



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO MEDIANTE PCI EN LA
VÍA 16 DE JULIO DE LA COMUNA PALMAR, CANTÓN SANTA ELENA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniero Civil

AUTOR: LUIS ANDRES DELGADO PALMA

TUTOR: ING. LEONARDO ECHEVERRIA FABRE, DBA.

GUAYAQUIL - ECUADOR

2025

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Luis Andrés Delgado Palma, con documento de identificación N.º 2450082736, manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y autorizo a que, sin fines de lucro, la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 31 de julio del año 2025

Atentamente,



Luis Andrés Delgado Palma

2450082736

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Luis Andrés Delgado Palma, con documento de identificación N.º 2450082736, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto Técnico: “EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO MEDIANTE PCI EN LA VÍA 16 DE JULIO DE LA COMUNA PALMAR, CANTÓN SANTA ELENA”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 31 de julio del año 2025

Atentamente,



Luis Andrés Delgado Palma

2450082736

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Leonardo Javier Echeverría Fabre, con documento de identificación N.º 0902190883, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO MEDIANTE PCI EN LA VÍA 16 DE JULIO DE LA COMUNA PALMAR, CANTÓN SANTA ELENA**, realizado por Luis Andrés Delgado Palma, con documento de identificación N.º 2450082736, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico, el cual cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 31 de julio del año 2025

Atentamente,



Ing. Leonardo Echeverría Fabre, DBA.

AGRADECIMIENTO

Deseo manifestar mi más sincero agradecimiento a aquellos que participaron en este proceso educativo, brindándome su respaldo y seguimiento en cada fase. De forma particular, expreso mi agradecimiento al Ing. Leonardo Javier Echeverría Fabre, no solo por su continua guía y dedicación a la educación profesional, sino también por su paciencia, claridad en la instrucción, y por inculcar en mí una perspectiva crítica y técnica ante los retos del área de la ingeniería civil.

Su orientación resultó fundamental para consolidar los saberes obtenidos y para conservar la motivación en los momentos más exigentes de este trabajo de titulación.

No menos importante, también agradezco a aquellos que, con su presencia, respaldo o palabra de aliento, contribuyeron al trayecto que hoy comparto con gratitud.

DEDICATORIA

A mis padres, Luis Delgado y Clara Palma, les dedico este éxito con todo mi corazón. Su amor incondicional, su respaldo silencioso pero constante, y su inquebrantable confianza en mí han sido el impulso que me motivó a seguir adelante, incluso en las situaciones más adversas. Agradezco que me enseñen la importancia del esfuerzo, la humildad y la constancia. Todo lo que he logrado en este trayecto académico se basa en los principios y el cariño que me han ofrecido desde siempre.

A mis abuelitos, tanto presentes como ausentes, que con su dedicación Y sabiduría formaron mi vida. A pesar de que algunos ya no estén esencialmente presentes, siempre los conservo en mi memoria y en cada paso que doy.

Y a mis tíos, por su respaldo incesante, sus palabras de aliento y por estar a mi lado durante este recorrido. Agradezco que estuviste presente cuando más lo requería.

Este éxito es una muestra del amor y la confianza que todos ustedes depositaron en mí.

RESUMEN

Este análisis se fundamentó en un análisis exhaustivo del estado del pavimento flexible de la calle 16 de Julio en la comuna de Palmar del cantón Santa Elena, con el objetivo de implementar el método PCI (Índice de Condición del Pavimento) y crear un diagnóstico técnico acciones que servirán de fundamento para futuras de conservación y rehabilitación.

El protocolo implicó una identificación visual sistemática de fallas, categorización de las fallas en función de su tipo y nivel de gravedad, y el cálculo del índice PCI por unidad de muestreo siguiendo la metodología especificada por la norma ASTM D6433. Basándonos en los resultados logrados, se diseñan estrategias de explotación técnica distintas dependiendo del grado de deterioro, fomentando acciones correctivas en zonas críticas y preventivas en las que se han producido daños iniciales.

Este trabajo posibilitó no solo una descripción técnica de la condición del pavimento, sino también el entendimiento del enfoque metodológico empleado que puede ser replicado en otros contextos locales con atributos parecidos. Además, se evidencia la capacidad del método PCI como herramienta de mejora de la administración de vías a escala comunitaria para una toma de decisiones apropiadas, para la asignación de prioridad a las acciones de mantenimiento y prevención, y para la distribución lógica de recursos para invertir en infraestructura del dominio público.

Palabras clave: Pavimento flexible, índice PCI, evaluación vial, deterioro del pavimento, mantenimiento vial, conservación de carreteras, diagnóstico técnico, gestión de infraestructura.

ABSTRACT

This analysis was based on a comprehensive assessment of the condition of the flexible pavement on 16 de Julio Street in the Palmar commune of the Santa Elena canton. The objective was to implement the PCI (Pavement Condition Index) method and create a technical diagnosis that will serve as the basis for future conservation and rehabilitation actions.

The protocol involved systematic visual identification of defects, categorization of defects based on their type and severity, and calculation of the PCI index per sampling unit following the methodology specified by ASTM D6433.

Based on the results achieved, different technical exploitation strategies were designed depending on the degree of deterioration, promoting corrective actions in critical areas and preventive actions where initial damage occurred.

This work enabled not only a technical description of the pavement condition but also an understanding of the methodological approach used, which can be replicated in other local contexts with similar attributes. Furthermore, the PCI method's potential as a tool for improving road management at the community level is demonstrated, enabling appropriate decision-making, prioritizing maintenance and prevention actions, and allocating resources logically for investment in public infrastructure.

Keywords: Flexible pavement, PCI index, road assessment, pavement deterioration, road maintenance, road upkeep, technical diagnosis, infrastructure management.

INDICE

CAPÍTULO I.....	21
1.1 Introducción	21
1.2 Problema	25
1.2.1 Problema de estudio	25
1.3 Objetivos	28
1.3.1 Objetivo general.....	28
1.3.2 Objetivos Específicos.....	28
1.4 Delimitación del tema	29
1.4.1 Delimitación espacial.....	29
1.4.2 Delimitación temporal.....	30
1.5 Justificación.....	30
1.6 Marco hipotético	34
1.6.1 Hipótesis principal	34
1.6.2 Hipótesis secundaria.....	35
1.7 Ubicación	35
CAPITULO II	37
2.1 Marco teórico	37
2.2 El pavimento	37

2.3 Clasificación del Pavimento.....	37
2.3.1 Pavimento Flexible.....	37
2.3.2 Pavimento Rígido.....	38
2.4 Componentes Estructurales del Pavimento.....	38
2.4.1 Capa de rodadura.....	39
2.4.2 Capa base	40
2.4.3 Subbase (cuando es requerida).....	40
2.4.4 Subrasante	41
2.5 Funciones del Pavimento	42
2.5.1 Distribuir las cargas del tránsito vehicular.....	43
2.5.2 Brindar una superficie de rodadura uniforme y segura.....	43
2.5.3 Proteger las capas inferiores del agua superficial	44
2.5.4 Reducir los costos operativos del transporte	44
2.5.5 Facilitar el drenaje superficial.....	45
2.6 Índice de condición del pavimento (PCI).....	45
2.7 Fallas del pavimento Flexible según el PCI.....	47
2.7.1 Piel de cocodrilo.....	47
2.7.2 Exudación.....	47
2.7.3 Grietas en bloque.....	48
2.7.4 Abultamientos y hundimientos.....	48

2.7.5	Corrugación.....	49
2.7.6	Depresión	49
2.7.7	Grietas de borde	50
2.7.8	Grietas de reflexión de junta	51
2.7.9	Grietas longitudinales y transversales.....	51
2.7.10	Parcheo.....	52
2.7.11	Pulimento de agregados	52
2.7.12	Huecos (patoles).....	53
2.7.13	Cruce de vía férrea	53
2.7.14	Ahuellamiento (rutting).....	54
2.7.15	Desplazamiento (shoving).....	54
2.7.16	Grietas parabólicas (slippage).....	55
2.7.17	Hinchamiento (swell).....	55
2.7.18	Meteorización / desprendimiento de agregados.....	56
2.7.19	Desnivel entre carril y berma	56
2.8	Fallas del pavimento rígido según el PCI	57
2.9	Equipamiento necesario para la aplicación del método PCI.....	59
2.10	Procedimiento de Evaluación de la Condición del Pavimento	59
2.10.1	Inspección visual y recolección de datos	60
2.10.2	Medición de deterioros y criterios técnicos	61

2.10.3 Selección y validación de unidades de muestreo	61
2.10.4 Cálculo del PCI por unidad.....	62
2.11 Determinación del PCI de la sección vial	64
CAPITULO III – METODOLOGÍA	65
3.1 Marco metodológico	65
3.1.1 Diseño de la investigación	65
3.1.2 Nivel de investigación.....	66
3.1.3 Método de investigación	66
3.2 Población.....	67
3.3 Muestra.....	68
3.3.1 Justificación del tamaño de muestra	68
3.3.2 Segmentación de la vía.....	69
3.3.3 Intervalo del espaciamiento de las unidades	70
3.3.4 Información general de la vía y parámetros de inspección	71
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	71
3.5. Aplicación del método PCI en el tramo 1	74
3.5.1 Determinación de las fallas y registro de severidad.....	74
3.5.2 Cálculo de densidades	76
3.5.3 Cálculo del valor deducido.....	77
3.5.4 Determinación del número máximo de valores deducidos (q máx.).....	81

3.5.5 Cálculo del Valor Deducido Corregido (VDC) y del PCI final.....	82
CAPITULO IV.....	84
4.1 Evaluación de la condición del pavimento por unidad de muestreo.....	84
4.2 unidad de muestreo 1 – tramo 1 - abscisa desde 0+000 / 0+040	86
4.2.1 Valores deducidos de la unidad de muestreo 1.....	87
4.2.2 Valores corregidos de la unidad de muestreo 1	89
4.3 Unidad de muestreo 2 – Tramo 4 – Abscisa: 0+120 / 0+160.....	90
4.3.1 Valores deducidos de la unidad de muestreo 2.....	91
4.2.2 Valores corregidos de la unidad de muestreo 2.....	92
4.4 Unidad de muestreo 3 – Tramo 7 – Abscisa: 0+240 / 0+280.....	93
4.2.2 Valores corregidos de la unidad de muestreo 3.....	95
4.5 Unidad de muestreo 4 – Tramo 10 – Abscisa: 0+360 / 0+400.....	96
4.6 Unidad de muestreo 5 – Tramo 13 – Abscisa: 0+480 / 0+520.....	98
4.7 Unidad de muestreo 6 – Tramo 16 – Abscisa: 0+600 / 0+640.....	100
4.8 Unidad de muestreo 7 – Tramo 19 – Abscisa: 0+720 / 0+760.....	102
4.9 Unidad de muestreo 8 – Tramo 22 – Abscisa: 0+840 / 0+880.....	104
4.10 Unidad de muestreo 9 – Tramo 25 – Abscisa: 0+960 / 1+000.....	107
4.11 Unidad de muestreo 10 – Tramo 28 – Abscisa: 1+080 / 1+120.....	109
4.12 Unidad de muestreo 11 – Tramo 31 – Abscisa: 1+200 / 1+240.....	111
4.13 Unidad de muestreo 12 – Tramo 34 – Abscisa: 1+320 / 1+360.....	113

4.14 Análisis global y comparativo de los tramos.....	115
4.14.1 Distribución del PCI por tramo evaluado con línea de promedio general	115
4.14.2 Clasificación de los tramos según el rango del índice PCI y resumen de resultados globales	118
CONCLUSIONES	119
RECOMENDACIONES	120
ANEXOS.....	122

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación del proyecto.....	36
figura 2: Componentes del pavimento	38
figura 3: Falla piel de cocodrilo	47
figura 4: Falla de exudación.....	48
figura 5: Falla grietas en bloque.....	48
Figura 6. Falla de abultamiento.....	49
Figura 7. Falla de corrugación	49
Figura 8. Falla de depresión	50
Figura 9. Falla grietas de borde.....	50
Figura 10. Falla grietas de junta.....	51
Figura 11. Falla grietas longitudinales y transversales	51
Figura 12. Falla de parcheo.....	52
Figura 13. Falla pulimento de agregados	52
Figura 14. Falla tipo huecos	53
Figura 15. Falla cruce de vía férrea.....	53
Figura 16. Falla tipo ahuellamiento	54
Figura 17. Falla de desplazamiento.....	54
Figura 18. Falla tipo grietas parabólicas	55

Figura 19. Falla tipo hinchamiento	55
Figura 20. Falla de meteorización.....	56
Figura 21. Falla desnivel entre carril y berma.....	56
Figura 22. Ficha 1 de registro de daños – Pavimento flexible	62
Figura 23. Ficha 2 de registro de daños – Pavimento rígido.....	63
Figura 24: Curva para el valor de deducción del deterioro “piel de cocodrilo” ..	77
Figura 25: Curva para el valor de deducción del deterioro “Exudación”	78
Figura 26: Curva para el valor de deducción “abultamiento y hundimientos” ..	78
Figura 27: Curva para el valor de deducción del deterioro “depresión”	79
Figura 28: Curva para el valor de deducción del deterioro “Grieta de borde” ...	79
Figura 29: Curva para el valor de deducción del deterioro “agregado pulido” ..	80
Figura 30: Curva para el valor de deducción del deterioro “baches”	80
Figura 31. Ábaco para piel de cocodrilo – Muestreo 1	87
Figura 32. Ábaco para depresión – Muestreo 1	87
Figura 33. Ábaco para exudación – Muestreo 1	87
Figura 34. Ábaco para baches – Muestreo 1	87
Figura 35. Ábaco para abultamiento y hundimientos – Muestreo 1	88
Figura 36. Ábaco para fisura de borde – Muestreo 1	88
Figura 37. Ábaco para pulimento de agregados – Muestreo 1.....	88
Figura 38. Ábaco para corrección TDV – Muestreo 1	89

