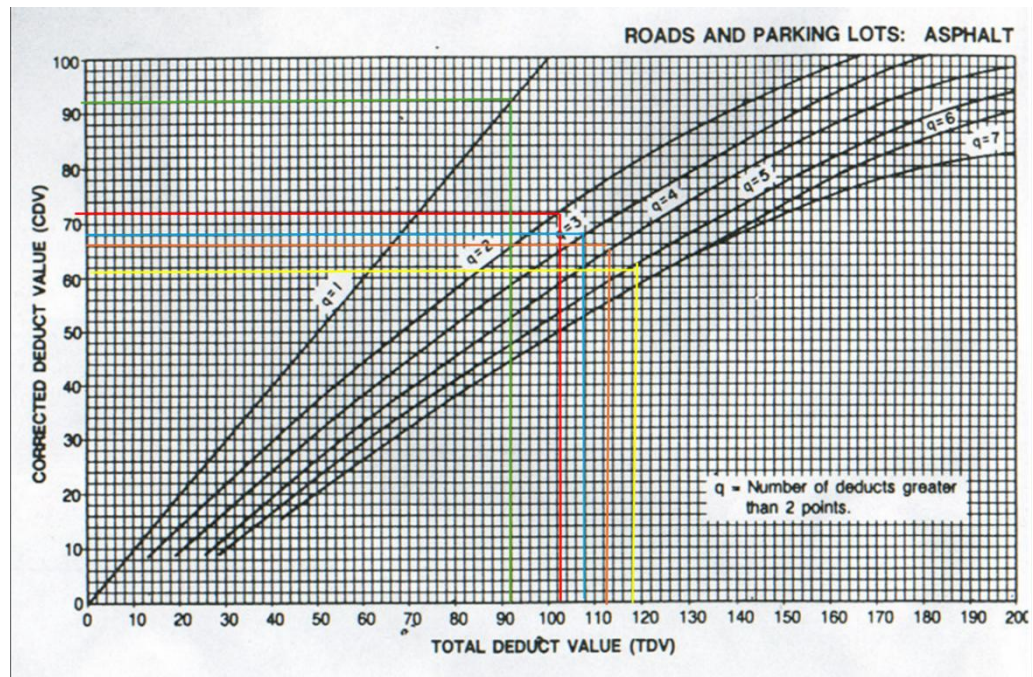


Figura 20 Corrección Valor deducido UM3

Fuente: (ASTM International , 2018)

Tabla 23 Índice de Condición del Pavimento UM3

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTO (PCI)	$PCI = 100 - Max.VCD =$	8
CONDICION DEL PAVIMENTO	FALLADO	

Fuente: (Elaboración propia)

5.1.2.2. PCI unidad de muestra 4

Tabla 24 Calculo PCI UM4

CALCULO DEL PCI					Número de valores deducidos > 2(q) Valor deducido mas alto = 18 Número máximo de VD (m) =
Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad	Valor deducido	
10	M	20,9	9,09%	18	
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		

Fuente: (Elaboración propia)

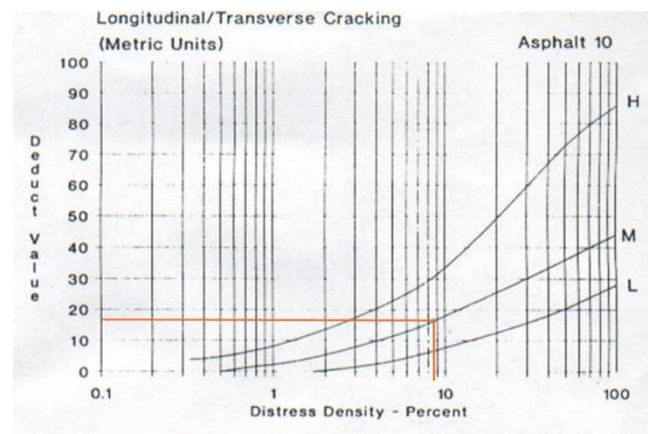


Figura 21 Figura 17 grafica valor deducido grieta long y transversal UM4

Fuente: (ASTM International , 2018)

Tabla 25 Valores deducidos UM4

NRO	VALORES DEDUCIDOS						VDT	q	VDC
1	18						18	1	18
								Max. VDC	18

Fuente: (Elaboración propia)

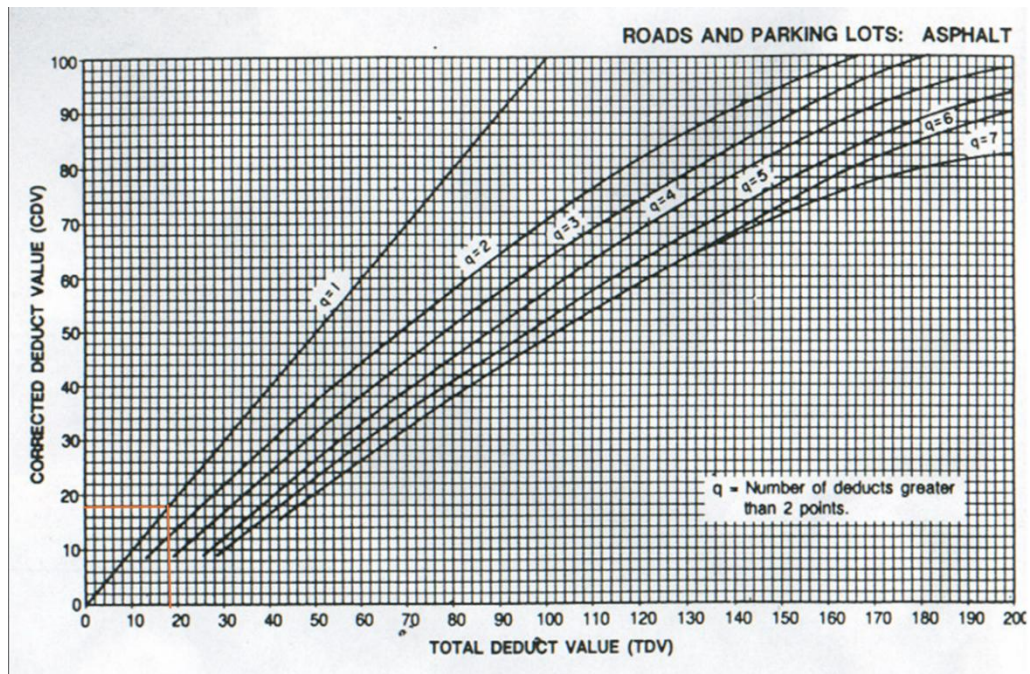


Figura 22 Corrección Valor deducido UM4

Fuente: (ASTM International , 2018)

Tabla 26 Índice de Condición del Pavimento UM4

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTO (PCI)	$PCI = 100 - Max.VCD =$	82
CONDICION DEL PAVIMENTO	MUY BUENO	

Fuente: (Elaboración propia)

5.1.3. Cálculo PCI tramo 3

5.1.3.1. PCI unidad de muestra 5

Tabla 27 Cálculo PCI UM5

CÁLCULO DEL PCI					Número de valores deducidos > 2(q) Valor deducido mas alto = 21 Número máximo de VD (m) =
Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad	Valor deducido	
3	L	2,31	1,00%	1	
10	L	10,1	4,39%	2	
10	M	14,2	6,17%	16	
11	L	5,5	2,39%	5	
19	L	40,25	17,50%	21	
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		

Fuente: (Elaboración propia)

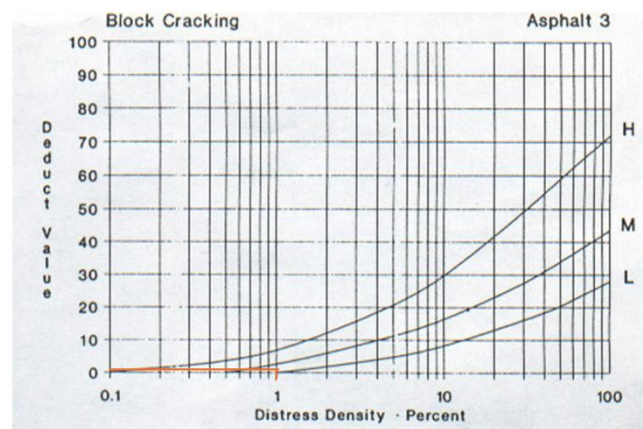


Figura 23 Figura 17 gráfica valor deducido agrietamiento en bloque UM5

Fuente: (ASTM International , 2018)

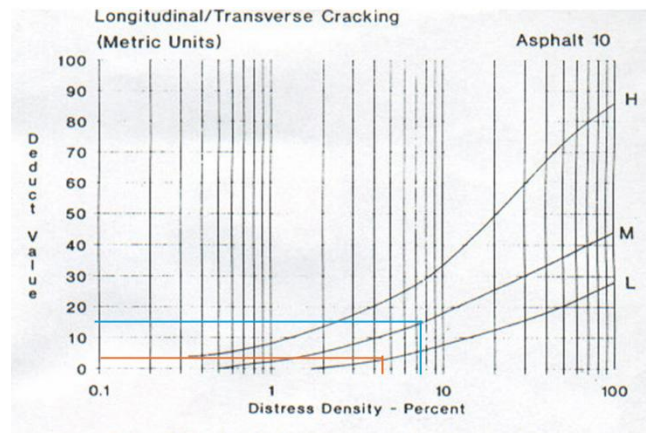


Figura 24 grafica valor deducido grieta long y transversal UM5

Fuente: (ASTM International , 2018)

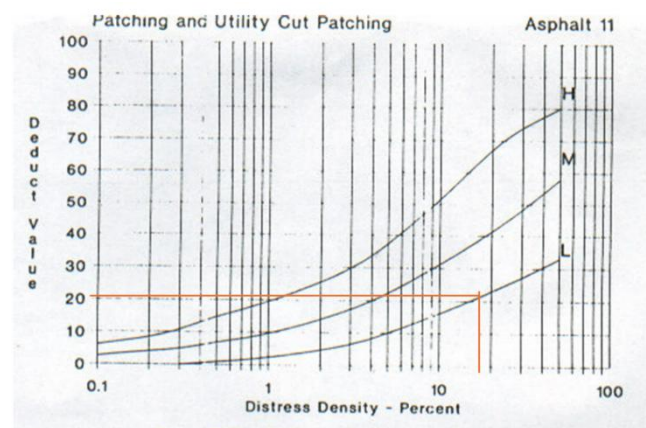


Figura 25 grafica valor deducido parcheo UM5

Fuente: (ASTM International , 2018)

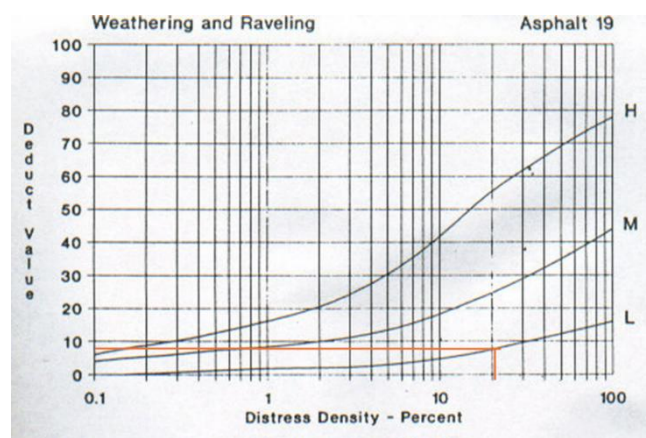


Figura 26 grafica valor deducido desprendimiento de agregados UM5

Fuente: (ASTM International , 2018)

Tabla 28 Valores deducidos UM5

NRO	VALORES DEDUCIDOS							VDT	q	VDC
1	21	16	5	2	1			45	3	28
2	21	16	2	2	1			42	2	32
3	21	2	2	2	1			28	1	28
									Max. VDC	32

Fuente: (Elaboración propia)