Figura 39. Ábaco para piel de cocodrilo – Muestreo 2.....	91
Figura 40. Ábaco para pulimento de agregados – Muestreo 2.....	91
Figura 41. Ábaco para grieta de borde – Muestreo 2.....	91
Figura 42. Ábaco para desprendimiento de agregados – Muestreo 2.....	91
Figura 43. Ábaco para corrección TDV – Muestreo 2.....	92
Figura 44. Ábaco para piel de cocodrilo – Muestreo 3.....	94
Figura 45. Ábaco para peladura de agregados – Muestreo 3.....	94
Figura 46. Ábaco para abultamiento y hundimiento – Muestreo 3.....	94
Figura 47. Ábaco para desprendimiento de agregados – Muestreo 3.....	94
Figura 48. Ábaco para corrección TDV – Muestreo 3.....	95
Figura 49. Ábaco para corrección TDV – Muestreo 4.....	97
Figura 50. Ábaco para corrección TDV – Muestreo 5.....	99
Figura 51. Ábaco para corrección TDV – Muestreo 6.....	101
Figura 52. Ábaco para corrección TDV – Muestreo 7.....	103
Figura 53. Ábaco para corrección TDV – Muestreo 8.....	105
Figura 54. Ábaco para corrección TDV – Muestreo 9.....	108
Figura 55. Ábaco para corrección TDV – Muestreo 10.....	110
Figura 56. Ábaco para corrección TDV – Muestreo 11.....	112
Figura 57. Ábaco para corrección TDV – Muestreo 12.....	114
Figura 58. Gráfico comparativo del Índice PCI por tramo.....	116

Figura 59. Distribución porcentual de la condición del pavimento	117
Figura 60. Depresión en el tramo 1 (Abscisa: 0+000 / 0+040).....	122
Figura 61. Piel de cocodrilo en el tramo 1 (Abscisa: 0+000 / 0+040)	122
Figura 62. Bache en el borde del pavimento (Abscisa: 0+000 / 0+040).....	122
Figura 63. Piel de cocodrilo (Abscisa: 0+120 / 0+160).....	122
Figura 64. Desprendimiento de agregados (Abscisa: 0+120/ 0+160).....	123
Figura 65. Piel de cocodrilo (Abscisa: 0+240/ 0+280).....	123
Figura 66. Pulimento de agregados 3 (Abscisa: 0+240/ 0+280).....	123
Figura 67. Parcheo en la unidad de muestreo 4 (Abscisa: 0+360 / 0+400)	123
Figura 68. Pulimento de agregados (Abscisa: 0+360 / 0+400).....	124
Figura 69. Piel de cocodrilo (Abscisa: 0+720 / 0+760).....	124
Figura 70. Abultamiento y hundimiento (Abscisa: 0+840 / 0+880)	124
Figura 71. Desprendimiento de agregados (Abscisa: 0+960/ 1+000).....	124
Figura 72. Grieta longitudinal (Abscisa: 1+080 / 1+120).....	125
Figura 73. Piel de cocodrilo de (Abscisa: 1+200 / 1+240)	125
Figura 74. Medición de los tramos mediante odómetro.....	125
Figura 75. Identificación de fallas en el pavimento	125

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Coordenadas del proyecto.	36
Tabla 2: Tipos de fallas del pavimento de concreto.	57
Tabla 3: Equipos a utilizar en el método de PCI.	59
Tabla 4: Medidas de longitud para muestreo.	60
Tabla 5: Tabla valores deducidos del PCI.	64
Tabla 6: información general de la vía.	71
Tabla 7: Instrumentos de recolección de datos.	72
Tabla 8: unidad de muestreo 1.	75
Tabla 9: Suma total de las fallas existentes.	75
Tabla 10: densidad de las fallas del tramo.	76
Tabla 11: Valor deducido en base a la densidad.	77
Tabla 12: Cálculo del valor deducido máximo.	82
Tabla 13: Corrección del VDT mediante el método de valores deducidos	83
Tabla 14: Ficha técnica de evaluación PCI – Unidad de muestreo 1.	86
Tabla 15. Ficha técnica de evaluación PCI – Unidad de muestreo 2.	90
Tabla 16. Ficha técnica de evaluación PCI – Unidad de muestreo 3.	93
Tabla 17. Ficha técnica de evaluación PCI – Unidad de muestreo 4.	96
Tabla 18. Ficha técnica de evaluación PCI – Unidad de muestreo 5.	98
Tabla 19. Ficha técnica de evaluación PCI – Unidad de muestreo 6.	100

Tabla 20. Ficha técnica de evaluación PCI – Unidad de muestreo 7.	102
Tabla 21. Ficha técnica de evaluación PCI – Unidad de muestreo 8.	104
Tabla 22. Ficha técnica de evaluación PCI – Unidad de muestreo 9.	107
Tabla 23. Ficha técnica de evaluación PCI – Unidad de muestreo 10.	109
Tabla 24. Ficha técnica de evaluación PCI – Unidad de muestreo 11.	111
Tabla 25. Ficha técnica de evaluación PCI – Unidad de muestreo 12.	113
Tabla 26: Resumen de la condición del pavimento por tramo evaluado.....	118

CAPÍTULO I

1.1 Introducción

Las vías de transporte son un factor esencial para el progreso local, contribuyen con la comunicación entre centros y el funcionamiento de las actividades sociales y económicas. Una red vial desarrollada no solo permite el acceso a servicios, sino también el comercio y el turismo. Fortaleciendo las conexiones urbano-rurales. En esta situación las calles, las carreteras secundarias y terciarias cumplen un papel muy importante en los territorios rurales y litorales, donde el flujo diario de personas, y productos depende de manera directa en el estado de una vía.

Palmar es una comuna costera que pertenece al cantón Santa Elena. Muchos de sus habitantes se dedican esencialmente de la pesca y el turismo. La avenida 16 de Julio es la calle principal, y por ende pasa la mayoría del tráfico del sector. Conecta barrios, zonas turísticas y también conecta a lugares importantes y estratégicos como escuelas, centros de salud y el mercado. En consecuencia, el estado de la vía perjudica de manera directa a quienes viven en esta comunidad.

Pero con el tiempo, la exposición ambiental de la costa, combinada con una capacidad de carga creciente de varios tipos de vehículos, como unidades de distribución de mercancías pesadas y transporte turístico, han deteriorado progresivamente el pavimento. Los problemas de infraestructura son fácilmente observables en forma de baches, grietas, des laminación, deformación y desgaste de textura. Estas fallas degradan tanto la comodidad como la garantía de seguridad durante el movimiento, desarrollan riesgos de accidentes, reducen la velocidad de viaje y resultan en un aumento del mantenimiento en carretera del vehículo.

El problema mencionado puede empeorar aún más debido a la falta de un programa de revisión regular programado y, en particular, por la atención de investigaciones técnicas que ofrezcan un procedimiento objetivo y sistemático para evaluar la condición real del pavimento. La falta de diagnósticos evolutivos es, en cierta medida, lo que ha obstaculizado al gobierno local la elaboración de planos eficaces, dejándolos con intervenciones paliativas que no tratan de forma esencial los elementos que causan el deterioro. Por fin, resulta esencial aplicar un enfoque consistente y normalizado que posibilite medir tanto el deterioro del pavimento como la importancia de las reparaciones requeridas.

En este escenario, este documento propone emplear el método PCI (Índice de Condición del Pavimento) como el instrumento principal de evaluación. Este índice, creado bajo la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM D6433), ha sido unificado a nivel global y en la actualidad se utiliza como referencia técnica para valorar la condición de preservación de pavimentos flexibles y rígidos, especialmente para la red de carreteras urbanas y rurales. Su utilización depende de una revisión visual minuciosa, que, en función del tipo de avería, su nivel de deterioro y su amplitud en toda la sección de la carretera en estudio, permite obtener un valor numérico que oscila entre cero y cien, que refleja la condición del pavimento funcional.

El PCI se avala por su utilidad práctica, uso en el terreno con instrumentos sencillos y la utilización de datos visualizados para generar información cuantificada para la toma de decisiones. Además, posibilita la creación de un indicador singular para la valoración técnica de los pavimentos y el seguimiento de su rendimiento a través del tiempo, facilitando también la comparación entre distintas secciones de vía y la organización de acciones a corto, mediano y largo plazo.

La carretera 16 de Julio debe ser examinada como un inicio para mejorar el entendimiento del comportamiento del pavimento asfáltico y, basándose en los hallazgos logrados, sugerir una variedad de métodos alternativos de mantenimiento o rehabilitación que se puedan aplicar a cualquier categoría o tipo de superficie, dependiendo del nivel de deterioro. Esta información resultará beneficiosa para las autoridades de administración de vías del cantón de Santa Elena, puesto que se otorgará prioridad a los segmentos esenciales, se orientarán los recursos de forma más eficaz y se potenciará la sostenibilidad de la inversión en infraestructura.

Además, la actual investigación posee un enfoque prácticamente social. El estado de las carreteras afecta el acceso público a servicios de salud, educación, abastecimiento y esparcimiento, particularmente en comunidades desfavorecidas sin medios de transporte propios. Además, impacta en la percepción global de los turistas, lo que promueve el crecimiento turístico de la zona.

Así pues, el mejoramiento de las infraestructuras viales no debe ser visto únicamente como una actividad técnica, sino que también debe interpretarse como una actividad que ayude a incrementar la equidad territorial, la competitividad económica y las condiciones de vida. Este proyecto se evidenció metodológicamente: una etapa inicial de identificación y luego delimitación de las unidades de muestra en la sección, uso de las hojas de inspección basadas en los tipos de PCI y el valor de deducción, y determinación del índice final en relación a cada sección.

Luego, se debatieron los hallazgos y algunas acciones fundamentadas en la magnitud del deterioro para clasificar la condición de la carretera en categorías como excelente, buena, regular, mala y fallida.

Esto no solo facilitará un análisis técnico de una sección estudiada, sino que también producirá una producción metodológica replicable en otras vías del cantón o provincia,

conduciendo a la instauración de una cultura de administración vial más proactiva, organizada y fundamentada en pruebas. Es posible pensar que, en zonas rurales o en la comunidad de Palmar, donde la capacidad de inversión en infraestructura no es elevada, la prioridad en cuanto a intervenciones es un principio fundamental para un uso eficaz y justo del presupuesto público.

Finalmente, este análisis busca aportar a la consolidación de la ingeniería vial local, fomentando la implementación de metodologías internacionales adaptadas a la situación nacional y el crecimiento de profesionales capaces de hacer accesible la adopción de criterios técnicos para tratar problemas actuales que impactan la seguridad en la movilidad, la seguridad en las vías y el desarrollo sostenible. Se deduce que, considerando que el pavimento que constituye la carretera 16 de julio necesita una evaluación exhaustiva de la condición de la vía en la gestión de la red de caminos que se pretende administrar, como paso inicial hacia una red de caminos seguros, operativas y de larga duración.

1.2 Problema

1.2.1 Problema de estudio

En cuanto a la infraestructura de carreteras, los caminos secundarios desempeñan un papel crucial en el sistema de movilidad, tanto en zonas rurales como en las zonas litorales. La utilización de rutas secundarias consigue vincular diversas comunidades, facilitando el acceso a servicios fundamentales, el traslado de productos autóctonos y la actividad turística.

Las vías secundarias son un componente esencial del sistema de transporte, especialmente en las zonas rurales y costeras. Conservan los vínculos entre comunidades, la disponibilidad de servicios, la distribución de productos autóctonos y el crecimiento del turismo. En este contexto, la Ruta 16 de Julio, una vía frecuentemente utilizada que cruza la parroquia de Palmar en el cantón Santa Elena, representa una ruta ventajosa que une zonas residenciales, escuelas, negocios, playas y zonas productivas para el sector turístico y los pescadores artesanales.

Sin embargo, el pavimento asfáltico de esta carretera ha estado sufriendo un deterioro progresivo con el tiempo, lo que ha impactado negativamente en la operación de la vía. Se detectan diversas averías tanto superficiales como estructurales, tales como fisuras, fisuras, pérdida de material, surcos y deformaciones, que disminuyen la capacidad de funcionamiento del pavimento, lo que supone un peligro para la seguridad de los usuarios de la carretera. Estas condiciones rigen tanto a vehículos de tamaño reducido como al transporte público y a las unidades de carga, provocando interrupciones en el tráfico, prolongación del trayecto, daños mecánicos en los vehículos y riesgo vial.

Respecto a la red de carreteras, la relevancia de las vías secundarias es crucial para el sistema de movilidad, especialmente en contextos rurales y/o costeros. Cuando operan, promueven

la conexión comunitaria, el acceso a servicios fundamentales, la distribución de productos autóctonos y el impulso del turismo.

Dentro de este marco, la vía 16 de Julio, una de tercer orden situada en la comuna de Palmar, cantón Santa Elena, adopta una ruta de relevancia estratégica, facilitando la conexión de áreas residenciales, centros educativos, comercio, costa y zonas productivas relacionadas principalmente con la pesca artesanal y el turismo.

En años recientes, se ha manifestado el deterioro gradual del asfalto que compone esta ruta, afectando de manera significativa su operatividad. Durante el recorrido, existen numerosas averías de superficie y estructura, tales como fisuras, fisuras, deslaminación, roderas, deformaciones, entre otras, que no solo disminuyen el rendimiento del pavimento, sino que también ponen en riesgo la seguridad de los vehículos. Estas circunstancias inciden en el transporte público, los vehículos de carga y los automóviles personales, provocando de esta manera alteraciones en el tráfico, incrementando el tiempo de desplazamiento y ocasionando daños mecánicos en los vehículos.

La existencia de averías resultó en tiempos de viaje más extensos, un incremento en el consumo de combustible y una mayor regularidad en los mantenimientos de los vehículos. El resultado fue un impacto claro en la economía local, ya que se encuentra impactada. Los usuarios de esta vía (habitantes, transportistas, turistas) se encuentran con una carretera deteriorada, lo que reduce la productividad de áreas económicas en periodos en los que podría llegar a su máximo nivel (temporada de turismo o comercio).

El clima de la zona costera, que sufrió intensas precipitaciones y elevada humedad, también agravó las dificultades. El agua que se infiltraba en la superficie del pavimento mediante grietas y grietas agudizó la degradación del pavimento. Además del tráfico incesante de vehículos y la mala

condición, numerosas secciones cayeron, en particular donde el drenaje o la edificación no estaban debidamente equipados para soportar cargas de gran peso.

Un inconveniente significativo fue la ausencia de un análisis técnico para determinar con precisión cuál era la condición verdadera del pavimento ni qué lo estaba perjudicando. Por lo tanto, las soluciones implementadas fueron provisionales, como cubrir vacíos, pero sin abordar el problema fundamental. Además, se observará que no existe una organización precisa en el mantenimiento, debido a la falta de información que facilite la determinación de cómo y dónde actuar.