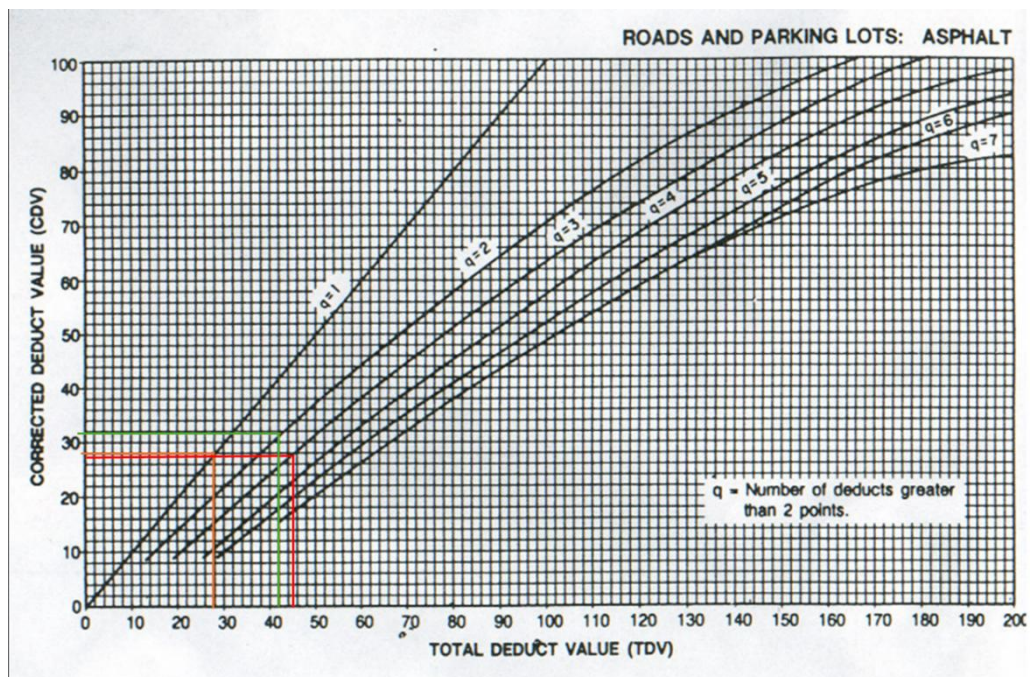


Figura 27 Corrección Valor deducido UM5

Fuente: (ASTM International , 2018)

Tabla 29 Índice de Condición del Pavimento UM5

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTO (PCI)	$PCI = 100 - Max.VCD =$	68
CONDICION DEL PAVIMENTO	BUENO	

Fuente: (Elaboración propia)

5.1.3.2. PCI unidad de muestra 6

Tabla 30 Calculo PCI UM6

CALCULO DEL PCI					Número de valores deducidos > 2(q) Valor deducido mas alto = 32 Número máximo de VD (m) =
Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad	Valor deducido	
10	M	11,8	5,13%	12	
13	L	1	0,43%	10	
13	M	2,5	1,09%	32	
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		

Fuente: (Elaboración propia)

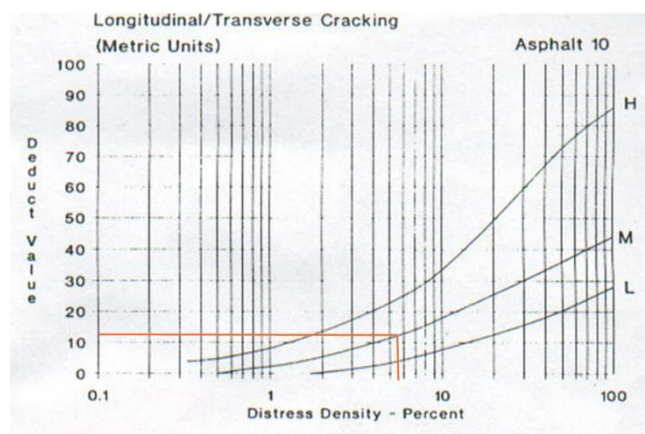


Figura 28 grafica valor deducido grieta long y transversal UM6

Fuente: (ASTM International , 2018)

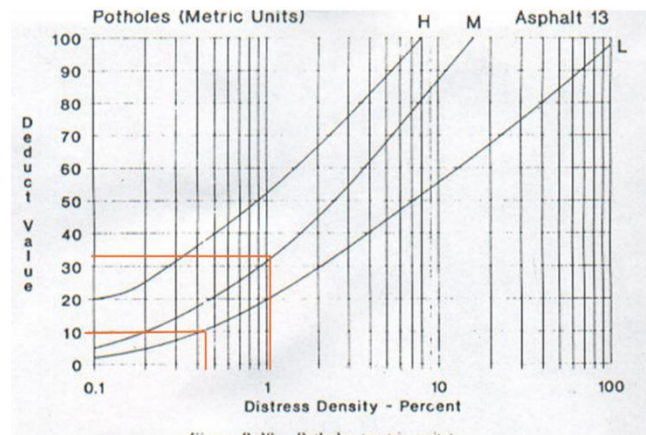


Figura 29 grafica valor deducido huecos UM6

Fuente: (ASTM International , 2018)

Tabla 31 Valores deducidos UM6

NRO	VALORES DEDUCIDOS						VDT	q	VDC
1	32	12	10				54	3	32
2	32	12	2				46	2	32
3	32	2	2				36	1	36
								Max. VDC	36

Fuente: (Elaboración propia)

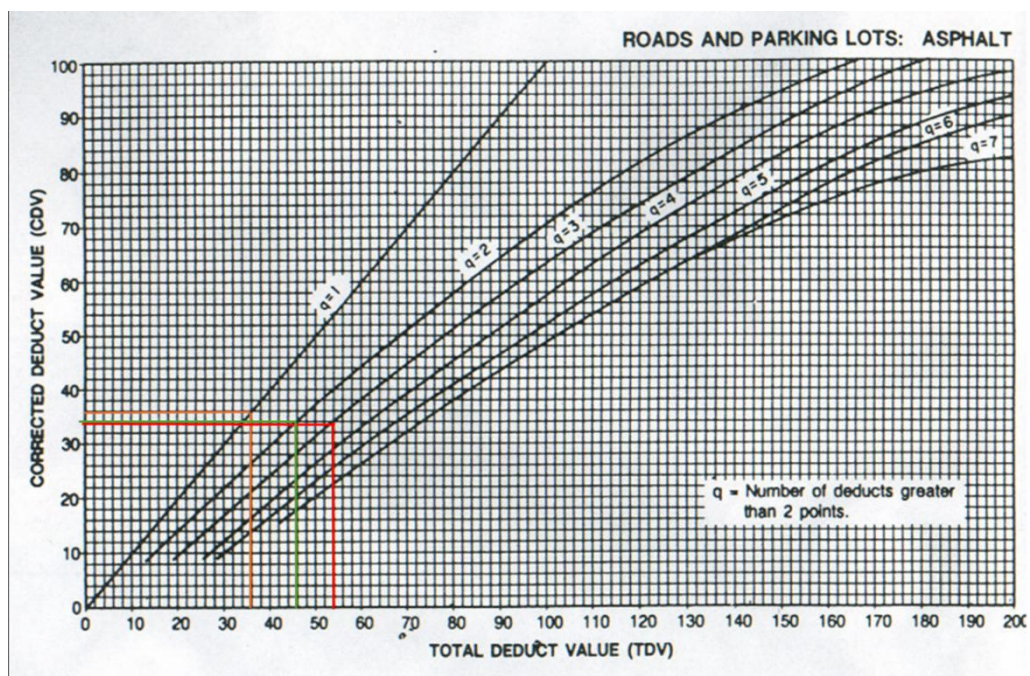


Figura 30 Corrección Valor deducido UM6

Fuente: (ASTM International , 2018)

Tabla 32 Índice de Condición del Pavimento UM6

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTO (PCI)	$PCI = 100 - Max.VCD =$	64
CONDICION DEL PAVIMENTO	BUENO	

Fuente: (Elaboración propia)

5.1.4. Calculo PCI tramo 4

5.1.4.1. PCI unidad de muestra 7

Tabla 33 Calculo PCI UM7

CALCULO DEL PCI					Número de valores deducidos > 2(q) Valor deducido mas alto = 81 Número máximo de VD (m) =
Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad	Valor deducido	
1	L	0,16	0,07%	0	
10	L	8	3,48%	2	
10	M	7	3,04%	10	
11	L	4,24	1,84%	2	
13	H	9	3,91%	81	
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		

Fuente: (Elaboración propia)

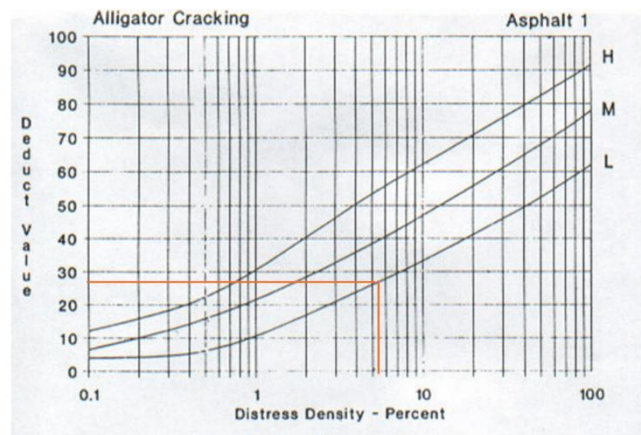


Figura 31 grafica valor deducido piel de cocodrilo UM7

Fuente: (ASTM International , 2018)

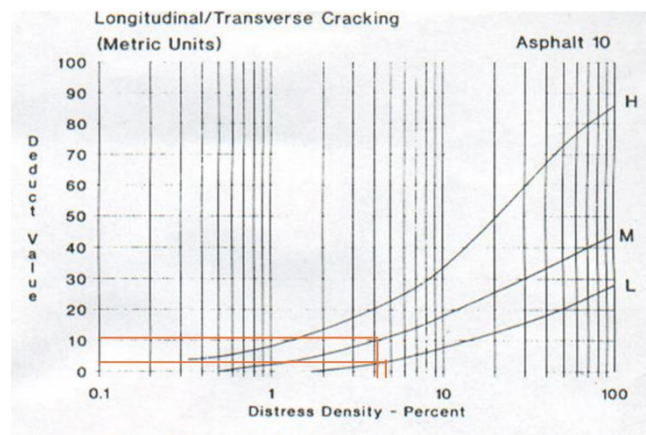


Figura 32 grafica valor deducido grieta long y transversal UM7

Fuente: (ASTM International , 2018)

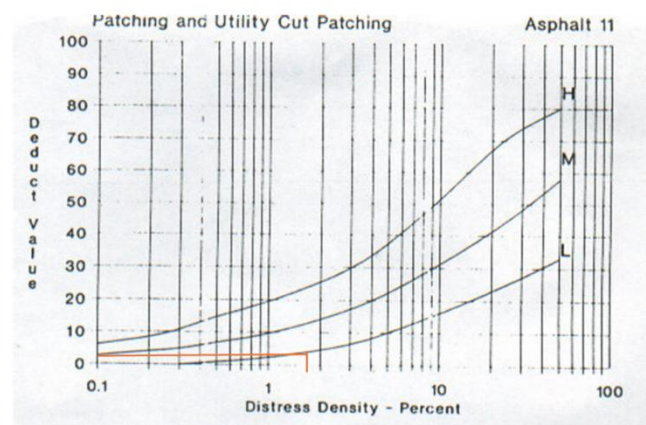


Figura 33 grafica valor deducido parcheo UM7

Fuente: (ASTM International , 2018)

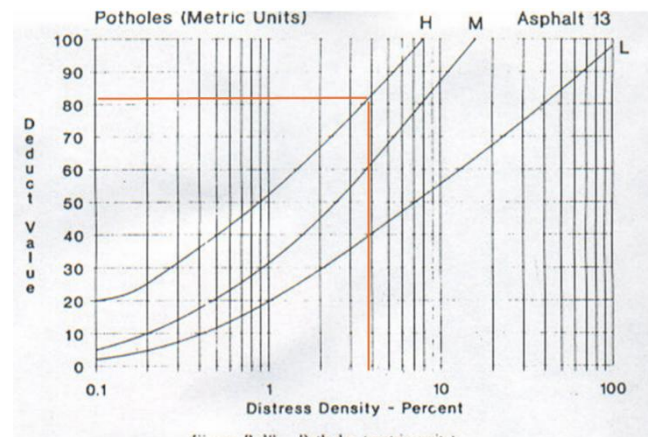


Figura 34 grafica valor deducido huecos UM7

Fuente: (ASTM International , 2018)

Tabla 34 Valores deducidos UM7

NRO	VALORES DEDUCIDOS						VDT	q	VDC
1	81	10	2				93	2	66
2	81	2	2				85	1	81
								Max. VDC	81

Fuente: (Elaboración propia)

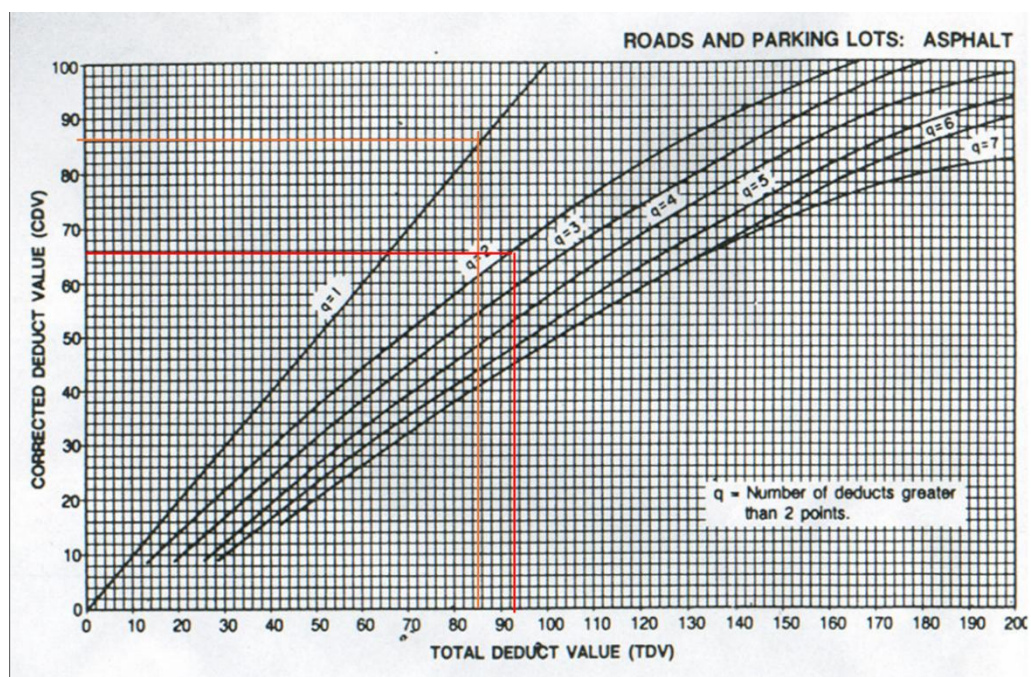


Figura 35 Corrección Valor deducido UM7

Fuente: (ASTM International , 2018)

Tabla 35 Índice de Condición del Pavimento UM7

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTO (PCI)	$PCI = 100 - Max.VCD =$	19
CONDICION DEL PAVIMENTO	MUY MALO	

Fuente: (Elaboración propia)

5.1.4.2. PCI unidad de muestra 8

Tabla 36 Calculo PCI UM8

CALCULO DEL PCI					Número de valores deducidos > 2(q) Valor deducido mas alto = 39 Número máximo de VD (m) =
Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad	Valor deducido	
7	M	6	2,61%	8	
10	M	10,9	4,74%	10	
11	M	0,66	0,29%	5	
13	H	0,99	0,43%	39	
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		

Fuente: (Elaboración propia)

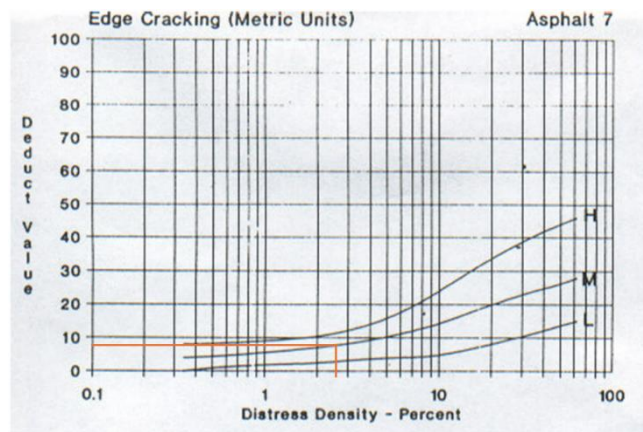


Figura 36 grafica valor deducido grieta de borde UM8

Fuente: (ASTM International , 2018)

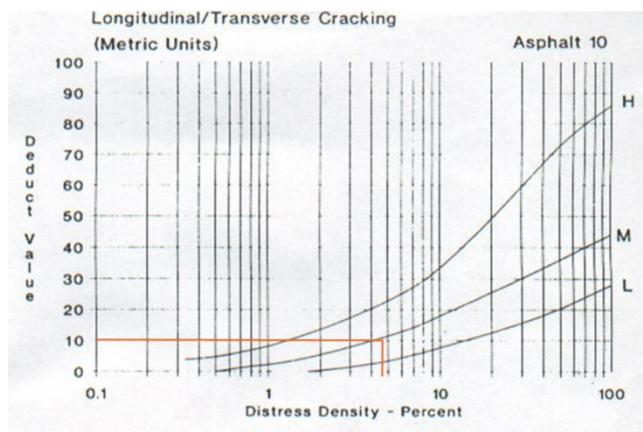


Figura 37 grafica valor deducido grieta long y transversal UM8

Fuente: (ASTM International , 2018)

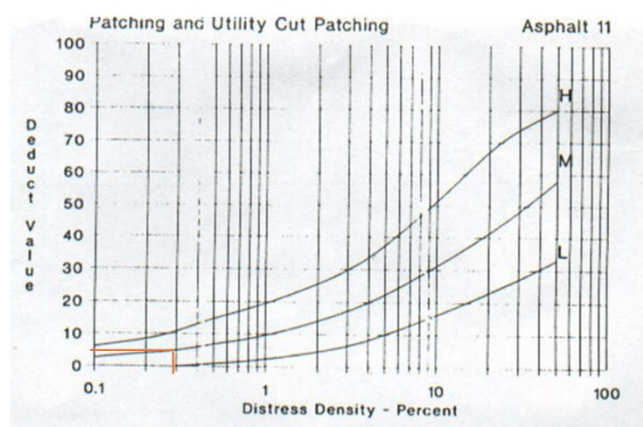


Figura 38 grafica valor deducido parcheo UM8

Fuente: (ASTM International , 2018)

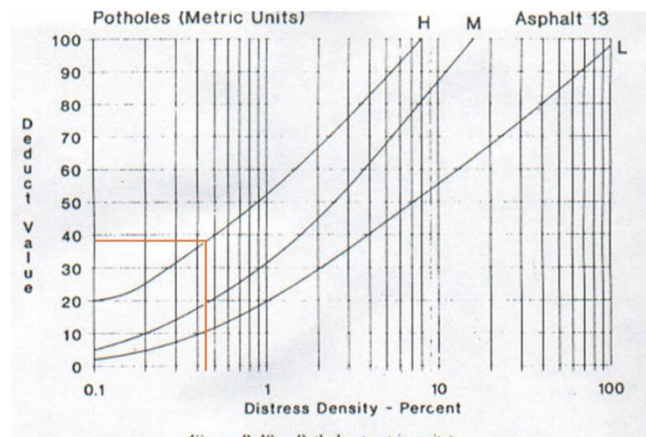


Figura 39 grafica valor deducido huecos UM8

Fuente: (ASTM International , 2018)

Tabla 37 Valores deducidos UM8

NRO	VALORES DEDUCIDOS						VDT	q	VDC
1	39	10	8	5			62	4	34
2	39	10	8	2			59	3	38
3	39	10	2	2			53	2	39
4	39	2	2	2			45	1	45
								Max. VDC	45

Fuente: (Elaboración propia)

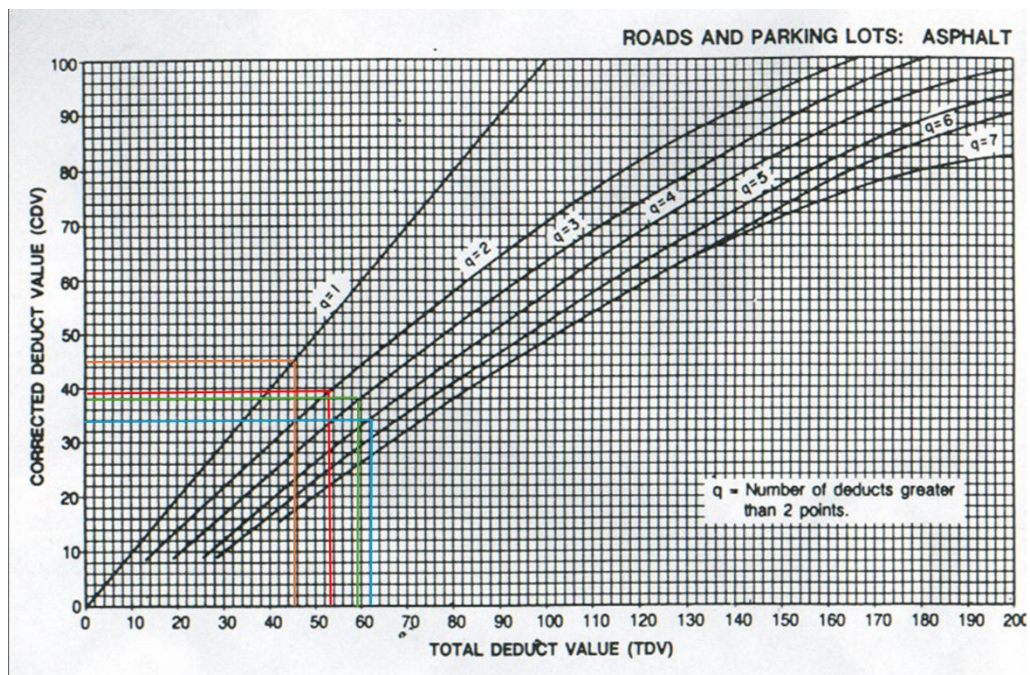


Figura 40 Corrección Valor deducido UM8

Fuente: (ASTM International , 2018)

Tabla 38 Índice de Condición del Pavimento UM8

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTO (PCI)	$PCI = 100 - Max.VCD =$	55
CONDICION DEL PAVIMENTO	REGULAR	

Fuente: (Elaboración propia)

5.1.5. Calculo PCI tramo 5

5.1.5.1. PCI unidad de muestra 9

Tabla 39 Calculo PCI UM9

CALCULO DEL PCI					
Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad	Valor deducido	Número de valores deducidos > 2(q) Valor deducido mas alto = 32 Número máximo de VD (m) =
1	M	0,75	0,33%	16	
10	M	2,6	1,13%	3	
11	M	5,28	2,30%	18	
12	M	100	43,48%	11	
13	M	0,3	0,13%	21	
1	H	3	1,30%	32	
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		

Fuente: (Elaboración propia)

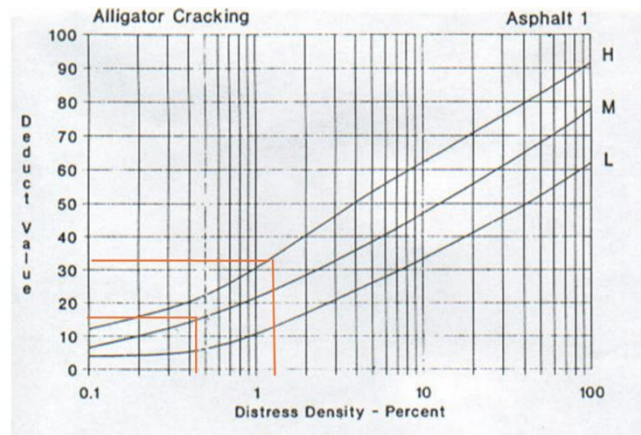


Figura 41 grafica valor deducido piel de cocodrilo UM9

Fuente: (ASTM International , 2018)