La comunidad de Palmar requiere este camino para llegar a la escuela, al centro sanitario, para trasladarse al mercado o desplazarse a otras localidades. Las condiciones adversas del camino impactaron principalmente a los grupos vulnerables: personas de edad avanzada, niños y personas con discapacidad, quienes enfrentaron mayores obstáculos para desplazarse de manera segura. Por lo tanto, se identificó la necesidad de implementar un método técnico que facilite una mejor comprensión del estado de la carretera y determinar qué medidas adoptar. Esta degradación no sólo impactó en la movilidad, sino también en las personas.

Se optó por el Índice de Condición del Pavimento (PCI), un método fundamentado en la norma ASTM D6433, que facilita el reconocimiento y categorización de defectos de manera visual y cuantitativa, y la priorización de los segmentos más afectados para su intervención.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Evaluar el estado del pavimento afáltico de la vía 16 de Julio de la comuna Palmar, en el cantón Santa Elena, mediante el método del Índice de Condición del Pavimento (PCI), con el fin de determinar su nivel de deterioro y proponer alternativas de mejora.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar un diagnóstico técnico del pavimento mediante inspección visual y aplicación del método PCI.
- Identificar los tipos de fallas presentes (grietas, baches, deformaciones, etc.) y sus causas.
- Clasificar el nivel de deterioro según los estándares ASTM D6433.

1.4 Delimitación del tema

Este estudio se enfocó en la valoración de la condición superficial del pavimento asfáltico de la vía 16 de Julio, situada en la comuna de Palmar, cantón Santa Elena. Este análisis se centró en el estudio de la infraestructura vial secundaria, teniendo en cuenta sus actuales condiciones de funcionamiento, el grado de deterioro perceptible y los impactos producidos en la movilidad local.

La técnica utilizada facilitó la identificación y categorización de las fallas más significativas del pavimento, establecer su nivel de gravedad y definir el Índice de Condición del Pavimento (PCI) conforme a la norma ASTM D6433. La evaluación se llevó a cabo en segmentos establecidos con normas técnicas de muestreo, lo que permitió una interpretación imparcial del estado funcional de la carretera.

Se tomó en cuenta el comportamiento del pavimento bajo las condiciones climáticas habituales de la región costera, además de la incidencia del tránsito de vehículos en su deterioro.

1.4.1 Delimitación espacial

La investigación se llevó a cabo únicamente en la carretera 16 de Julio, en la sección que se encuentra entre el acceso principal a la comuna Palmar y el sector de vinculación con la zona de playa, en el cantón Santa Elena.

Se examinaron tanto las direcciones de tráfico como la presencia y la falta de carriles, considerando la geometría del camino en el estudio. La elección del segmento es aproximadamente de 1,74 km y recorre principalmente áreas urbanas, áreas rurales, viviendas, comercios locales y aprovechamientos turísticos. La selección del tramo se basó en su relevancia operativa en la red vial local y en la constatación de un deterioro perceptible que impactaba el rendimiento del pavimento.

1.4.2 Delimitación temporal

La recopilación de información y la labor de campo se llevaron a cabo durante un lapso de tres meses, desde enero hasta marzo de 2025. En este período se realizarán las revisiones visuales, el registro de fotografías, la detección y categorización de averías, además del tratamiento de datos para el cálculo del PCI.

Este periodo fue seleccionado ya que correspondía a la estación en la que las condiciones meteorológicas permitieron una clara apreciación del estado superficial del pavimento, sin cambios notables debido a las fuertes precipitaciones. Esto garantiza la confiabilidad de los registros obtenidos y la adecuada implementación del método definido por la norma ASTM D6433.

1.5 Justificación

La infraestructura vial es un pilar fundamental del desarrollo territorial, pues permite cubrir necesidades fundamentales, impulsa la integración de comunidades, robustece las actividades de producción y fomenta la unidad social. Específicamente, las carreteras secundarias, como la 16 de Julio en la comuna Palmar del cantón Santa Elena, desempeñan un papel crucial para facilitar la vinculación directa entre comunidades rurales, núcleos productivos y lugares de interés turístico. Su correcta preservación y funcionamiento impacta directamente en las condiciones de vida de los habitantes y en el rendimiento económico del municipio.

En este escenario, la necesidad apremiante de conocer el estado actual del pavimento asfáltico de esta vía se justifica, teniendo en cuenta que es una vía de uso habitual para actividades de transporte público, distribución de productos pesqueros, tráfico turístico y movilidad para peatones. La degradación gradual de la superficie de rodadura ha provocado una variedad de

alteraciones, entre las que sobresalen la aparición de fisuras, grietas, pérdida de la capa superficial y deformaciones provocadas por la carga. Estas averías impactan de manera adversa en la seguridad vial, causan daños anticipados en los autos que circulan por el área y disminuyen significativamente el rendimiento del corredor vial.

En el ámbito social, la circunstancia afecta directamente la movilidad de los habitantes, particularmente en los grupos más vulnerables de la población, tales como personas de edad avanzada, niños, individuos con discapacidad o familias que carecen de acceso a transporte privado. Las condiciones desfavorables del pavimento obstaculizan el desplazamiento diario hacia instituciones educativas, centros sanitarios, áreas comunitarias y sitios laborales, provocando demoras, malestar y, en ciertas situaciones, aislamiento temporal durante períodos de lluvia intensa. Por lo tanto, la calidad de vida no solo se ve impactada por elementos técnicos, sino también por la escasa disponibilidad de servicios fundamentales y oportunidades económicas.

Desde el punto de vista económico, el deterioro de la vía 16 de Julio constituye un impedimento para el crecimiento local, dado que establece limitaciones a las actividades de comercio, incrementa los gastos logísticos asociados al traslado de mercancías y obstaculiza la visita de turistas. Es importante destacar que la comuna Palmar posee atractivos naturales y culturales que podrían fortalecerse como parte del circuito turístico costero de Santa Elena; no obstante, la deficiente condición de sus vías de acceso provoca una imagen desfavorable entre los turistas, restringe la competitividad del lugar y disminuye su potencial de expansión. Desde una perspectiva técnica, el uso del método del Índice de Condición del Pavimento (PCI, por sus siglas en inglés) se destaca como un instrumento crucial para evaluar de manera imparcial la condición de la capa de rodadura, lo que permite determinar con exactitud los tipos de averías existentes, su grado de gravedad y su presencia en el área examinada. En este contexto, la optimización de la

infraestructura vial no solo satisface una demanda operativa, sino también una estrategia de posicionamiento territorial.

Esta metodología, normalizada a través de la especificación ASTM D6433, ha probado ser efectiva para la valoración de pavimentos en caminos urbanos y rurales, debido a su fundamento visual y cuantitativo, su escasa necesidad de instrumentos y su beneficio para la toma de decisiones en procesos de conservación de carreteras.

El uso del PCI en el segmento de estudio facilitará la definición de un criterio técnico para la categorización del pavimento, a través de un índice numérico que oscila entre 0 y 100.

Esta información es esencial para establecer el tipo de acción más apropiado en cada área de la carretera, ya sea mantenimiento ordinario, corrección o rehabilitación estructural. Además, la implementación de este método facilita la priorización de las acciones en función de la gravedad del daño, maximizando de esta manera los recursos a disposición y asegurando una administración vial más eficaz y organizada. Este estudio también tiene relevancia en el contexto ambiental del área costera donde se encuentra la comuna Palmar. Hasta el momento, al no haber un análisis técnico específico sobre la vía 16 de Julio, esta evaluación cubrirá un hueco significativo en los datos requeridos para la administración de la infraestructura local.

Elementos como la constante exposición a la humedad, la existencia de aguas superficiales descontroladas, las elevadas temperaturas y los ciclos de lluvia inciden de manera considerable en la longevidad de los materiales asfálticos. Este fenómeno ha sido extensamente documentado en investigaciones recientes que resaltan la importancia de ajustar las estrategias de conservación de carreteras a las condiciones particulares del ambiente geográfico (Rodríguez Triviño & Salomé, 2024).

Además, la experiencia global y local en la administración de vías ha evidenciado que los gastos vinculados a la ausencia de mantenimiento preventivo suelen superar considerablemente a los de una intervención adecuada basada en diagnóstico técnico. La reparación superficial independiente o la aplicación de métodos de bacheo sin consideración estructural suelen no tener éxito en el corto plazo, originando costos reiterados y resultados no satisfactorios. Por esta razón, este análisis se enfoca en identificar de manera exhaustiva la condición del pavimento, con elLa mezcla de cargas de vehículos y factores meteorológicos provocan lesiones prematuras, adherencias deterioradas y pérdida de adherencia en la superficie, acelerando así el proceso de degradación. En años recientes, varias investigaciones han indicado que la condición funcional de las vías secundarias influye directamente en la movilidad, la equidad territorial y el progreso de las comunidades rurales. objetivo de sugerir soluciones sustentables y técnicamente fundamentadas.

De acuerdo con Cárdenas (2023), el deterioro de los pavimentos en áreas no metropolitanas constituye una restricción crucial para el acceso a servicios fundamentales, el crecimiento de actividades económicas locales y la protección de los usuarios, en particular cuando no se cuenta con sistemas de administración vial con estándares técnicos estandarizados.

En este contexto, la ausencia de evaluaciones regulares provoca una administración reactiva y desconectada, con acciones que a menudo resultan ineficaces y de breve duración. Además, las investigaciones actuales subrayan la eficacia del método PCI como instrumento de planificación vial en situaciones con recursos escasos. Según Oblitas Gastelo, Medina Cardozo y

Paredes Asalde (2022), el Índice de Condición del Pavimento ha probado ser un método efectivo para categorizar la condición estructural y superficial de los pavimentos, facilitando a los gobiernos locales la toma de decisiones fundamentadas, la priorización de zonas críticas y la

definición de estrategias de mantenimiento fundamentadas en pruebas. Su implementación no necesita de aparatos avanzados y puede ajustarse con facilidad a las circunstancias de campo en áreas rurales, lo que lo hace una alternativa factible para municipios con capacidad limitada de operación.

En última instancia, esta evaluación puede funcionar como fundamento técnico para intervenciones futuras de los organismos encargados de la infraestructura vial en el cantón Santa Elena. La investigación no solo proporciona hallazgos útiles a corto plazo, sino que también sugiere un método replicable para otros sectores con atributos parecidos. Así, el trabajo ayuda a establecer una perspectiva técnica en la planificación de vías, dando prioridad a la administración eficaz de los recursos, la protección de los usuarios y la sostenibilidad del sistema de transporte local.

1.6 Marco hipotético

¿Cómo se encuentra actualmente el pavimento rígido de la carretera 16 de Julio, en la comuna Palmar del cantón Santa Elena, de acuerdo con el método PCI (Índice de Condición del Pavimento) definido por la norma ASTM D6433, teniendo en cuenta el tráfico vehicular, el historial de mantenimiento y las condiciones meteorológicas de la región costera?

1.6.1 Hipótesis principal

El uso del método PCI, acorde con la norma ASTM D6433, facilita la determinación exacta del estado presente del pavimento rígido de la vía 16 de Julio, situada en la comuna Palmar del cantón Santa Elena, proporcionando datos técnicos confiables para la organización de acciones de conservación y restauración de las vías.

1.6.2 Hipótesis secundaria

La condición inadecuada del pavimento en la vía 16 de Julio está profundamente vinculada con la falta de mantenimiento preventivo y correctivo regular. Además, las condiciones climáticas costeras y el tráfico pesado de vehículos son elementos cruciales en la aceleración del deterioro del pavimento.

La implementación del PCI permite la priorización de acciones técnicas y financieras para incrementar la seguridad vial y la eficacia del transporte en la comuna de Palmar.

1.7 Ubicación

El proyecto se llevó a cabo en la vía 16 de Julio, desde el cruce de palmar hasta el malecón, en la comuna Palmar, cantón Santa Elena

Coordenadas abscisa 0+0000:

2° 1'12.94"S, 80°43'14.20"O

Coordenadas abscisa 0+1740:

2° 1'30.04" S, 80°44'7.93" O

Tabla 1: Coordenadas del proyecto

Detalle	Latitud	Longitud
Punto de Inicio	2° 1'12.94"S	80°43'14.20"O
Punto termino	2° 1'30.04" S	80°44'7.93" O

Figura 1: Ubicación del proyecto



CAPITULO II

2.1 Marco teórico

2.2 El pavimento

El pavimento es una estructura formada por varias capas de materiales que busca resistir las cargas de los vehículos, repartir correctamente los esfuerzos al terreno de cimentación y ofrecer una superficie segura y cómoda para el tránsito. Hay varios tipos de pavimento, entre los que se destacan el pavimento flexible y el pavimento rígido, cuya selección se basa en el uso planeado, las condiciones meteorológicas y del terreno, además del presupuesto a disposición.

Específicamente, el pavimento flexible se distingue por su composición de una mezcla asfáltica situada en estratos granulares, lo que permite una deformación cierta bajo carga sin fracturarse, lo que le confiere una elevada capacidad de adaptación estructural (Cementos Torices, sf).

2.3 Clasificación del Pavimento

Los pavimentos se categorizan directamente en dos clases, calculando en su comportamiento estructural y los materiales utilizados en su edificación, y se dividen en pavimento flexible y pavimento rígido.

2.3.1 Pavimento Flexible

El pavimento flexible se compone de una capa asfáltica fabricada con una combinación de bituminosa caliente, situada sobre una base y una subbase estructural. La selección entre pavimento asfáltico y rígido se basa en diversos factores, por lo que no se puede sostener de manera absoluta que uno sea superior al otro. En términos prácticos, generalmente se opta por soluciones

que parecen ser más costosas durante la edificación, sin tener en cuenta factores como el mantenimiento o el gasto operativo a largo plazo. A pesar de que frecuentemente se considera que los pavimentos rígidos poseen una mayor durabilidad, esta percepción es más atribuible a las condiciones en las que se edifican, que a su propia construcción (ECOASFALT, 2020).

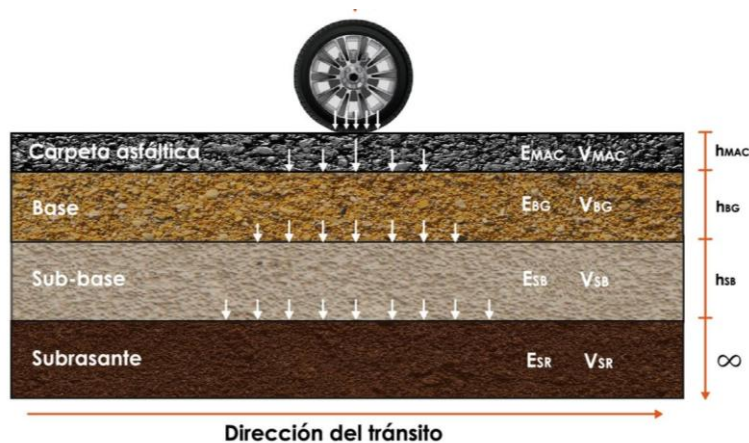
Por otro lado, las capas asfálticas permiten espesores más reducidos, lo que podría disminuir los costos iniciales, pero también podría poner en riesgo la durabilidad si no se toma en cuenta adecuadamente las necesidades estructurales (Unifort, sf).