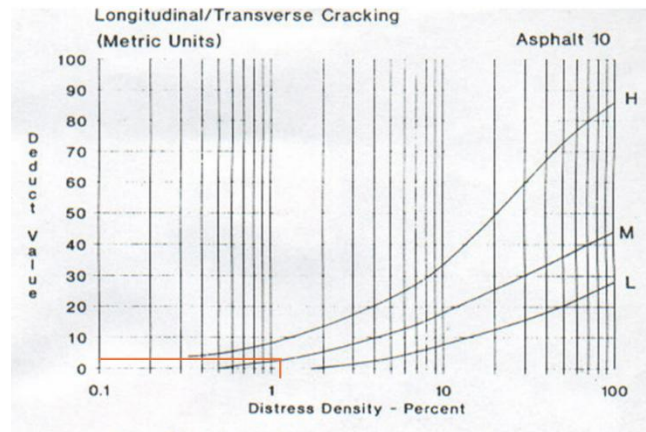


Figura 42 grafica valor deducido grieta long y transversal UM9

Fuente: (ASTM International , 2018)

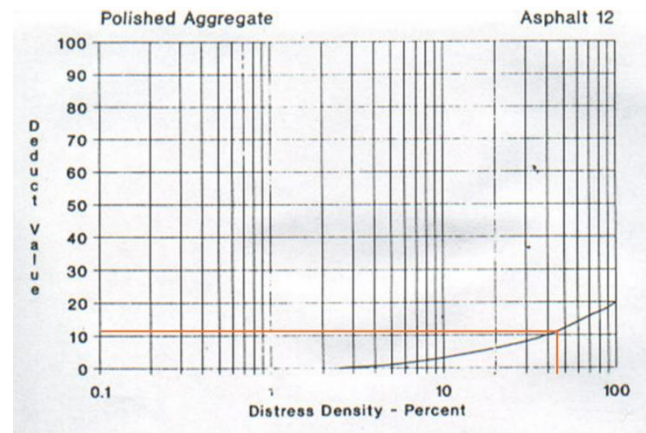


Figura 43 grafica valor deducido pulimento de agregados UM9

Fuente: (ASTM International , 2018)

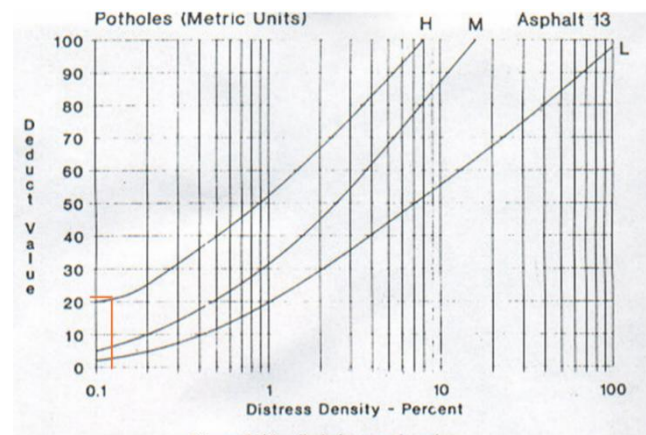


Figura 44 grafica valor deducido huecos UM9

Fuente: (ASTM International , 2018)

Tabla 40 Valores deducidos UM9

NRO	VALORES DEDUCIDOS							VDT	q	VDC
1	32	21	18	16	11	3		101	6	50
2	32	21	18	16	11	2		100	5	52
3	32	21	18	16	2	2		89	4	50
4	32	21	18	2	2	2		75	3	48
5	32	21	2	2	2	2		61	2	44
6	32	2	2	2	2	2		42	1	42
									Max. VDC	52

Fuente: (Elaboración propia)

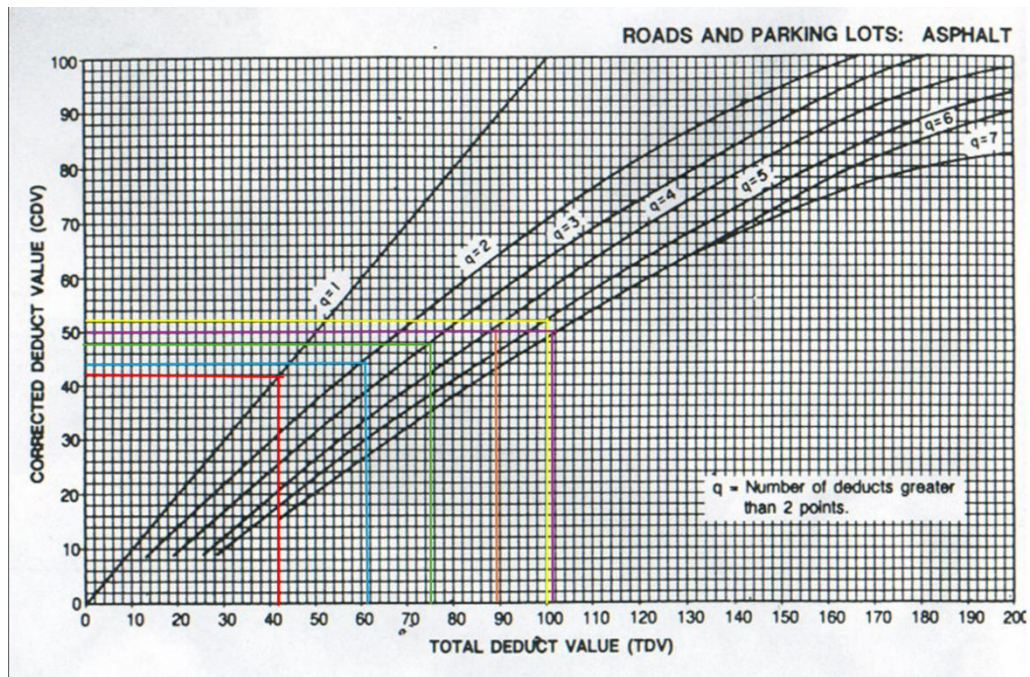


Figura 45 Corrección Valor deducido UM9

Fuente: (ASTM International , 2018)

Tabla 41 Índice de Condición del Pavimento UM9

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTO (PCI)	$PCI = 100 - Max.VCD =$	48
CONDICION DEL PAVIMENTO	REGULAR	

Fuente: (Elaboración propia)

5.1.5.2. PCI unidad de muestra 10

Tabla 42 Calculo PCI UM10

CALCULO DEL PCI					Número de valores deducidos > 2(q) Valor deducido mas alto = 20 Número máximo de VD (m) =
Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad	Valor deducido	
10	M	6	2,61%	8	
10	H	8	3,48%	19	
11	M	2,5	1,09%	10	
12	M	100	43,48%	11	
13	H	0,25	0,11%	20	
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		

Fuente: (Elaboración propia)

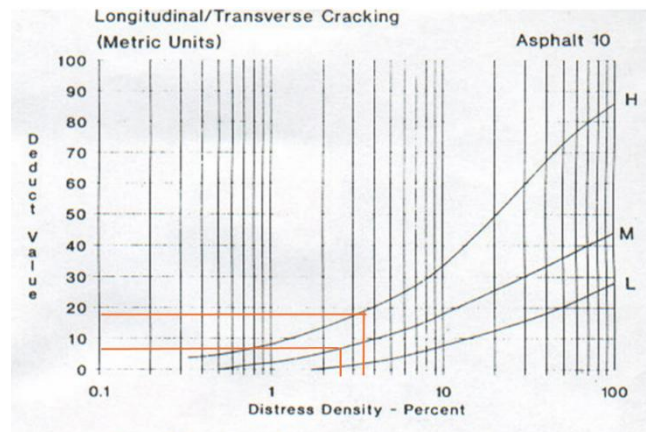


Figura 46 grafica valor deducido grieta long y transversal UM10

Fuente: (ASTM International , 2018)

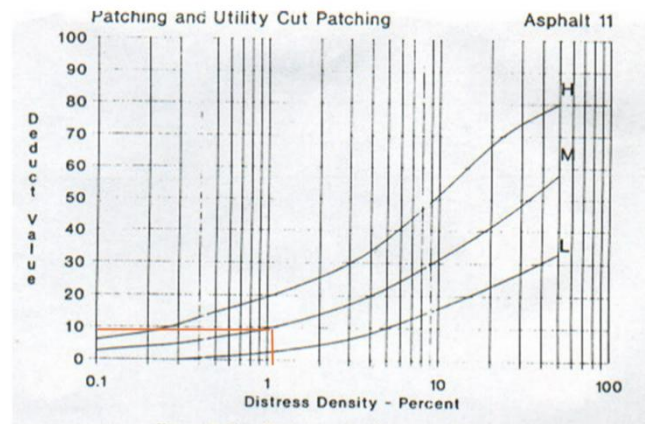


Figura 47 grafica valor deducido parcheo UM10

Fuente: (ASTM International , 2018)

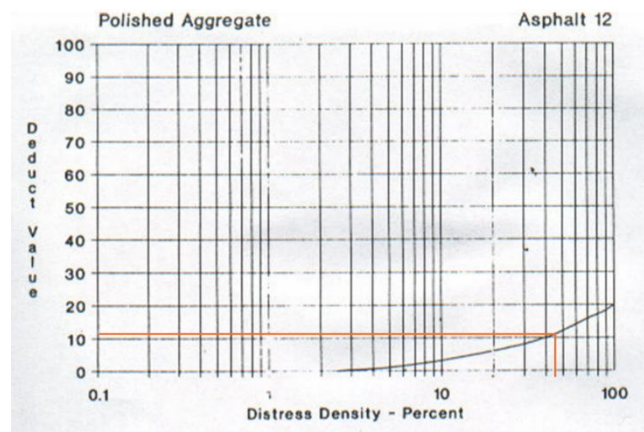


Figura 48 grafica valor deducido pulimento de agregados UM10

Fuente: (ASTM International , 2018)

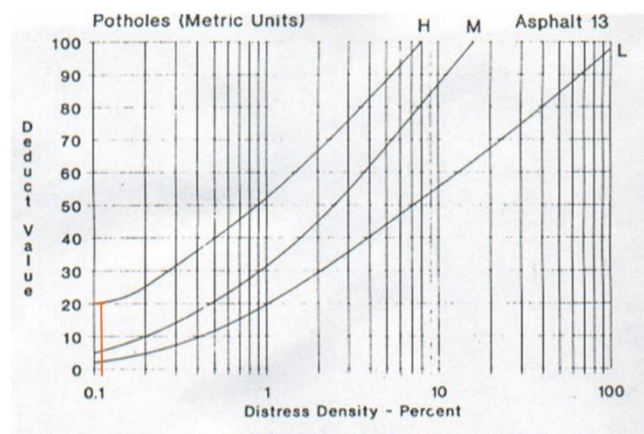


Figura 49 grafica valor deducido huecos UM10

Fuente: (ASTM International , 2018)

Tabla 43 Valores deducidos UM10

NRO	VALORES DEDUCIDOS							VDT	q	VDC
1	20	19	11	10	8			68	5	34
2	20	19	11	10	2			62	4	34
3	20	19	11	2	2			54	3	34
4	20	19	2	2	2			45	2	34
5	20	2	2	2	2			28	1	28
									Max. VDC	34

Fuente: (Elaboración propia)