2.3.2 Pavimento Rígido

"Consta de losas de hormigón de cemento, tanto sencillas como armadas, que se ubican en la capa base o subbase. La existencia de lasas otorga al pavimento una rigidez notable, además de una distribución eficiente de las cargas en la superficie. Por otro lado, su robusta estructura lo hace una opción perfecta para zonas con gran tráfico, como vías, autopistas y aparcamientos" (Cementos Torices, sf).

2.4 Componentes Estructurales del Pavimento

figura 2: Componentes del pavimento



No importa si cualquier sistema de pavimento es flexible o rígido, el sistema se compone de una serie de capas que colaboran para resistir las tensiones de los vehículos que circulan, mientras mantienen la integridad estructural del camino y ofrecen una superficie apropiada para una conducción segura y confortable. El desempeño del pavimento, en cuanto a calidad y larga durabilidad, se determina por un diseño apropiado, tales como la selección de materiales, el diseño, la edificación y el mantenimiento de sus componentes. Fue el anuncio dorado del día. Donde el terreno se encontraba nivelado, el magnífico mundo forestal se movía suavemente en liquiscencia.

Tras estos, las altas cimas del pavimento desde 275, lo que nosotros, los jóvenes, siempre habíamos creído que eran montañas lejanas y enigmáticas.

2.4.1 Capa de rodadura

La capa de rodadura simboliza la capa superficial de una estructura pavimentada y funciona como la conexión con el tráfico, la sección del pavimento que observamos y empleamos. Su papel es extenso; debe resistir el deterioro provocado por las ruedas que se desplazan constantemente, generar una superficie que brinde una excelente fricción (seca y húmeda), comodidad brindar al manejar y también funcionar como un sistema de impermeabilización para resguardar las capas subyacentes frente a la influencia del agua.

Para los pavimentos flexibles, estos están formados por un material pétreo, al que se le incorpora un producto asfáltico cuyo objetivo es desempeñar el papel de aglutinante. Esta capa transfiere las cargas generadas por el tráfico a la capa de base que la sostiene, además de ofrecer una superficie adecuada para el rodamiento del tráfico. Además, debe poseer la menor permeabilidad posible, con la finalidad de que la mayor parte del agua superficial se drene sobre ella, reduciendo de esta manera el volumen de agua que llega a la base. Por lo general, la carpeta

asfáltica de alta calidad se fabrica con una mezcla asfáltica elaborada y colocada en caliente (Tensar International, sf).

En los pavimentos rígidos, esta capa corresponde a la losa de hormigón hidráulico, siendo su resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y acabado superficial los factores más relevantes que afectan su funcionamiento. Especialmente, se puede aumentar el coeficiente de fricción de la superficie de hormigón a través de la aplicación de texturas transversales o ranuras en la superficie. Además, la banda de rodamiento debe resistir el pulido del árido, el envejecimiento oxidativo y la liberación de partículas. Es fundamental su conservación, dado que su deterioro temprano puede agilizar la degradación de las capas internas.

2.4.2 Capa base

La capa estructural, también denominada capa base, representa el núcleo resistente del pavimento flexible y su tarea primordial es repartir de forma homogénea las tensiones producidas por el tráfico hacia las capas inferiores. Esta capa puede estar formada por árido granular compactado de alta calidad, por materiales tratados con betún o incluso por combinaciones con cemento, aunque estas últimas pueden tener grietas que requieren un mantenimiento continuo. Su diseño debe asegurar un desempeño óptimo durante un mínimo de 20 años, sin mostrar defectos como fisuras, deformaciones o grietas graves. La aplicación de geomallas de estabilización en la subbase o en la capa base no unida posibilita prolongar la durabilidad del pavimento o disminuir su espesor, lo que repercute de manera positiva en los costos a largo plazo (VISE, 2021).

2.4.3 Subbase (cuando es requerida)

La subbase es una capa alternativa que puede no existir incluso cuando la base se encuentra presente, empleada para ofrecer tipos de soporte adicionales.

Se ubica entre la base y la subrasante como una capa intermedia que optimiza la repartición de cargas, disminuye el efecto en el terreno natural y fomenta un drenaje más eficiente. Esta capa puede abarcar elementos como grava, arena, terreno estabilizado o incluso materiales de edificación reutilizados, siempre que se respeten las condiciones técnicas requeridas.

Además, ayuda a prevenir la transferencia de finos entre capas, lo que podría poner en riesgo la estabilidad del pavimento. En zonas de lluvia, también puede contribuir a prevenir la acumulación de agua bajo el suelo.

2.4.4 Subrasante

Generalmente, el suelo natural es el encargado de sostener toda la estructura del pavimento, es decir, no forma parte esencial de la misma estructura. Sin embargo, la resistencia del sustrato es un factor crucial que tiene un impacto directo en la selección de los espesores totales de las capas del pavimento. Su meta es resistir las cargas que el tráfico transmite al pavimento, transmitir y distribuir estas cargas al cuerpo del terraplén, evitar que los materiales plásticos finos del cuerpo del terraplén contaminen el pavimento y reducir los espesores de este. La línea del nivel superior de la capa subrasante se alinea con la línea subrasante del proyecto geométrico. El nivel de las obras de drenaje debe ser suficiente para que el agua capilar no perjudique el pavimento (VISE, 2021). Es vital tener en cuenta las particularidades de la pendiente longitudinal.

Por lo tanto, cuando se planea instalar un pavimento, es necesario identificar meticulosamente el tipo, grado, humedad y capacidad de soporte del terreno. En situaciones escasas, se contempla la estabilización del sustrato con cal, cemento y geosintéticos para optimizar su desempeño.

Nivelación y compactación: La compactación y nivelación deben ser de alta calidad ya que cualquier fallo en el procedimiento de compactación y nivelación disminuirá la durabilidad del pavimento y elevará el gasto de mantenimiento. Se comprueba la capacidad de soporte de la subrasante a través de ensayos como CBR, resistencia al corte sin drenaje, el módulo de reacción k (en pavimentos rígidos), o la clasificación de suelos SUCS/AASHTO.

Los métodos para mejorar la subrasante podrían abarcar: estabilización química (cal, cemento, entre otros), compactación mecánica (a niveles óptimos de humedad o OMC), inclusión de geotextiles para fortalecimiento, drenaje subsuperficial (en áreas con alto nivel de freático).

Además, antes de iniciar la edificación, la subbase debe estar nivelada, compacta y exenta de desechos orgánicos. En vez de simplemente desintegrarse antes, un mantenimiento inadecuado en este período puede reducir de manera excesiva la durabilidad de la estructura de la carretera.

2.5 Funciones del Pavimento

Las exigencias funcionales del pavimento son los criterios de desempeño que cumplen con condiciones estructurales, además de satisfacer las necesidades funcionales, económicas y de seguridad. El método de planificación y conservación de una carretera influye directamente en el desempeño de la misma y en el sistema de transporte. Aquí se presentan algunas de sus tareas más sobresalientes:

2.5.1 Distribuir las cargas del tránsito vehicular

Uno de los objetivos fundamentales de una estructura de pavimento es repartir la carga del tráfico en las diferentes capas inferiores del mismo. El de esta distribución es prevenir el estrés acumulado en las partes del sustrato y el panel de cristal líquido, lo que podría provocar una deformación duradera o un propósito derrumbe estructural.

A mayor transferencia de carga, más larga será la durabilidad del pavimento. La distribución del estrés varía dependiendo del tipo de pavimento: el pavimento flexible presenta una propagación cónica con una inclinación hacia el final de la losa, en contraste con el pavimento rígido, donde el estrés se reparte de manera homogénea debido a su elevada rigidez. Así pues, el papel principal del pavimento es repartir las cargas generadas por el tráfico a través del tiempo a las capas inferiores de la estructura, con el fin de prevenir que la subrasante transmite grandes niveles de estrés.

2.5.2 Brindar una superficie de rodadura uniforme y segura

La vía debe proporcionar un agarre apropiado que proporcione a los conductores un sentimiento de seguridad, además de ser homogénea y estar exenta de fisuras. Las superficies descuidadas pueden aumentar la probabilidad de sufrir accidentes, disminuir la habilidad para frenar y causar malestar al manejar.

Por lo general, la textura de la superficie, el grado de fricción y la falta de imperfecciones son elementos cruciales que aportan de forma considerable a la seguridad del vial. Finalmente, una superficie limpia no solo reduce el cansancio del conductor, sino que también posibilita mantener velocidades más estables y predecibles, previniendo cualquier tipo de actuación.

2.5.3 Proteger las capas inferiores del agua superficial

El pavimento mismo funciona como una barrera frente a la infiltración de agua en las capas inferiores del sistema. La existencia de humedad en cualquier material de base, subbase o subrasante puede provocar una disminución considerable en la capacidad de soporte del terreno, lo que puede provocar asentamientos, pérdida de soporte, etc., o bombeo de finos en caso de pavimentos rígidos. Así pues, una capa de rodadura impermeable y un sistema de drenaje superficial adecuado son dos factores cruciales para prolongar la durabilidad del pavimento y evitar su deterioro en una fase inicial de su existencia.

2.5.4 Reducir los costos operativos del transporte

Una vía asfaltada en óptimas condiciones no solo favorece la optimización del consumo de combustible, sino que también reduce el deterioro de los vehículos y reduce los periodos de desplazamiento.

Si existen deformaciones, fisuras o anomalías en la superficie del camino, los automóviles deben efectuar maniobras complicadas, frenos y aceleraciones constantes, lo que resulta en un incremento del consumo energético del sistema.

Además, las fisuras impactan de manera adversa en la suspensión, los neumáticos y la alineación de los vehículos, y pueden generar elevados costos de reparación tanto para las personas como para los transportistas.

2.5.5 Facilitar el drenaje superficial

El diseño del pavimento también debe tener en cuenta la eficacia en el drenaje de agua pluvial o escorrentía superficial. Se consigue esto mediante el uso de pendientes transversales (también conocidas como bombeo), cunetas, bordillos y sistemas de drenaje conectados con la carretera.

Si el agua permanece estancada en la superficie por largos lapsos de tiempo, posee la capacidad de infiltrarse en las capas estructurales y provoca una acumulación peligrosa que incrementa la seguridad en un entorno laboral ya peligroso. Un drenaje tan eficaz opera en conjunto con la capa de rodadura de sellado, lo que permite que el pavimento tenga una extensa durabilidad.

Finalmente, la acera tiene que facilitar un drenaje rápido del agua pluvial, lo que se consigue mediante la existencia de pendientes, cunetas y estructuras de drenaje apropiadas. Cuando la superficie se encuentra mojada o el agua se infiltra en el sustrato, el sistema sufre una degradación aún más acelerada. Así pues, un trabajo adecuado en el diseño hidráulico contribuirá a prolongar la durabilidad del pavimento.

2.6 Índice de condición del pavimento (PCI)

El índice de condición del pavimento (PCI) es el método más integral para evaluar el pavimento, realizando una evaluación imparcial, adaptable y estricta en las directrices vigentes. La metodología es sencilla de poner en práctica y no necesita de herramientas especializadas que superen las que conforman el sistema, las cuales se presentan a seguir.

Se presenta todo el perjuicio inicial en la elaboración de PCI, pero al final, se consideran las observaciones rigurosas de las patologías que no deben considerarse por su origen o naturaleza más allá de las circunstancias locales.

El usuario de esta guía podrá reconocer estos casos con un entendimiento total casi instantáneo. La degradación de la estructura del pavimento depende de la intensidad de la lesión, su severidad y su volumen o densidad. La elaboración del índice, que demostró los tres factores mencionados, ha presentado dificultades debido al gran número de situaciones potenciales. Para superar estos obstáculos, se implementaron "valores deducidos", como el arquetipo del factor de peso, con el objetivo de señalar el impacto de cada mezcla de lesión, severidad y densidad en el estado de las aceras. El Índice de Consistencia del Pavimento (PCI) es un indicador numérico que oscila entre cero (0) para un pavimento defectuoso o en estado deficiente, y cien (100) para un pavimento en óptimas condiciones. (Vásquez Varela, 2002, p. 2)

2.7 Fallas del pavimento Flexible según el PCI

2.7.1 Piel de cocodrilo

Se manifiesta como daños vinculados en forma de red, causados por cargas constantes que causan el deterioro estructural del pavimento. La evaluación se lleva a cabo en metros cuadrados (m²) y puede categorizarse en niveles de gravedad bajo, medio o alto. Como alternativa, se aconseja el sellado con emulsiones en situaciones leves, el fresado superficial y la aplicación de una nueva capa asfáltica para una severidad media, y en situaciones graves, la reconstrucción total desde el inicio.

figura 3: Falla piel de cocodrilo



Fuente: (Vásquez, 2002)

2.7.2 Exudación

Se refiere a la presencia de asfalto en la superficie debido al exceso de ligante o altas temperaturas, lo que reduce la fricción. Se cuantifica por área (m²). Se aconseja espolvorear el material fino en niveles de severidad baja para potenciar la textura; en niveles medios, fresado superficial y rectificación de la mezcla; y en niveles altos, fresado profundo con mezcla recién elaborada.

figura 4: Falla de exudación



Fuente: (Vásquez, 2002)

2.7.3 Grietas en bloque

Desgarros que se convierten en rectángulos o cuadrados debido a la contracción del ligante maduro. La medición se realiza en metros cuadrados. Para una gravedad baja, se utiliza sellado con material flexible; para una severidad media, se aplica un micro revestimiento superficial; y para una severidad alta, se extrae la capa afectada y se repavimenta.

figura 5: Falla grietas en bloque



Fuente: (Vásquez, 2002)

2.7.4 Abultamientos y hundimientos

Elevaciones o descensos ocasionales provocados por averías en la base o acumulación de agua. La medida se realiza de manera lineal (metros). Se resuelve mediante nivelación superficial

en situaciones leves, sobre una carpeta niveladora de severidad moderada , e intervención profunda en situaciones de alta gravedad.