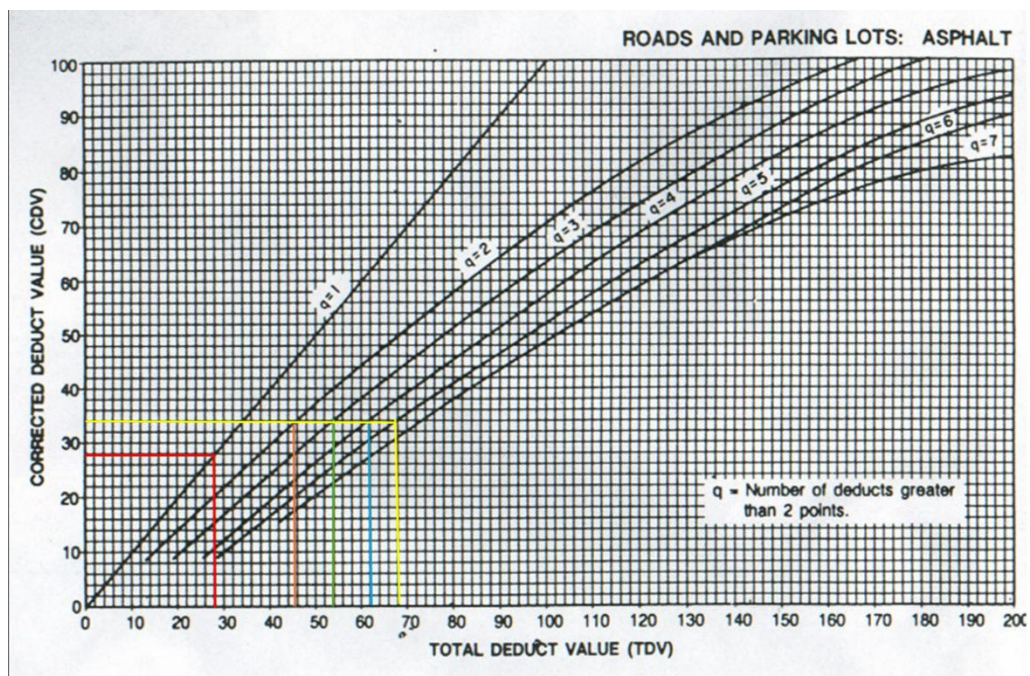


Figura 50 Corrección Valor deducido UM10

Fuente: (ASTM International , 2018)

Tabla 44 Índice de Condición del Pavimento UM10

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTO (PCI)	$PCI = 100 - Max.VCD =$	66
CONDICION DEL PAVIMENTO	BUENO	

Fuente: (Elaboración propia)

5.1.6. Calculo PCI tramo 6

5.1.6.1. PCI unidad de muestra 11

Tabla 45 Calculo PCI UM11

CALCULO DEL PCI					Número de valores deducidos > 2(q) Valor deducido mas alto = 48 Número máximo de VD (m) =
Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad	Valor deducido	
1	M	0,25	0,11%	7	
1	H	0,7	0,30%	19	
10	M	8,7	3,78%	9	
15	H	11	4,78%	48	
19	M	130	56,52%	47	
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		

Fuente: (Elaboración propia)

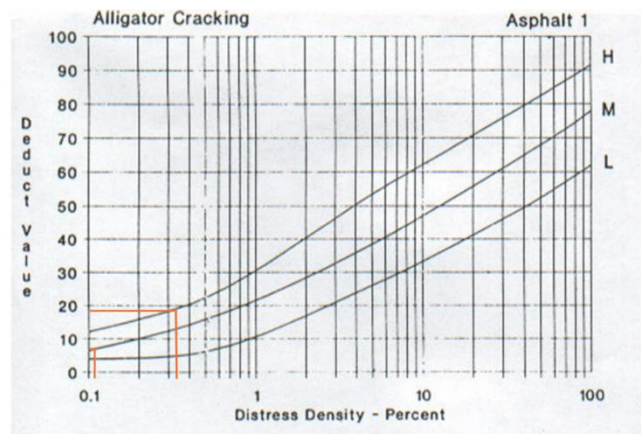


Figura 51 grafica valor deducido piel de cocodrilo UM11

Fuente: (ASTM International , 2018)

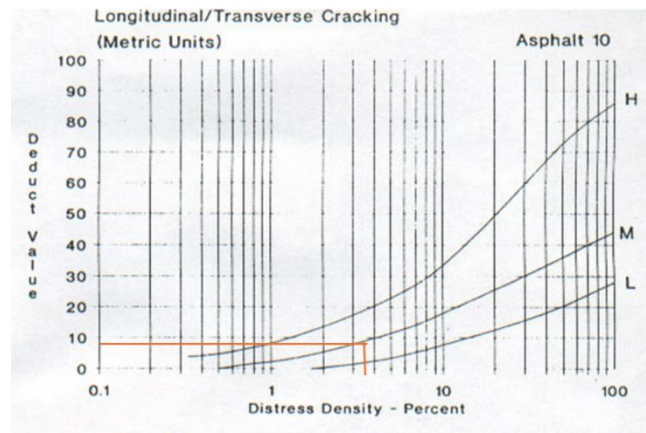


Figura 52 grafica valor deducido grieta long y transversal UM11

Fuente: (ASTM International , 2018)

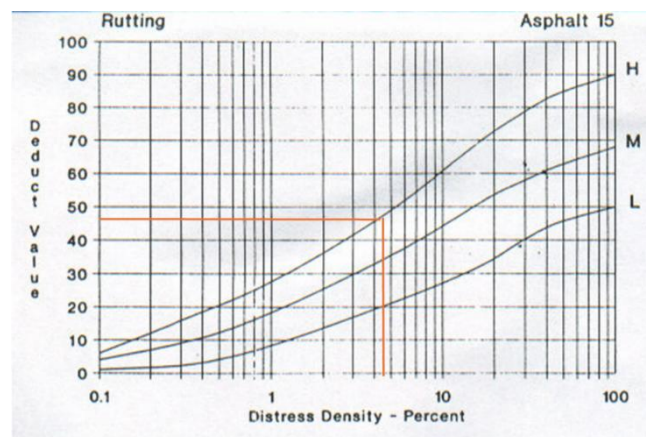


Figura 53 grafica valor deducido ahuellamiento UM11

Fuente: (ASTM International , 2018)

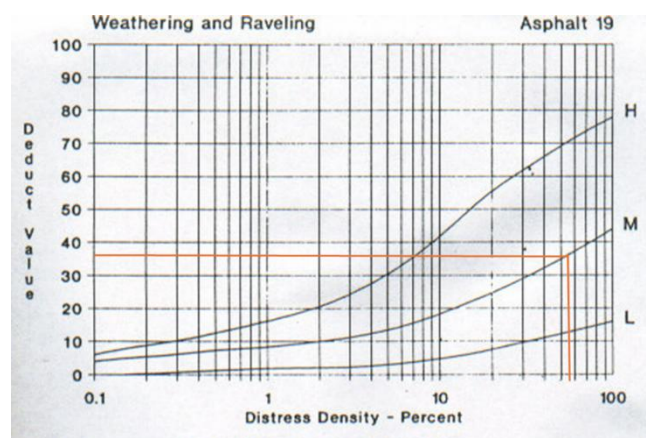


Figura 54 grafica valor deducido desprendimiento de agregados UM11

Fuente: (ASTM International , 2018)

Tabla 46 Valores deducidos UM11

NRO	VALORES DEDUCIDOS							VDT	q	VDC
1	48	47	19	9	7			130	5	68
2	48	47	19	9	2			125	4	71
3	48	47	19	2	2			118	3	73
4	48	47	2	2	2			101	2	71
5	48	2	2	2	2			56	1	56
									Max. VDC	73

Fuente: (Elaboración propia)

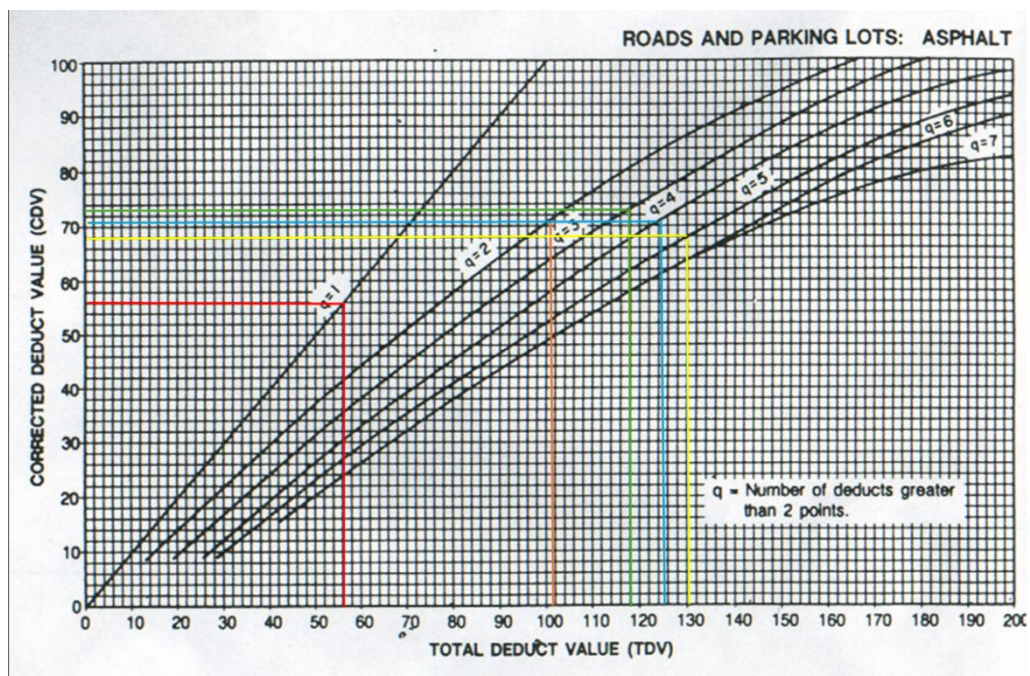


Figura 55 Corrección Valor deducido UM11

Fuente: (ASTM International , 2018)

Tabla 47 Índice de Condición del Pavimento UM11

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTO (PCI)	$PCI = 100 - \text{Max. VCD} =$	27
CONDICION DEL PAVIMENTO	MALO	

Fuente: (Elaboración propia)

5.1.6.2. PCI unidad de muestra 12

Tabla 48 Calculo PCI UM12

CALCULO DEL PCI					Número de valores deducidos > 2(q) Valor deducido mas alto = 90 Número máximo de VD (m) =
Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad	Valor deducido	
7	M	45	19,57%	19	
10	L	5,7	2,48%	1	
13	M	30,25	13,15%	90	
13	H	0,36	0,16%	8	
19	M	130	56,52%	47	
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		
			0,00%		

Fuente: (Elaboración propia)

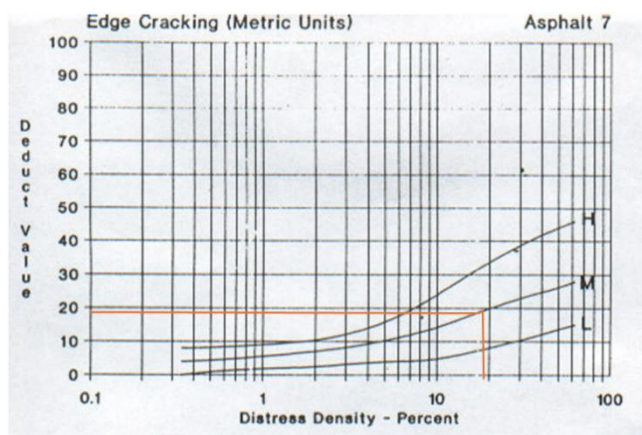


Figura 56 grafica valor deducido grieta de borde UM12

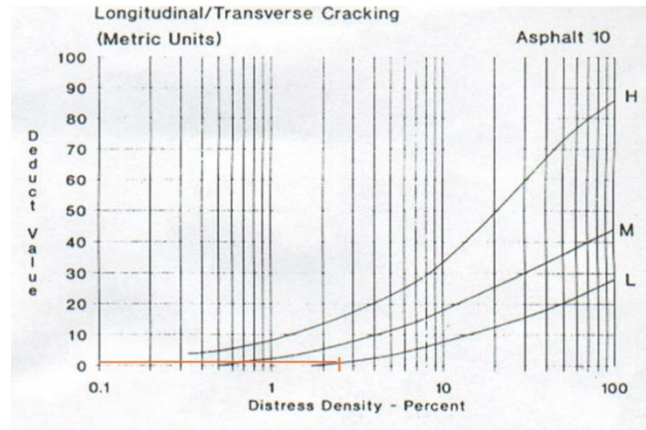


Figura 57 grafica valor deducido grieta long y transversal UM12

Fuente: (ASTM International , 2018)