figura 6: Falla de abultamiento

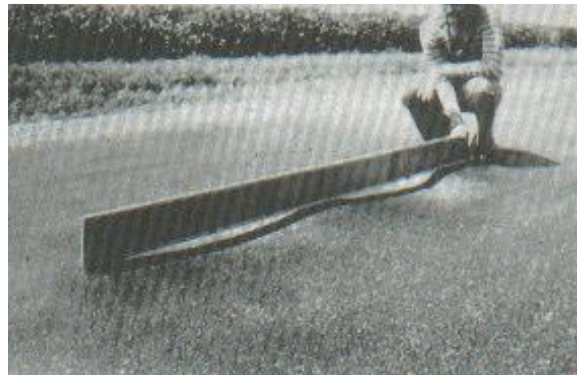


Fuente: (Vásquez, 2002)

2.7.5 Corrugación

Las deformaciones transversales son resultado de las deformaciones plásticas del asfalto. Se calcula en metros cuadrados (m²). En nivel de gravedad bajo, es suficiente con fresado leve; en nivel medio, fresado moderado y nueva capa; en nivel alto, necesita una rehabilitación total.

figura 7: Falla de corrugación



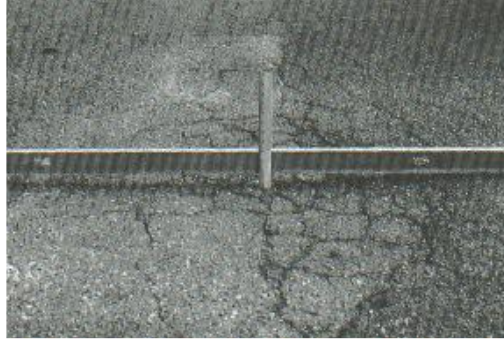
Fuente: (Vásquez, 2002)

2.7.6 Depresión

Instalaciones que acumulan agua y deterioran la vía. La medición se realiza en metros cuadrados. En niveles de gravedad bajo se utiliza relleno superficial con mezcla asfáltica, en

niveles medio y medio se efectúa parcheo con compactación apropiada, y en niveles superiores se necesita excavación y reconstrucción de las capas inferiores.

figura 8: Falla de depresión



Fuente: (Vásquez, 2002)

2.7.7 Grietas de borde

Ubicaciones cercanas a las fronteras del pavimento, provocadas por la erosión o la pérdida de soporte lateral. Se cuantifica en metros lineales. Para una gravedad baja, se aconseja sellar; para una severidad media, reforzamiento puntual; para una severidad alta, rehabilitación del borde con estabilización de la base.

figura 9: Falla grietas de borde



Fuente: (Vásquez, 2002)

2.7.8 Grietas de reflexión de junta

Las grietas que surgen en una junta subyacente. Se cuantifica en metros de línea. Para una gravedad baja, se utiliza sellado flexible; para una gravedad media, se utiliza una membrana antirreflexiva; y para una severidad alta, se realiza fresado de franja y se realiza un tratamiento estructural.

figura 10: Falla grietas de junta



Fuente: (Vásquez, 2002)

2.7.9 Grietas longitudinales y transversales

Las grietas que siguen o atraviesan el eje vial debido a la retracción o a movimientos estructurales. Medidas en líneas rectas. Se realiza sellado de baja intensidad, tratamiento superficial con sellado de grueso en media, y fresado localizado y repavimentación en alta intensidad.

Figura 11: Falla grietas long. Y transversales



Fuente: (Vásquez, 2002)

2.7.10 Parcheo

áreas previamente reparadas que muestran un nuevo deterioro. Se cuantifica por zona. Se aconseja supervisión para una gravedad baja; para una severidad media, reparación con mezcla caliente; para una severidad alta, reconstrucción del área.

Figura 12: Falla de Parcheo

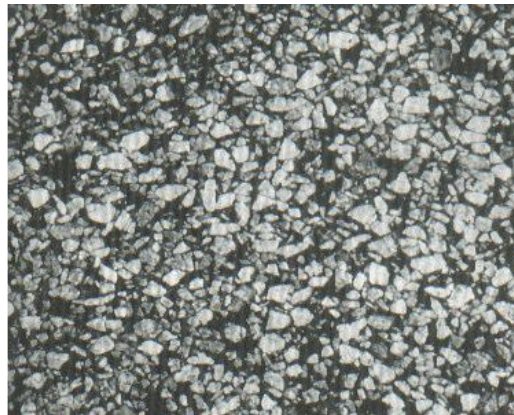


Fuente: (Vásquez, 2002)

2.7.11 Pulimento de agregados

El deterioro gradual de la superficie disminuye la aspereza y eleva el peligro de deslizamiento. La medición se realiza en metros cuadrados. No se atribuye gravedad (normalmente es única o superficial). Se aconseja utilizar micro revestimiento o ranurado para prevenir el desliz.

Figura 13: Falla Pulimento de agregados



Fuente: (Vásquez, 2002)

2.7.12 Huecos (patoles)

Cavidades producidas cuando se pierde completamente el material superficial, usualmente debido a la filtración del agua. Se determina por cantidad, diámetro y profundidad. En nivel de gravedad bajo, se aplica una mezcla en frío; en nivel medio, se realiza corte limpio, relleno y compactación; en nivel alto, se realiza excavación y edificación.

Figura 14: Falla tipo Huecos



Fuente: (Vásquez, 2002)

2.7.13 Cruce de vía férrea

Degradación en áreas donde se cruza un riel. Valor en metros cuadrados. Se lleva a cabo un mantenimiento básico de baja intensidad, nivelación de moderada y reconstrucción del cruce de alta gravedad.

Figura 15: Falla de Cruce de vía férrea



Fuente: (Vásquez, 2002)

2.7.14 Ahuellamiento (rutting)

Surcos provocados por la deformación en las capas bajas provocada por los neumáticos. Se cuantifica en profundidad (mm). En niveles de gravedad bajos, se aconseja fresado leve; en niveles medios, fresado intermedio y nueva capa; y en niveles elevados, reconstrucción profunda con combinación estructural.

Figura 16: Falla tipo ahuellamiento



Fuente: (Vásquez, 2002)

2.7.15 Desplazamiento (shoving)

El asfalto se mueve horizontalmente, produciendo ondas en áreas de frenado. La medición se realiza en metros cuadrados. La solución oscila entre fresado superficial de baja calidad, reemplazo con mezcla estable de alta calidad, hasta una reconstrucción estructural de alta gravedad.

Figura 17: Falla de desplazamiento



Fuente: (Vásquez, 2002)

2.7.16 Grietas parabólicas (slippage)

Fisuras curvadas provocadas por el deslizamiento entre niveles debido a la pérdida de adherencia. La medición se realiza en metros cuadrados. En niveles de gravedad bajos se lleva a cabo un sellado localizado; en niveles medios, corte y reemplazo de la zona que se ha deslizado; en niveles elevados, fresado y reconstrucción con adhesivo estructural.

Figura 18: Falla de grietas parabólicas



Fuente: (Vásquez, 2002)

2.7.17 Hinchamiento (swell)

El deterioro del pavimento debido a terrenos expansivos o a la humedad. Se cuantifica en metros de línea. Es posible que necesite observación y seguimiento en niveles de severidad bajos, fresado y regularización en niveles medios, y estabilización de base en niveles de severidad elevados.

Figura 19: Falla tipo hinchamiento



Fuente: (Vásquez, 2002)

2.7.18 Meteorización / desprendimiento de agregados

Degradación superficial del material debido a la exposición al clima. La medición se realiza en metros cuadrados. Se utiliza sellador de baja intensidad, microrevestimiento de medios y fresado con nueva mezcla de alta intensidad.

Figura 20: Falla de meteorización



Fuente: (Vásquez, 2002)

2.7.19 Desnivel entre carril y berma

La diferencia de altura entre la vía pública y la berma constituye un riesgo para los vehículos. Calculado en metros lineales. En niveles de gravedad bajos, se rellena la berma; en niveles medios, se ajusta y conforme el drenaje; en niveles altos, se reestructura el borde con confinamiento y nivelación total.

Figura 21: Falla de desnivel carril y berma



Fuente: (Vásquez, 2002)

2.8 Fallas del pavimento rígido según el PCI

Tabla 2: Tipos de fallas del pavimento de concreto.

Nº	Tipo de falla	Descripción	Medición	Severidad	Solución
1	Blowup / Buckling	Levantamiento repentino de losas por expansión térmica excesiva sin espacio suficiente en juntas.	Número de eventos	Baja	Monitoreo y sellado adecuado de juntas.
				Media	Corte controlado en zonas críticas.
				Alta	Reemplazo de losas y rediseño de juntas.
2	Grieta de esquina	Fisura diagonal que parte de la esquina de una losa, por pérdida de soporte o carga excesiva.	Número de losas afectadas	Baja	Sellado y observación.
				Media	Parche con concreto modificado.
				Alta	Sustitución de losa completa.
3	Losa dividida	Fisura transversal que parte la losa en dos por contracción o asentamiento.	Número de losas	Baja	Sellado flexible.
				Media	Reparación estructural localizada.
				Alta	Reemplazo total de losa.
4	Grieta de durabilidad (D-Cracking)	Fisuras causadas por la degradación de agregados ante ciclos de congelamiento y deshielo.	Número de losas	Baja	Sellado preventivo.
				Media	Parche superficial temporal.
				Alta	Reemplazo total con materiales resistentes a la intemperie.
5	Escala	Desprendimiento de capas superficiales del concreto, usualmente por congelamiento.	Área afectada (m ²)	Baja	Aplicación de recubrimiento superficial.
				Media	Parche con mortero epóxico.
				Alta	Fresado y reconstrucción del área dañada.
6	Sello de junta deteriorado	Falla en el material de sello de las juntas, permitiendo ingreso de agua y materiales.	Longitud (ml)	Baja	Resellado con material elástico.
				Media	Limpieza y reemplazo del sello.
				Alta	Rehabilitación completa del sistema de juntas.
7	Desnivel carril / berma	Diferencia de altura entre el carril y la berma.	Longitud (ml)	Baja	Relleno de berma.
				Media	Nivelación con material granular.
				Alta	Reconstrucción del borde afectado.
8	Grietas lineales	Fisuras longitudinales o transversales dentro de la losa sin conexión a juntas.	Longitud (ml)	Baja	Sellado superficial.
				Media	Reparación localizada con resina.
				Alta	Reemplazo parcial de losa.
9	Parche grande	Zonas amplias de concreto previamente reparadas que fallan nuevamente.	Área (m ²)	Baja	Monitoreo.
				Media	Retiro parcial y nuevo parche.
				Alta	Remoción completa y reconstrucción estructural.

10	Parcheo pequeño	Pequeñas reparaciones fallidas o mal ejecutadas.	Área (m ²)	Baja	Corrección del parche.
				Media	Reparación con concreto nuevo.
				Alta	Corte y reconstrucción del segmento.
11	Pulimento de agregados	Desgaste de la textura superficial que reduce fricción.	Área (m ²)	-	Ranurado o aplicación antideslizante.
12	Popouts	Expulsión localizada de partículas de agregado por reacción con humedad.	Número de casos	Baja	Limpieza y sellado.
				Media	Parcheo superficial.
				Alta	Reemplazo parcial.
13	Bombeo	Expulsión de agua y material fino por debajo de las losas debido a tránsito y presencia de agua.	Número de losas	Baja	Mejoramiento de drenaje.
				Media	Estabilización de subbase.
				Alta	Reemplazo estructural de base y losa.
14	Punzonamiento	Depresión en juntas o esquinas por cargas concentradas y pérdida de soporte.	Área (m ²)	Baja	Parche con mortero estructural.
				Media	Reconstrucción parcial con refuerzo.
				Alta	Reemplazo de losa y refuerzo subrasante.
15	Cruce de vía férrea	Falla localizada en zonas donde la vía intersecta con rieles ferroviarios.	Área (m ²)	Baja	Nivelación superficial.
				Media	Refuerzo de zona de cruce.
				Alta	Reconstrucción con refuerzo estructural.
16	Desconchamiento	Desprendimiento del borde de la losa cerca de juntas o esquinas.	Longitud (ml)	Baja	Reparación superficial.
				Media	Parche con mortero epóxico.
				Alta	Fresado y reconstrucción de zona dañada.
17	Mapa de grietas	Red de fisuras superficiales finas, tipo craquelado.	Área (m ²)	Baja	Sellado superficial.
				Media	Microrrevestimiento.
				Alta	Reemplazo superficial con refuerzo.
18	Grietas de retracción	Fisuras por pérdida de humedad en etapas tempranas del curado del concreto.	Longitud (ml)	Baja	Sellado de fisuras.
				Media	Parche con resina epóxica.
				Alta	Reconstrucción y control de curado.
19	Descascaramiento de esquina	Desprendimiento en la esquina de una losa.	Número de eventos	Baja	Reparación localizada.
				Media	Parche con mezcla cementicia.
				Alta	Reemplazo del sector.
20	Descascaramiento de junta	Desgaste o pérdida del borde junto a la junta por tráfico o deterioro.	Longitud (ml)	Baja	Relleno y sellado de junta.
				Media	Parche estructural.
				Alta	Reemplazo completo del borde y junta.

2.9 Equipamiento necesario para la aplicación del método PCI

Según lo especificado en la norma ASTM D6433, el método PCI (Índice de Condición del Pavimento) se implementa mediante una encuesta de observación visual metódica y exhaustiva, utilizando los instrumentos básicos y exactos de campo requeridos. A pesar de que el método resulta atractivo por su sencillez y costo reducido en comparación con técnicas más sofisticadas, resulta crucial disponer de herramientas apropiadas que aseguren la confiabilidad y la repetibilidad de los datos recolectados.

Tabla 3: Equipos a utilizar en el método de índice de condición del pavimento

Equipo	Función o uso en campo
Cinta métrica o distanciómetro	Medición precisa del área de muestreo y dimensiones de fallas.
Odómetro manual o rueda medidora	Mide la distancia recorrida sobre la vía para ubicar unidades de muestreo.
Nivel y regla de aluminio	Detecta y mide deformaciones como depresiones o abultamientos.
Plantilla de fallas PCI	Guía visual para identificar y clasificar los tipos de deterioro.
GPS o app de georreferenciación	Registra coordenadas exactas de los puntos evaluados.
Cámara o smartphone	Documenta gráficamente las fallas observadas para referencia posterior.
Fichas técnicas o formatos	Permiten anotar tipo de daño, severidad, área afectada y observaciones.
EPP (chaleco, guantes, casco, etc.)	Garantiza la seguridad del personal en el entorno vial.

2.10 Procedimiento de Evaluación de la Condición del Pavimento

El método del Índice de Condición del Pavimento (PCI, en inglés) proporciona un enfoque técnico, estandarizado y fácil de reproducir para medir la preservación de las superficies de las vías. Este método, mediante la observación sistemática del deterioro del pavimento, facilita la transformación de los daños perceptibles en una medida precisa que represente con exactitud el estado de servicio que una carretera puede brindar.

Si se aplica de forma organizada, contribuye en la toma de decisiones presupuestarias vinculadas a la planificación, asignación de prioridades y presupuesto del mantenimiento vial.

2.10.1 Inspección visual y recolección de datos

El procedimiento se inicia con una valoración visual directa en el lugar, cuyo objetivo es detectar la existencia de imperfecciones físicas en el pavimento, como fisuras, fisuras, deformaciones o pérdida de materiales. Cada deterioro debe ser categorizado según tres criterios fundamentales: el tipo de avería, su gravedad (baja, media o alta) y su envergadura o envergadura.

Esta información se anota en unidades de muestreo predefinidas, las cuales son zonas o segmentos representativos de la carretera. En pavimentos de tierra ASFÁLTICA, estas unidades generalmente cubren áreas de entre 137 y 323 metros cuadrados.

Tabla 4: Medidas de longitud para muestreo

Ancho de calzada (m)	Longitud de la unidad de muestreo (m)
5.0	46.0
5.5	41.8
6.0	38.3
6.5	35.4
7.3 (máximo)	31.5

Fuente: ASTM D6433 (2003)

Para el pavimento rígido, las unidades se determinan por la cantidad de lasas, usualmente entre 12 y 28, en función de las dimensiones del tramo y del diseño estructural de la carretera. Esta etapa debe realizarse con precisión técnica, empleando instrumentos de medición como ruedas odométricas, cintas métricas, normas y formularios predefinidos que aseguren uniformidad en la recolección de datos.

2.10.2 Medición de deterioros y criterios técnicos

Cada daño detectado debe evaluarse meticulosamente, empleando unidades adecuadas de acuerdo a su característica: metros cuadrados para daños superficiales extensos (como agrietamiento por fatiga), metros lineales para fisuras longitudinales o transversales, o número de sucesos en caso de averías localizadas como los cortes. En esta fase, la exactitud es crucial, dado que a partir de estas mediciones se elabora el cálculo del PCI. Para lograrlo, se utilizan fichas técnicas que facilitan la codificación del daño y su vinculación con su sanción estructural.

Es crucial resaltar que no todos los desgastes impactan al pavimento de la misma forma. Dos unidades con la misma cantidad de fallos pueden presentar niveles de PCI diferentes, en función de la gravedad o del tipo de daño predominante. Esta distinción es una de las ventajas del método PCI, puesto que va más allá de la mera contabilización de defectos y se centra en su verdadero impacto estructural.

2.10.3 Selección y validación de unidades de muestreo

Cuando la evaluación completa del camino no es factible, se opta por el muestreo estadístico. En este escenario, se escogen unidades representativas de muestreo mediante técnicas sistemáticas o aleatorias, garantizando una distribución espacial uniforme. El número mínimo de unidades requeridas se determina basándose en el tamaño de la sección y en parámetros estadísticos establecidos previamente, tales como un nivel de confianza del 95% y un error tolerable del $\pm 5\%$. Además, se contempla la incorporación de unidades extra en áreas inusuales o que muestreen condiciones específicas que no se reflejan en el muestreo general.

2.10.4 Cálculo del PCI por unidad

Se consigue el PCI de cada unidad en tres etapas:

a) Ejecución de valores individualmente deducidos: Se lleva a cabo utilizando tablas y diagramas del manual PCI, se determina el efecto de cada fallo registrado en función de su tipo, gravedad y densidad (porcentaje del espacio que ocupa).

Figura 22: Ficha 1 de registro de daños, pavimento Flexible

CARRETERAS CON SUPERFICIE FLEXIBLE

EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO			ESQUEMA	
ZONA	ABSCISA INICIAL	ABSCISA FINAL		
CÓDIGO VÍA	UNIDAD DE MUESTREO	ÁREA MUESTREO (m ²)	INSPECCIONADA POR	FECHA

Tipos de Daño

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

Registro de Daños Observados

Daño	Severidad	Cantidades parciales	Densidad (%)	Valor deducido

Fuente: Adaptado del Manual ASTM D6433 (2003)

Figura 23: Ficha 2 de registro de daños, pavimento rígido

Carretera de Pavimento Rígido PCI

EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO			ESQUEMA		
ZONA	ABSCISA INICIAL	ABSCISA FINAL	UNIDAD DE MUESTREO	NÚMERO DE LOSAS	FECHA
CÓDIGO VÍA	INSPECCIONADA POR				

Tipos de Daño (Pavimento Rígido)

No.	Daño	No.	Daño
21	Blow up / Buckling	30	Parcheo (pequeño)
22	Grieta de esquina	31	Pulimento de agregados
23	Losa dividida	32	Popouts
24	Grieta de durabilidad "D"	33	Bombeo
25	Escala	34	Punzonamiento
26	Sello de junta	35	Cruce de vía férrea
27	Desnivel Carril / Berma	36	Desconchamiento
28	Grieta lineal	37	Retracción
29	Parcheo (grande)	38	Descascaramiento de esquina

Registro de Daños Observados

Daño	Severidad	No. Losas	Densidad (%)	Valor deducido	ESQUEMA

Fuente: Adaptado del Manual ASTM D6433 (2003)

a) Modificación por mezcla de fallos: Cuando una unidad muestra diversos desgastes, se realiza una corrección por mezcla de fallos. Este ajuste, denominado CDV (Valor Correctamente Deducido), previene sobreestimar el impacto acumulativo de fallos menores que, por sí mismos, no tendrían un riesgo significativo para la estructura.

b) Conquista del índice final: Finalmente, se emplea la ecuación $PCI = 100 - CDV$. Este valor refleja el estado actual de la unidad en una escala de 0 a 100, en la que la evaluación próxima a 100 señalan un estado óptimo y las evaluaciones bajas representan un deterioro progresivo.

Tabla 5: Tabla valores deducidos del PCI

No.	Valores Deducidos										Total	q	CDV
1													
2													
3													
4													

Fuente: Adaptado del Manual ASTM D6433 (2003)

2.11 Determinación del PCI de la sección vial

Para calcular el PCI de una sección completa, se utilizan dos técnicas dependiendo de la estrategia de muestreo que se ha implementado. Si se ha realizado una revisión completa de la sección, se determina un promedio aritmético de los valores de PCI de cada unidad. Si se elige una muestra parcial, se efectúa una media ponderada, teniendo en cuenta tanto las unidades representativas como las adicionales. Esto se manifiesta a través de la fórmula.

$$PCI_S = \frac{[(N - A) \times PCI_R] + (A \times PCI_A)}{N}$$

Donde:

PCIA: promedio de PCI de unidades adicionales,

PCIR: promedio de unidades representativas,
A: número de unidades adicionales,
N: total de unidades evaluadas.

CAPITULO III – METODOLOGÍA

3.1 Marco metodológico

3.1.1 Diseño de la investigación

La metodología de investigación empleada en esta investigación fue cuantitativa, no experimental, descriptiva y transversal, puesto que se centró en examinar y examinar el estado presente del pavimento asfáltico sin alterar las variables ambientales, empleando instrumentos técnicos para medir y categorizar los grados de deterioro existentes.

El estudio fue de naturaleza cuantitativa ya que los datos recolectados mediante la metodología PCI se convirtieron en valores numéricos objetivos que facilitaron la evaluación del estado del pavimento. Además, fue de tipo no experimental, ya que no se realizó una intervención directa en la infraestructura vial, sino que se llevó a cabo un análisis técnico de su estado real.

Desde una perspectiva descriptiva, se intentó describir las condiciones del pavimento de la vía 16 de Julio calculando en los tipos de fallas, su gravedad, su ubicación espacial y su categorización de acuerdo al índice PCI. Finalmente, el diseño fue de corte transversal, dado que la recopilación de datos se llevó a cabo durante un lapso concreto (junio y julio de 2025), sin tener en cuenta fluctuaciones temporales.

Este diseño facilitó la obtención de una radiografía técnica exacta del estado operativo de la vía durante el estudio, proporcionando recursos esenciales para la elaboración de propuestas de mantenimiento y rehabilitación de la vía acordes a la situación local.

3.1.2 Nivel de investigación

Este análisis se sitúa en el nivel descriptivo, dado que se enfocó en examinar, documentar, examinar y categorizar el estado superficial del pavimento asfáltico de la vía 16 de Julio, sin alterar ni alterar las condiciones preexistentes. Este nivel facilitó la identificación de los diferentes tipos de averías existentes, su gravedad, distribución y razones relacionadas, ofreciendo una visión exhaustiva de la condición actual del pavimento.

Además, adopta un enfoque pragmático, ya que los resultados logrados no solo aportan al entendimiento técnico del estado del pavimento, sino que también cumplen una función práctica: funcionar como fundamento para la toma de decisiones en relación al mantenimiento, rehabilitación y administración de las vías por parte de las autoridades locales.

La investigación descriptiva aplicada facilitó la elaboración de un diagnóstico técnico fundamentado en datos reales y verificables, a través del método PCI, con el objetivo de proponer soluciones específicas y dirigidas a optimizar la infraestructura vial de la comuna Palmar en el cantón Santa Elena.

3.1.3 Método de investigación

El enfoque empleado en este estudio fue el deductivo, pues se basó en principios generales y estándares técnicos definidos —como la norma ASTM D6433 para el cálculo del Índice de Condición del Pavimento (PCI)—, para posteriormente implementarlos en un caso específico: la valoración del pavimento asfáltico de la vía 16 de Julio en la comuna Palmar.

Mediante este método, se implementarán procesos sistemáticos para detectar defectos superficiales, evaluar su envergadura y gravedad, y finalmente establecer el grado de deterioro del pavimento de manera numérica. El método deductivo posibilitó el análisis de los resultados logrados y su comparación con los estándares definidos por la literatura técnica, lo que simplificó la elaboración de sugerencias de intervención acordes a las circunstancias detectadas.

Así, el método deductivo propició una evaluación organizada y replicable, garantizando que las conclusiones alcanzadas se ajustan a criterios objetivos y sólidos, válidos para otras rutas de características similares dentro del cantón Santa Elena.

3.2 Población

El grupo de estudio en este estudio se conformó por la totalidad del segmento vial de la avenida 16 de Julio, situada en la comuna Palmar del cantón Santa Elena. Este segmento tiene una longitud de cerca de 1,74 kilómetros, desde el acceso principal a la comuna hasta el área de vinculación con el malecón y la playa turística.

En contraposición a investigaciones tradicionales en el campo de las ciencias sociales, donde la población se compone de individuos, en este contexto, la unidad de análisis se refiere a la infraestructura de las vías como objeto material. Así pues, se interpretó la población como el grupo de componentes que conforman la estructura del pavimento flexible de la carretera, que incluyen la capa de rodadura, la base y la subbase, los cuales se evalúan visual y técnicamente utilizando el método PCI.

Este segmento fue escogido por su relevancia operativa en la red vial local y por mostrar un deterioro gradual que impacta tanto en la movilidad de los residentes como en el crecimiento productivo y turístico de la región.

3.3 Muestra

3.3.1 Justificación del tamaño de muestra

Según las directrices del método PCI, se aconseja que cada unidad de muestreo cuente con un área de $230 \pm 93 \text{ m}^2$, o sea, un intervalo de 137 m^2 y 323 m^2 . En esta investigación, se determinaron unidades de muestreo de 40 metros de longitud por 7 metros de ancho, lo que equivale a una zona de:

$$40 \text{ m} \times 7 \text{ m} = 280 \text{ m}^2$$

Este valor está dentro del margen permitido por la normativa, lo que asegura la validez técnica de los resultados logrados. Además, esta dimensión simplificó la revisión en terreno y la organización de datos para la determinación del índice PCI. Para determinar el número mínimo de unidades de muestreo necesarias para valorar de manera representativa la vía, se utilizó la fórmula de muestreo para poblaciones limitadas:

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

Donde:

n = número mínimo de unidades a evaluar

N = número total de unidades de muestra (44 tramos)

e = error admisible en el cálculo del PCI (± 5 puntos, es decir, 5)

s = desviación estándar del PCI (para pavimento flexible se asume $s = 10$)

Sustituyendo:

$$n = \frac{44 \cdot 10^2}{\left(\frac{5^2}{4} \cdot (44 - 1)\right) + 10^2} = \frac{4400}{(6.25 \cdot 43) + 100} = \frac{4400}{268.75 + 100} = \frac{4400}{368.75} \approx 11.94$$

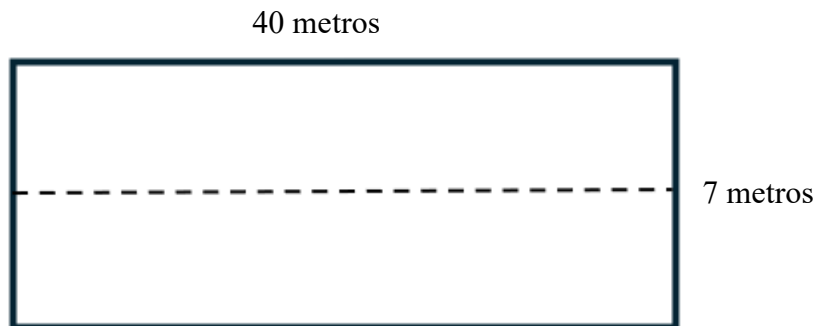
Según este cálculo, es necesario examinar al menos 12 tramos para conseguir un resultado estadísticamente significativo con un nivel de confianza del 95%.

Así pues, en este estudio se escogieron 12 unidades de muestreo a través de un muestreo aleatorio sistemático, siguiendo el intervalo de selección correspondiente. Esta táctica posibilita la optimización de los recursos existentes y el cumplimiento del estándar técnico fijado por el método PCI, sin comprometer la validez de los resultados.