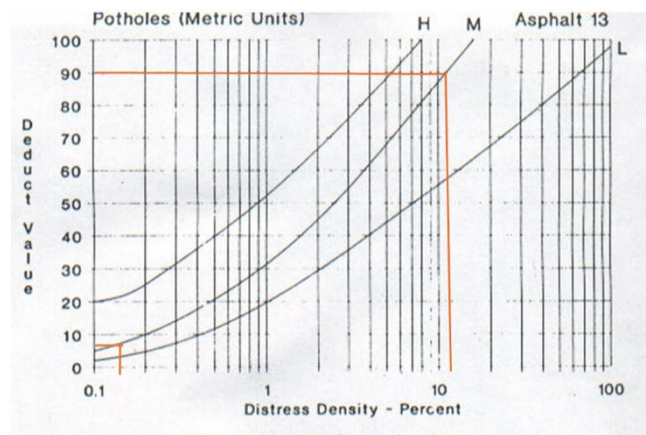


Figura 58 grafica valor deducido huecos UM12

Fuente: (ASTM International , 2018)

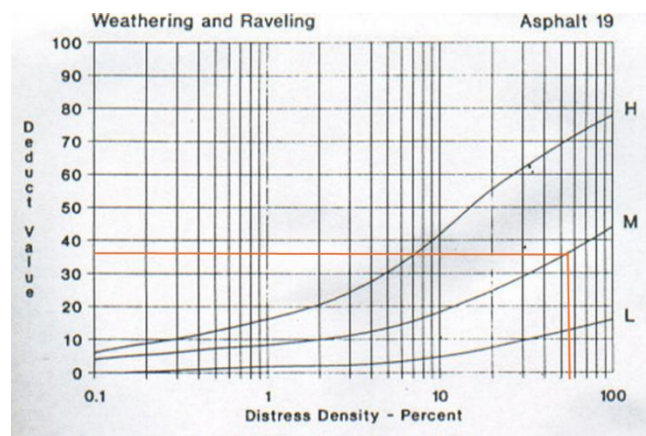


Figura 59 grafica valor deducido desprendimiento de agregados UM12

Fuente: (ASTM International , 2018)

Tabla 49 Valores deducidos UM12

NRO	VALORES DEDUCIDOS						VDT	q	VDC
1	90	47	19	8	8		172	5	82
2	90	47	19	8	2		166	4	84
3	90	47	19	2	2		160	3	87
4	90	47	2	2	2		143	2	92
5	90	2	2	2	2		98	1	98
								Max. VDC	98

Fuente: (Elaboración propia)

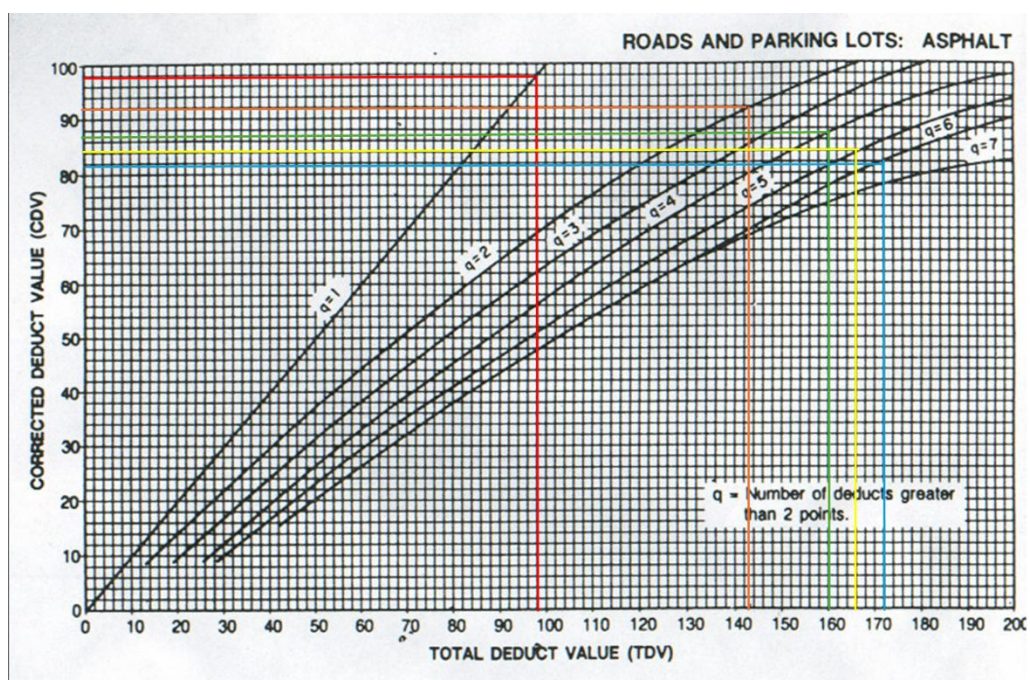


Figura 60 Corrección Valor deducido UM12

Fuente: (ASTM International , 2018)

Tabla 50 Índice de Condición del Pavimento UM12

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTO (PCI)	$PCI = 100 - Max.VCD =$	2
CONDICION DEL PAVIMENTO	FALLADO	

Fuente: (Elaboración propia)

5.2. Presentación de resultados

5.2.1. Resultados de la evaluación del pavimento mediante el PCI en la calzada izquierda

Considerando las variables críticas como los tipos de deterioro, la severidad y la densidad de afectación, se realizó el procesamiento de datos mediante el método PCI. Este procedimiento permitió transformar las observaciones de campo en indicadores numéricos para las unidades de muestreo en estudio para las 6 unidades de muestra que se obtuvieron en el carril izquierdo.

Tabla 51 condición del pavimento carril izquierdo

N°	Progresiva		PCI	Condición
	Inicio	Final		
UM1	0	57,5	86	Excelente
UM3	172,5	230	8	Fallado
UM5	345	402,5	68	Bueno
UM7	517,5	575	19	Muy malo
UM9	690	747,5	48	Regular
UM11	862,5	920	27	Malo

Fuente: (Elaboración propia)

5.2.2. Resultados de la evaluación del pavimento mediante el PCI en la calzada derecha

Tabla 52 condición del pavimento carril derecho

N°	Progresiva		PCI	Condición
	Inicio	Final		
UM2	0	57,5	68	Bueno
UM4	172,5	230	82	Muy bueno
UM6	345	402,5	64	Bueno
UM8	517,5	575	55	Regular
UM10	690	747,5	66	Bueno
UM12	862,5	920	2	Fallado

Fuente: (Elaboración propia)

En la tabla N° 53 se observa en número de muestras que presenta cada condición, así como el porcentaje de calificación, donde la condición que predomina es Bueno.

Tabla 53 porcentaje de calificación de la condición

Condición	N° muestras	Porcentaje
Excelente	1	8%
Muy bueno	1	8%
Bueno	4	33%
Regular	2	17%
Malo	1	8%
Muy malo	1	8%
Fallado	2	17%
	12	100%

Fuente: (Elaboración propia)

5.2.3. Ubicación de las fallas incidentes

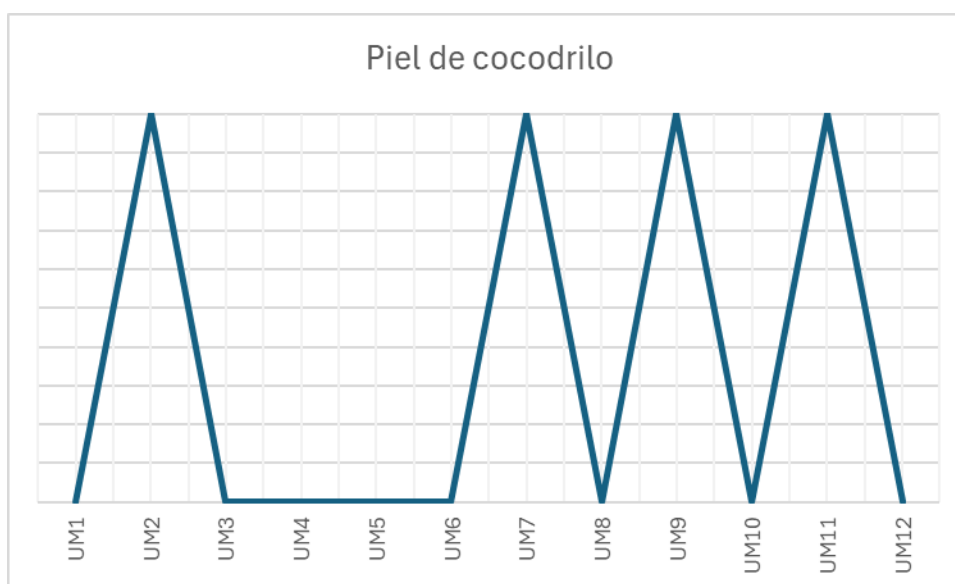


Figura 61 ubicación de las fallas de piel de cocodrilo

Fuente: (Elaboración propia)

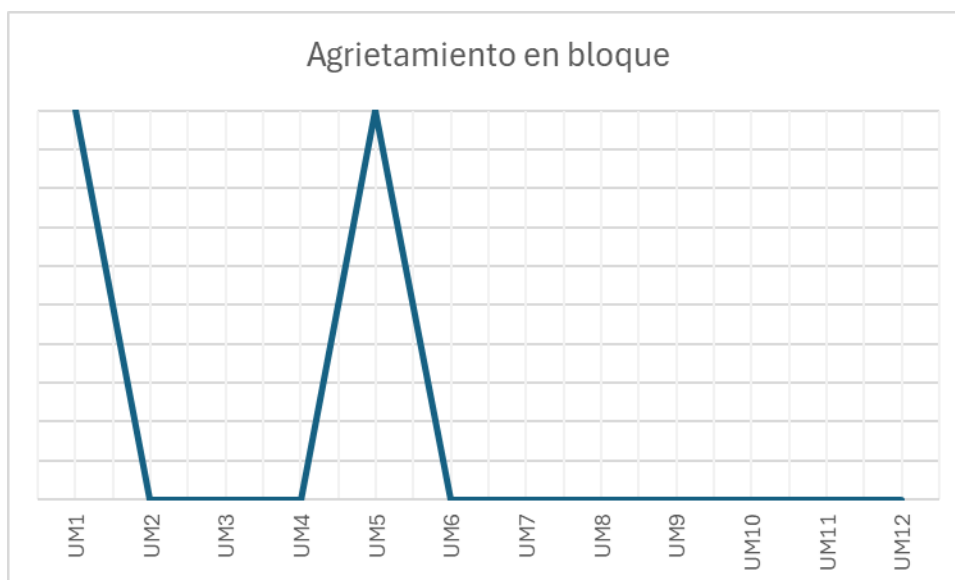


Figura 62 ubicación de las fallas de agrietamiento en bloque

Fuente: (Elaboración propia)

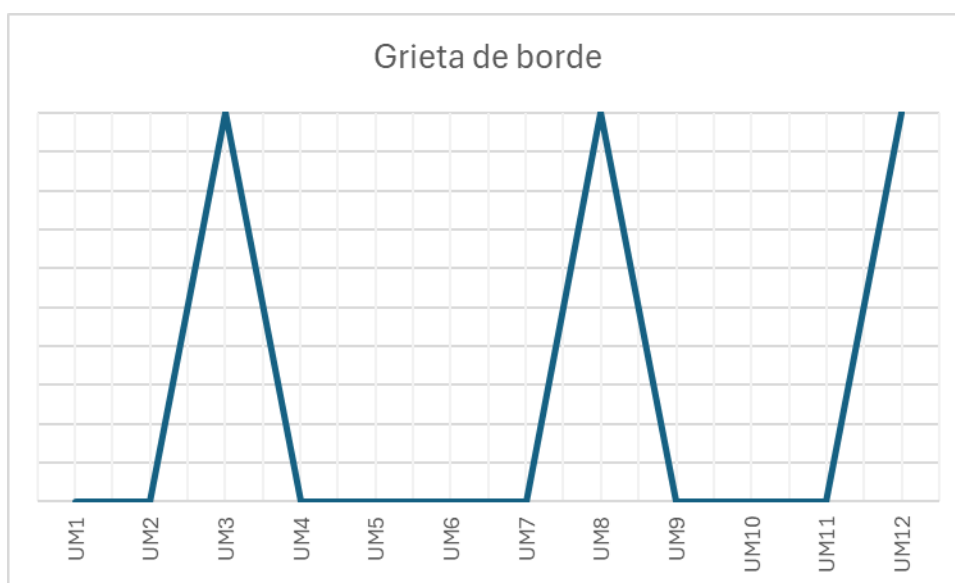


Figura 63 ubicación de las fallas de grieta de borde

Fuente: (Elaboración propia)