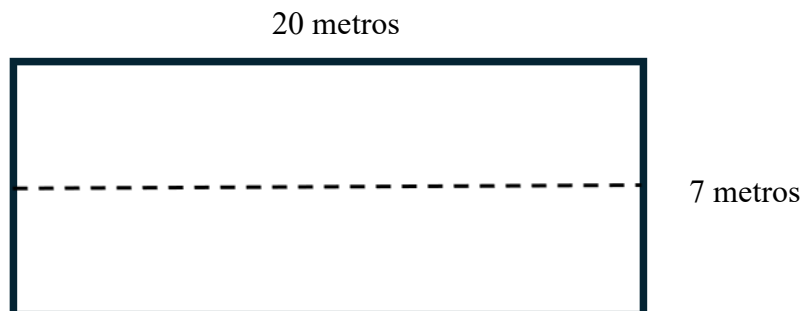
3.3.2 Segmentación de la vía

La ruta 16 de Julio, que mide 1,74 kilómetros (1740 metros) de longitud total y tiene un ancho medio de 7 metros, se dividió en 44 unidades de muestreo, distribuidas de la siguiente forma:

- 43 tramos de 40 metros de longitud por 7 metros de ancho, cada uno con un área de 245 m².



- 1 tramo final de 20 metros de longitud por 7 metros de ancho, con un área de 175 m².



3.3.3 Intervalo del espaciamiento de las unidades

Una vez establecido el tamaño mínimo de la muestra ($n = 12$), se llevó a cabo el muestreo aleatorio sistemático, siguiendo los lineamientos del procedimiento del método PCI. Se inició el intervalo de espaciamiento mediante la fórmula.

$$i = \left(\frac{N}{n} \right)$$

Donde:

i = intervalo de espaciamiento entre unidades de muestra

N = número total de unidades de muestra en la sección (44 tramos)

n = número de unidades de muestra a inspeccionar (12 tramos)

Sustituyendo:

$$i = \left(\frac{44}{12} \right) = 3.67 \Rightarrow i = 3 \quad (\text{redondeado al número entero menor})$$

Esto significa que se escogieron las unidades con un intervalo estable de 3 tramos. En este análisis, se optó por comenzar la revisión en el tramo inicial, y desde ese punto, se implementaron incrementos sucesivos de 3 para elegir los tramos subsiguientes. Así, las 12 unidades de muestreo escogidas se correspondieron con los segmentos:

1, 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28, 31, 34

Este método asegura una repartición homogénea de las muestras durante todo el trayecto, siguiendo las directrices metodológicas del método PCI y garantizando representatividad estadística en la evaluación.

3.3.4 Información general de la vía y parámetros de inspección

Tabla 6: información general de la vía




INFORMACIÓN DE LA VÍA Y DEL MUESTREO	
Longitud total de la vía	1740 m
Ancho de la vía	7 m
43 tramos de	40 × 7 m (280 m ²)
1 tramo de	20 × 7 m (140 m ²)
Total de unidades de muestreo (N)	44 tramos
Área total de la vía	1740 m × 7 m = 12.180 m ²
Unidades inspeccionadas (n)	12 tramos
Área inspeccionada	12 × 280 m ² = 3360 m ²
% del área evaluada	$(3360 \div 12.180) \times 100 \approx 27.6 \%$
Intervalo de espaciamiento (i)	3 tramos
Tramos seleccionados	1, 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28, 31, 34
Coordenadas abscisa 0+000	2° 1'12.96" S, 80°43'14.21" O
Coordenadas abscisa 0+1740	2° 1'30.04" S, 80°44'7.93" O
Normativa técnica aplicada	ASTM D6433 – Método PCI


3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se empleó una ficha técnica de inspección, modificada del manual del método PCI (ASTM D6433), para la recopilación de datos, lo que facilitó el registro sistemático y exacto de las características de deterioro detectadas en cada tramo.

Además, se utilizarán herramientas auxiliares de medición y registro en terreno, como:

Tabla 7: Instrumentos de recolección de datos

Instrumento	Descripción	Función dentro del estudio	Foto
Cámara fotográfica	Dispositivo digital de alta resolución	Captura de imágenes de las fallas encontradas en cada tramo	
Flexómetro	Cinta metálica retráctil	Medición de largo y ancho de las fallas, así como dimensiones de los tramos	
Odómetro	Dispositivo de medición de distancia	Determinación precisa de las longitudes a lo largo de la vía	


Manual PCI	Guía metodológica del U.S. Army Corps of Engineers	Base normativa para identificación y clasificación de fallas	
------------	--	--	---

3.5. Aplicación del método PCI en el tramo 1

3.5.1 Determinación de las fallas y registro de severidad

Como consecuencia de la determinación muestral, se escogieron 12 unidades de muestras distribuidas a lo largo de la vía 16 de Julio. Cada unidad equivale a un segmento de 40 metros de longitud y 7 metros de anchura, lo que equivale a una superficie de 280 metros². En cada segmento se determinaron las clases de daño de acuerdo con el listado del método PCI (como la piel de cocodrilo, exudación, agrietamiento, desprendimiento de agregados, entre otros), además del nivel de gravedad (de baja, media o alta), empleando las claves "L", "M" o "H" correspondientes. Se desarrolló la ubicación de cada falla desde el comienzo del segmento (0 metros), acumulando la distancia cubierta hasta alcanzar los 40 metros fijados. Cada daño se midió en metros cuadrados o metros lineales, en función del tipo de daño, y se anotó la cantidad de incidentes en la columna "cantidad". Luego, se calculó el área total impactada multiplicando el largo por el ancho del daño registrado. Como ejemplo, se muestra el registro vinculado a la unidad de muestreo número 1.

Tabla 8: unidad de muestreo 1

ABSCISA INICIAL	0+000	UNIDAD DE MUESTREO	1	ZONA	VÍA 16 DE JULIO	Fecha										
ABSCISA FINAL	0+040	ÁREA DE MUESTREO (m2)	280	INSPECCIONADO POR	DELGADO PALMA LUIS ANDRÉS											
TIPOS DE FALLAS				ESQUEMA												
1. Piel de cocodrilo 2. Exudación 3. Agrietamiento en bloque 4. abultamientos y hundimientos 5. Corrugación 6. Depresión 7. Grieta de borde 8. Grieta de reflexión de junta 9. Desnivel carril / berma 10. Grietas long y transversales 11. Parcheo 12. Pulimento de Agregados 13. Huecos N# 14. Cruce de vía férrea 15. Ahuellamiento 16. Desplazamiento 17. Grieta parabólica (slippage) 18. Hinchamiento 19. Desprendimiento de agregados																
NIVEL DE SEVERIDAD		UNIDADES DE MUESTREO		Interv. De unidad de m		Número máximo de VD										
LOW	Baja	L	$n = \frac{N \cdot s^2}{\left(\frac{c^2}{4} \cdot (N - 1)\right) + s^2} = 12$		$i = N/n = 3$		$m_i = 1.00 + \frac{9}{98} (100 - HDV_i)$									
MEDIUM	Media	M	TIPOS DE FALLAS EXISTENTES													
HIGH	Alta	H														
86-100	EXCELENTE															
71-85	MUY BUENO															
56-70	BUENO															
41-55	REGULAR															
26-40	POBRE															
11-25	MUY POBRE															
0-10	FALLADO															
		1		2		4		6		7		12		13		
		Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	
		0,73	M	2,56	H	4,76	H	0,43	M	0,85	M	246,75	unica	2	H	
		4,6	H	0,52	H	0,9	H			0,4	L					
		1,74	M			6,97	H									
		2,26	H													
		1,96	H													
TOTAL		BAJA (L)										N/A				
		MEDIA (M)		2,47				0,43		0,85		N/A				
		ALTA (H)		8,82		3,08		12,63		0,4		N/A		2		

A continuación, se llevó a cabo la suma de las zonas impactadas por cada nivel de gravedad (baja, media y alta), con el objetivo de determinar la cantidad total de deterioro en la unidad de muestra evaluada. Este estudio facilita no solo la identificación de los tipos de avería existentes, sino también su severidad y extensión en el tramo examinado.

Tabla 9: Suma total de las fallas existentes

NIVEL DE SEVERIDAD		TIPOS DE FALLAS EXISTENTES													
86-100	EXCELENTE														
71-85	MUY BUENO														
56-70	BUENO														
41-55	REGULAR														
26-40	POBRE														
11-25	MUY POBRE														
0-10	FALLADO														
		1		2		4		6		7		12		13	
		Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.
		0,73	M	2,56	H	4,76	H	0,43	M	0,85	M	246,75	unica	2	H
		4,6	H	0,52	H	0,9	H			0,4	L				
		1,74	M			6,97	H								
		2,26	H												
		1,96	H												
TOTAL		BAJA (L)										N/A			
		MEDIA (M)		2,47				0,43		0,85		N/A			
		ALTA (H)		8,82		3,08		12,63		0,4		N/A		2	

3.5.2 Cálculo de densidades

Después de haber identificado las zonas impactadas por cada tipo de avería, se llevó a cabo el cálculo de la densidad (%), que se refiere al porcentaje del área dañada en relación con el área total del segmento. Se obtuvo a través de la siguiente fórmula :

$$\text{Densidad (\%)} = \left(\frac{\text{Área de la falla (m}^2\text{)}}{280} \right) \times 100$$

El área de 280 m² corresponde a la unidad de muestreo (40 m x 7 m). Este valor facilita la determinación del nivel de impacto relativo de cada tipo de fallo en el segmento evaluado. Según la densidad y la clase de falla, se recurrió a las tablas del método PCI (de acuerdo con el manual ASTM D6433) para calcular el valor deducido (VD) correspondiente. Esta tabla proporciona un valor deducido basándose en la categoría del daño, su gravedad y su densidad.

Tabla 10: densidad de las fallas del tramo

Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad (%)
1	M	2,47	0,9%
1	H	8,82	3,2%
2	H	3,08	1,1%
4	H	12,63	4,5%
6	M	0,43	0,2%
7	M	0,85	0,3%
7	N/A	0,4	0,1%
12	L	246,75	88,1%
13	H	2	0,7%

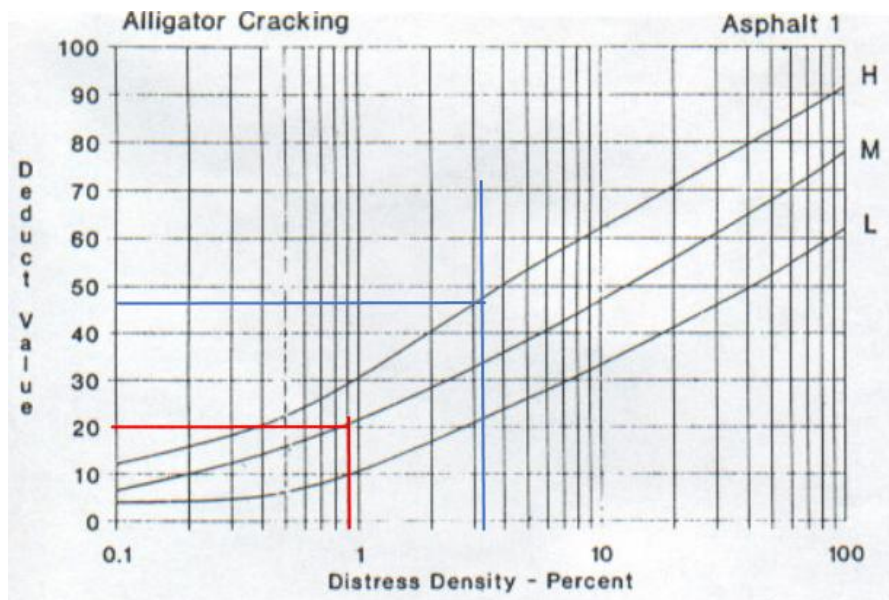
3.5.3 Cálculo del valor deducido

Tras establecer la densidad de cada clase de falla detectada en el tramo, se llevó a cabo el cálculo del valor deducido (VD). Este valor simboliza el efecto individual de cada daño en la condición del pavimento, y se determina mediante las tablas del método PCI, que vinculan un valor deducido según el tipo de daño, su nivel de gravedad (baja, media o alta) y la densidad (%).

Tabla 11: Valor deducido en base a la densidad

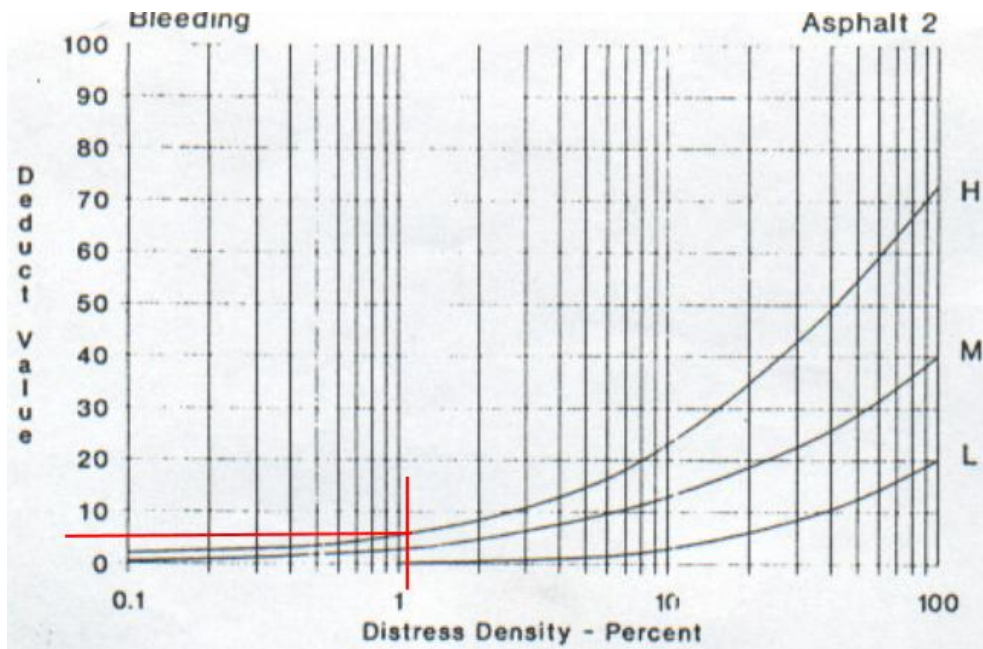
Densidad (%)	Valor deducido
0,9%	20
3,2%	47
1,1%	6
4,5%	57
0,2%	8
0,3%	8
0,1%	12
88,1%	18
0,7%	46

Figura 24: Curva para el valor de deducción del deterioro “piel de cocodrilo”