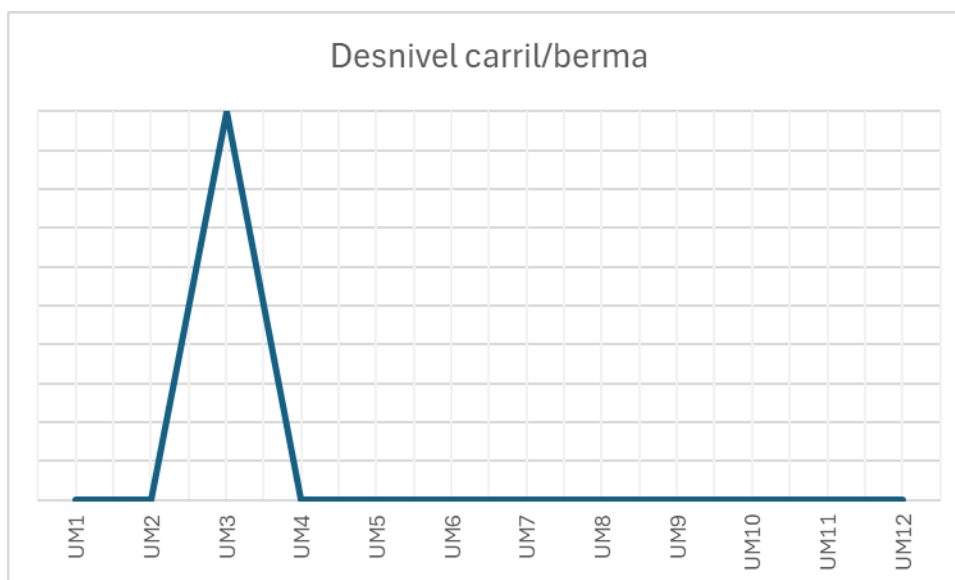


Figura 64 ubicación de las fallas de desnivel carril/berma

Fuente: (Elaboración propia)

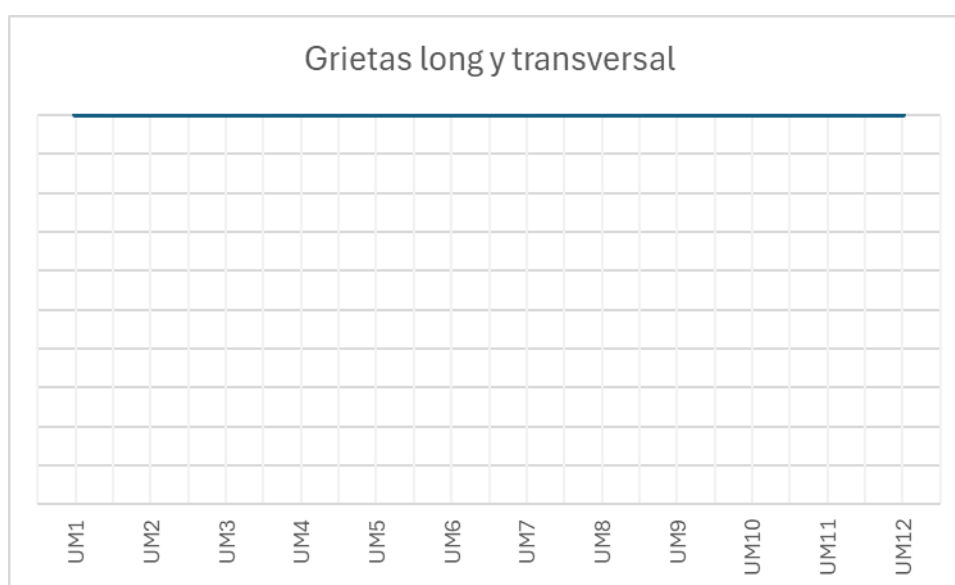


Figura 65 ubicación de las fallas de piel de grietas long y transversal

Fuente: (Elaboración propia)

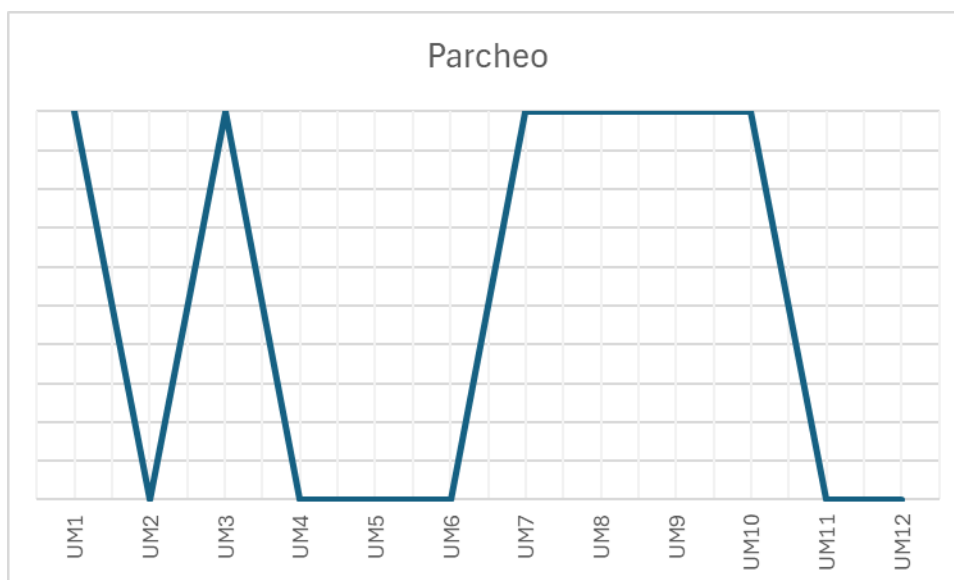


Figura 66 ubicación de las fallas de piel de parcheo

Fuente: (Elaboración propia)

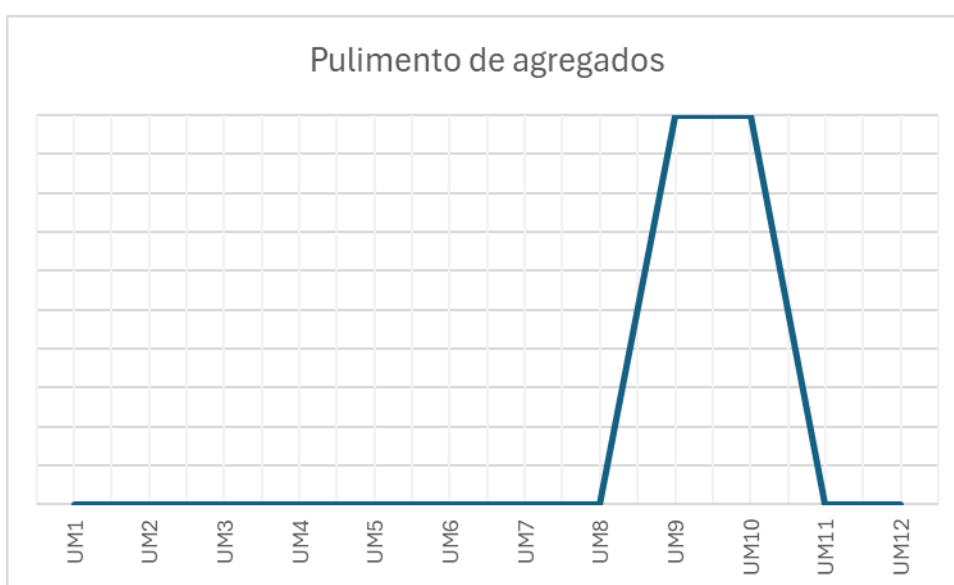


Figura 67 ubicación de las fallas de piel de pulimento de agregados

Fuente: (Elaboración propia)

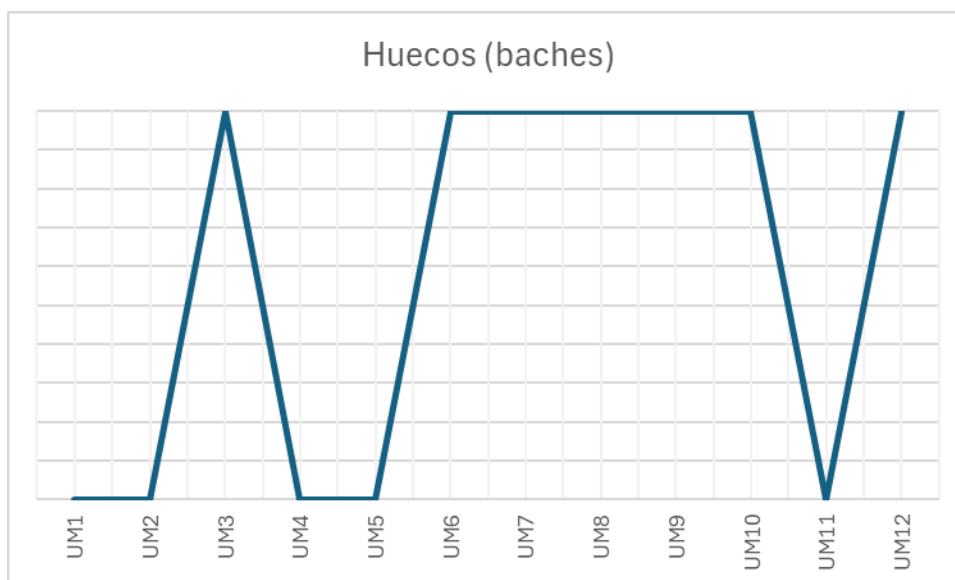


Figura 68 ubicación de las fallas de huecos (baches)

Fuente: (Elaboración propia)

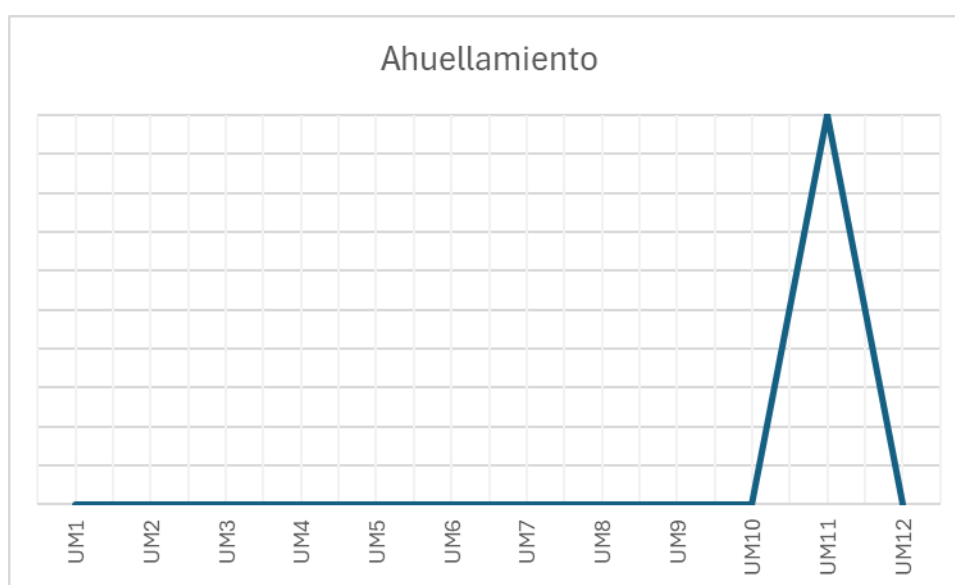


Figura 69 ubicación de las fallas de ahuellamiento

Fuente: (Elaboración propia)

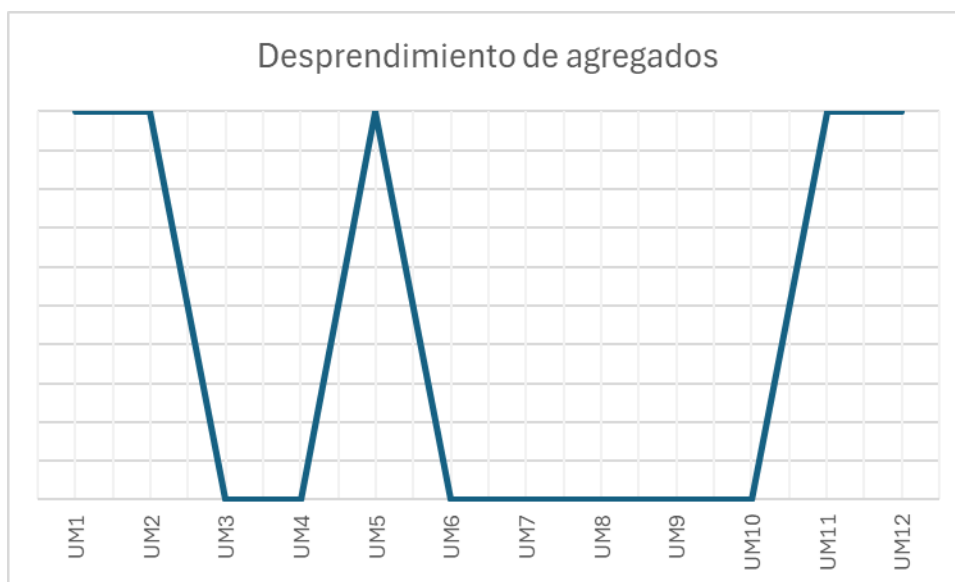


Figura 70 ubicación de las fallas de desprendimiento de agregados

Fuente: (Elaboración propia)

5.3. Determinación del PCI global del tramo

Para obtener el índice representativo del tramo de la Calle 12, se calculó el promedio aritmético de los resultados de las unidades evaluadas obteniendo así los siguientes resultados.

Tabla 54 PCI global del tramo

Unidad de muestreo	PCI Obtenido	Clasificación
UM1	86	Excelente
UM2	68	Bueno
UM3	8	Fallado
UM4	82	Muy bueno
UM5	68	Bueno
UM6	64	Bueno
UM7	19	Muy malo
UM8	55	Regular
UM9	48	Regular
UM10	66	Bueno
UM11	27	Malo
UM12	2	Fallado
Promedio	49,42	Regular

Fuente: (Elaboración propia)

De acuerdo con los rangos establecidos por la normativa ASTM D6433, un valor de 49,42 sitúa al pavimento de la Calle 12 en un estado regular. Este resultado indica que la vía se encuentra en una etapa de deterioro acelerado, siendo este el momento técnico óptimo para intervenir en mantenimiento y evitar que los costos de reparación aumenten drásticamente.

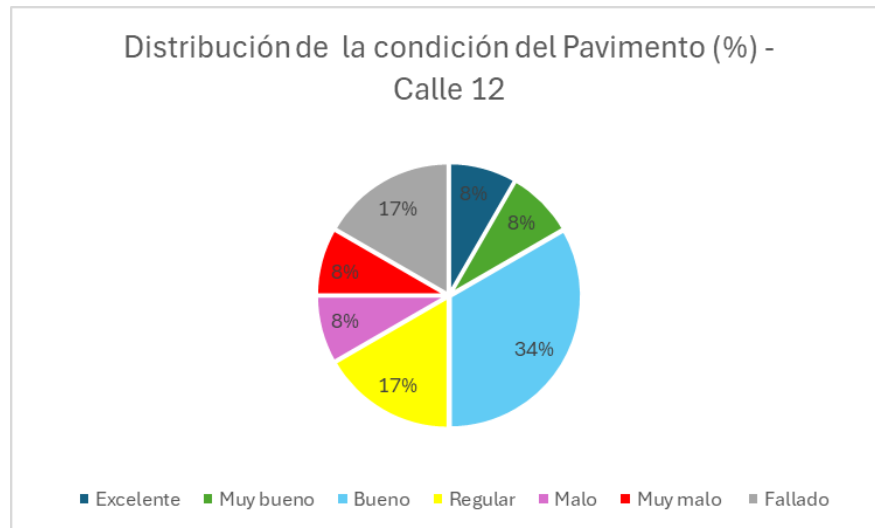


Figura 71 Distribución de la condición del Pavimento (%)

Fuente: (Elaboración propia)

El análisis muestra que, aunque el promedio global de la condición del pavimento es “Regular”, existe una gran disparidad mientras que el 50% de la vía mantiene condiciones aceptables (bueno o superior), un 25% de los tramos evaluados presenta una estructura comprometida

5.4. Propuesta de plan de conservación y mantenimiento

Debido a que el estado de la vía es REGULAR, el plan se divide en tres estrategias según la condición específica de cada tramo:

- Mantenimiento preventivo (Para unidades con PCI > 55): se recomienda el sellado de fisuras (menores a 3mm) con ligante asfáltico y limpieza de drenajes para evitar que la humedad penetre la base.

- Mantenimiento correctivo y Bacheo (Para unidades con PCI entre 40 y 55): requiere de bacheo superficial en zonas con desprendimientos y parcheo de fisuras de severidad media.
- Rehabilitación estructural localizada (Para unidades con $PCI < 40$): dado a que presentan estados de “Malo” a “Fallado”, se requiere de fresado de la carpeta asfáltica y la reconstrucción de la estructura de soporte (base/subbase).

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6. Conclusiones

1. La aplicación de la metodología PCI (ASTM D6433) permitió diagnosticar el estado actual de la Calle 12, obteniendo un índice global de 49,42, lo cual clasifica al pavimento en una condición REGULAR. Este valor indica que la vía ha superado su umbral de mantenimiento preventivo ideal y se ha iniciado una etapa de deterioro acelerado.
2. Se identificó una alta heterogeneidad en el tramo; mientras que el 49% de las unidades evaluadas se encuentran en estado “Bueno” o superior, un 25% del tramo presenta fallas estructurales críticas. Los tipos de daño que predominan fueron las grietas longitudinales y transversales, además de la piel de cocodrilo y baches, los cuales impactan negativamente en la seguridad vial y el confort del usuario.
3. El diagnóstico técnico concluye que la Calle 12 requiere una intervención mixta. No es necesaria una reconstrucción total de los 1094 metros, pero sí es imperativa una rehabilitación profunda en las unidades falladas para evitar así que el daño se extienda por fatiga hacia los sectores que aún conservan la integridad estructural.

7. Recomendaciones

1. Ejecutar de manera inmediata el bacheo profundo y la reconstrucción localizada en las unidades de muestra con un PCI < 40 , ya que presentan un riesgo alto para la seguridad de los conductores y aumentan los costos de operación vehicular.
2. Realizar monitoreos visuales anuales utilizando la metodología PCI para evaluar la progresión del deterioro en las zonas que hoy se encuentran en estado “Bueno”, permitiendo aplicar sellados de fisuras a bajo costo antes de que evolucionen a fallas estructurales costosas.
3. Se recomienda a las autoridades competentes el diseño y construcción de cunetas, sumideros o canales de evacuación de aguas lluvia, debido a que actualmente la vía carece de un sistema de drenaje funcional. La acumulación de agua sobre la superficie y su posterior infiltración hacia las capas inferiores ha sido identificada como un factor determinante en la formación de baches y el fallo estructural de las unidades más afectadas.

8. BIBLIOGRAFÍA

AASHTO. (1993). *Guide for Design of Pavement Structures*. American Association of State Highway and Transportation Officials.

Aguilar Valencia, G. S., & Cruz Flores, M. Y. (2021). "*EVALUACIÓN Y CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES MEDIANTE LOS INDICES DE DESEMPEÑO "PCI" Y "VIZIR" EN LA CARRETERA HUANCACO ENTRE EL TRAMO 11+200 HASTA EL KM 13+100, TRUJILLO 2021*". Obtenido de Universidad Privada del Norte:
<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/27887/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ASTM International . (2018). *ASTM D6433-18: Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys*. West Conshohocken, PA : ASTM International .

Crespo Villalaz . (2010). *Vías de comunicación: Caminos, ferrocarriles, aeropuertos, puentes y puertos*. Limusa.

Garber , & Hoel. (2014). *Traffic and Highway Engineering*. L. A : Cengage Learning .

García Sanz, M. P., & García Meseguer , M. (s.f.). Métodos de investigación cualitativos. En M. P. García Sanz, & M. García Meseguer, *Los métodos de investigación* (pág. 109).

Huang, Y. (2004). *Pavement Analysis and Desing* (Segunda ed.). PEARSON.

Medina, & De la Cruz. (2015). *Evaluación superficial del pavimento flexible del Jr. José Gálvaez del distrito de Lince aplicando el método PCI* . Obtenido de Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

MTOP. (2013). *VOLUMEN N° 3 ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS Y PUENTES*. Obtenido de Ministerio de

Trasnporte y Obras Públicas del Ecuador: https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_3.pdf

Pallasco Catota , J. L. (2018). *Evaluación y propuesta de mantenimiento del pavimento flexible de la Avenida Quevedo en Santo Domingo de los Tsáchilas* . Obtenido de Pontificia Universidad Católica del Ecuador :

<https://repositorio.puce.edu.ec/items/892e4464-f5c4-4480-912d-8379a083a61d>

Rico Rodríguez , & del Castillo . (2006). *La ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres* . Limusa.

Rodríguez González , R. A. (2011). *Modelo de Gestión de Conservación Vial para reducir los costos de Mantenimiento Vial y Operación Vehicular en los Caminos Rurales de la Población de Riobamba. San Luis. FLores. Cebadas de la Provincia de Chimborazo*. Obtenido de Universidad Técnica de Ambato :

<https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/a9bb65da-7570-4262-b9c3-08fd2661563c/content>

Rodríguez Molina, & Rodríguez Mineros . (6 de Noviembre de 2012). *Evaluación y Rehabilitación de Pavimentos Flexibles por el Método del Reciclaje* . Obtenido de Universidad del Salvador :

http://ri.ues.edu.sv/2234/1/Evaluaci%C3%B3n_y_rehabilitaci%C3%B3n_de_pa

Saucedo Vidal , A. (Agosto de 2010). *Concreto hidráulico permeable, una alternativa para la recarga de los mantos acuíferos del valle de Mexico* . Obtenido de Universidad Nacional Autónoma de México :

https://tesiunamdocumentos.dgb.unam.mx/ptb2010/agosto/0660070/0660070_A1.pdf

SOYPM. (s.f.). *Gestión del CRONOGRAMA PMBOK 6*. Obtenido de SOYPM:

https://www.soypm.website/area-de-conocimiento/gestion-del-cronograma/#google_vignette

The Asphalt Institute. (2007). *The Asphalt Handbook (MS-4)* .

Vásquez Varela, L. R. (Febrero de 2002). *PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI) PARA PAVIMENTOS ASFÁLTICOS Y DE CONCRETO EN CARRETERAS*. Obtenido de Ingeniería de Pavimentos : <https://sjnavarro.wordpress.com/wp-content/uploads/2008/08/manual-pci1.pdf>

9. ANEXOS

9.1. Fotografías de las fallas encontradas

9.1.1. Fallas UM1



Fuente: (Elaboración propia)

9.1.2. Fallas UM3 y UM4



Fuente: (Elaboración propia)



Fuente: (Elaboración propia)



9.1.3. Fallas UM5 y UM6





Fuente: (Elaboración propia)

9.1.4. Fallas UM7 y UM8



Fuente: (Elaboración propia)

9.1.5. Fallas UM9 y UM10





Fuente: (Elaboración propia)

9.1.6. Fallas UM11 y UM12





Fuente: (Elaboración propia)