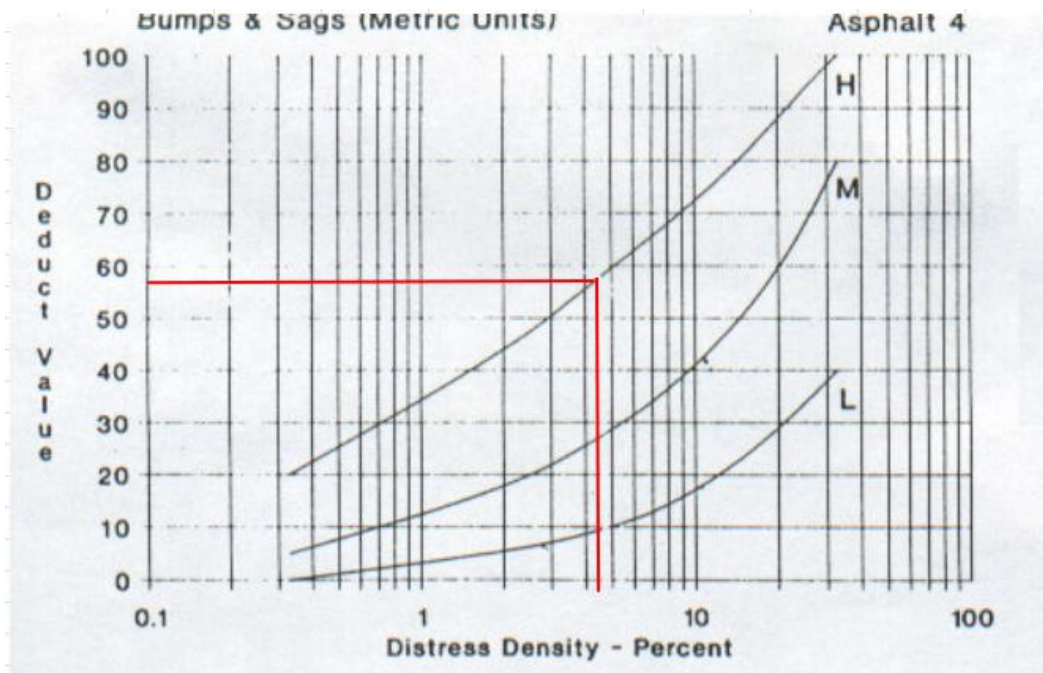
Fuente: AASHTO (1993)

Figura 25: Curva para el valor de deducción del deterioro “Exudación”



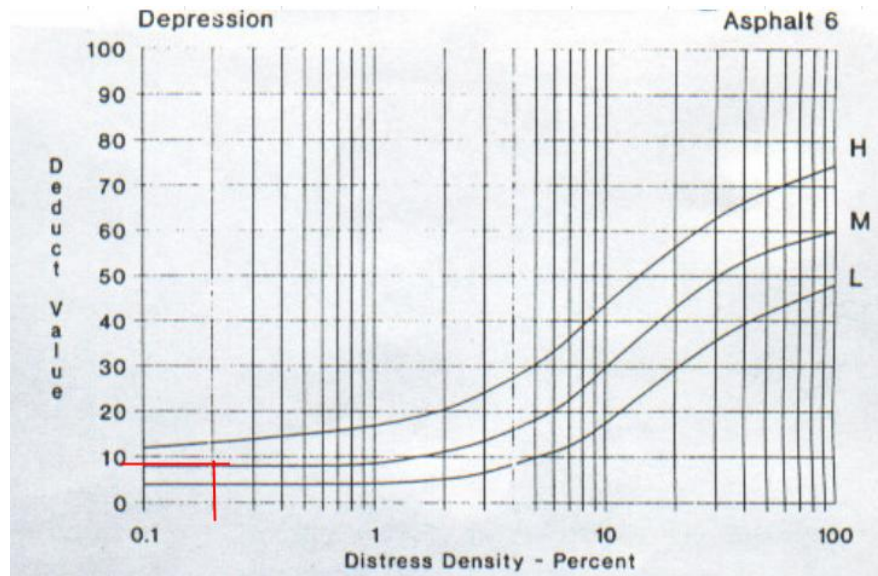
Fuente: AASHTO (1993)

Figura 26: Curva para el valor de deducción del deterioro “abultamiento y hundimientos”



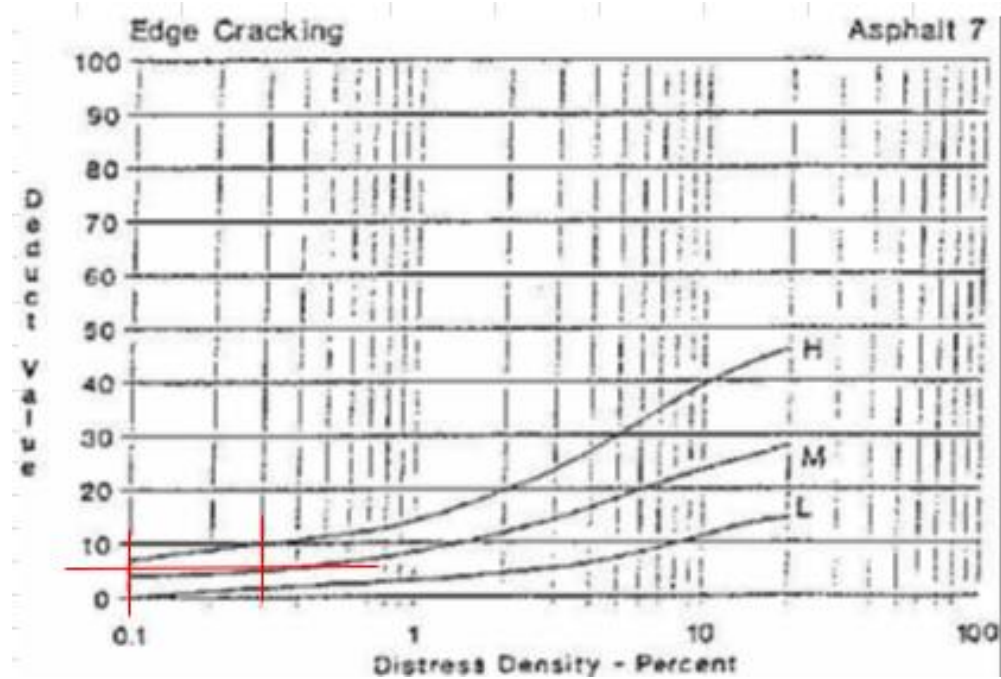
Fuente: AASHTO (1993)

Figura 27: Curva para el valor de deducción del deterioro “depresión”



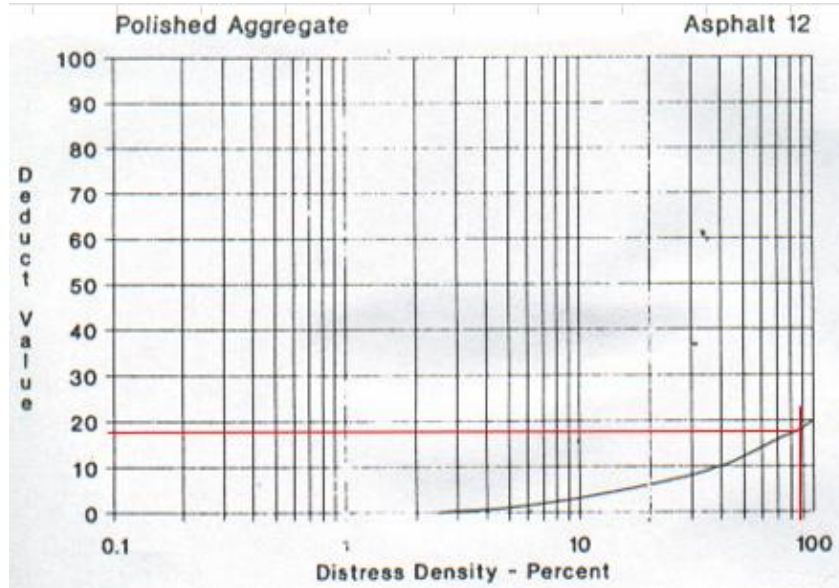
Fuente: AASHTO (1993)

Figura 28: Curva para el valor de deducción del deterioro “Grieta de borde”



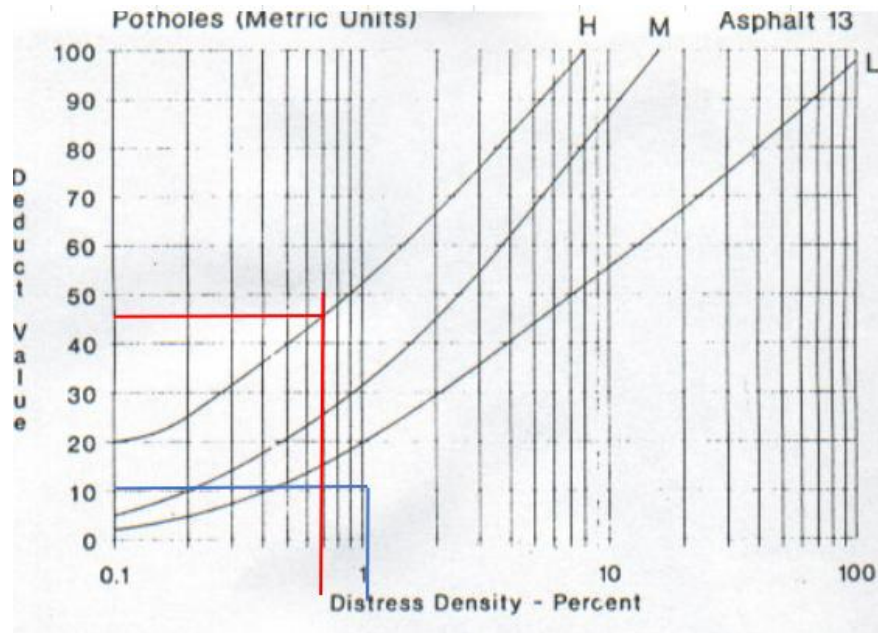
Fuente: AASHTO (1993)

Figura 29: Curva para el valor de deducción del deterioro “agregado pulido”



Fuente: AASHTO (1993)

Figura 30: Curva para el valor de deducción del deterioro “baches”



Fuente: AASHTO (1993)

3.5.4 Determinación del número máximo de valores deducidos (q máx.)

Cuando se observan diversas clases de fallos en un mismo segmento, se deben tener en cuenta sus correspondientes valores deducidos individualmente. No obstante, el método PCI establece un límite en la cantidad de valores deducidos que pueden emplearse para determinar el valor deducido corregido (VDC). Este límite se conoce como número máximo de VD permitidos o q máximo, y se determina utilizando la siguiente fórmula:

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

Donde:

- m_i = número máximo de valores deducidos permitidos (redondeado al número entero más próximo)
- HDV_i = el valor deducido más alto entre todas las fallas del tramo

Este valor se emplea para restringir el número de valores deducidos que se incorporan en la fórmula del VDC. Si se identifican más valores deducidos que el máximo permitido, únicamente se toman los más elevados y el resto se descarta en el cálculo del VDT. Este ajuste posibilita representar de forma más realista el descenso del tramo, pues previene que varios daños menores impacten de manera desmedida el valor del PCI.

Ejemplo aplicado

En el tramo 1, el valor deducido más alto fue **57**, correspondiente a un abultamiento de severidad alta. Aplicando la fórmula:

$$m_i = 1.00 + \frac{9}{98} \times (100 - 57) = 1.00 + \frac{9}{98} \times 43 \approx 1.00 + 3.95 = 4.95 \Rightarrow 5$$

Por lo tanto, el número máximo de valores deducidos que pueden ser considerados en el cálculo del VDC para este tramo es 5.

Tabla 12: Cálculo del valor qmax y determinación del valor deducido máximo

Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad (%)	Valor deducido	<p>Número de valores deducidos > 2(q)</p> <p>Valor deducido más alto = 57</p> <p>Número máximo de VD (m) = 4,95</p>
1	M	2,47	0,9%	20	
1	H	8,82	3,2%	47	
2	H	3,08	1,1%	6	
4	H	12,63	4,5%	57	
6	M	0,43	0,2%	8	
7	M	0,85	0,3%	8	
7	N/A	0,4	0,1%	12	
12	L	246,75	88,1%	18	
13	H	2	0,7%	46	

3.5.5 Cálculo del Valor Deducido Corregido (VDC) y del PCI final

Una vez establecidos los valores deducidos individuales para cada tipo de falla (en función de su densidad y gravedad), se llevó a cabo el cálculo del valor deducido total (VDT) por unidad de muestreo, a través de la suma de los valores deducidos elegidos para cada fila. No obstante, dado que la adición directa de todos los valores puede subestimar el deterioro real, se utilizó la fórmula de corrección para determinar el valor deducido corregido (VDC).

El método PCI dicta que no se deben tomar en cuenta todos los valores deducidos en el cálculo. Por esta razón, inicialmente se consideró el valor deducido más elevado (HDV), que en esta situación era 57. Con este valor se determinará el número máximo permitido de valores deducidos (q máximo) empleando la fórmula siguiente:

$$m_i = 1.00 + \frac{9}{98} \times (100 - HDV) = 1.00 + \frac{9}{98} \times (43) \approx 4.95 \Rightarrow 5$$

Esto implica que únicamente los cinco valores más elevados deducidos pueden emplearse para calcular el VDC.

$$PCI = 100 - \text{Máx. VDC} = 100 - 91 = 9$$

Este hallazgo se sitúa al tramo en la categoría "FALLADO", de acuerdo con la escala del método PCI, lo que señala un estado de deterioro grave que necesita una intervención inmediata y una reconstrucción total del pavimento.

CAPITULO IV

4.1 Evaluación de la condición del pavimento por unidad de muestreo

Para analizar los hallazgos, se examinaron 49 muestras de muestreos vinculados con la vía 16 de Julio, ubicada en la comuna Palmar del cantón Santa Elena. Cada unidad disponía de una superficie de 280 m², conforme a las pautas establecidas por el método PCI (Índice de Condición del Pavimento), definido por la norma ASTM D6433.

Se establecerán las categorías de errores presentes en cada unidad de muestreo, su nivel de severidad (básico, medio o alto) y la superficie impactada en metros cuadrados. Posteriormente, se determinaron los valores individuales obtenidos y corregidos mediante ábacos, lo que simplificó la determinación del valor final del PCI por tramo.

Los resultados se organizaron a través de fichas técnicas que comprenden:

- La lista de errores detectados.
- La determinación del valor total deducido (VDT).
- El valor correcto deducido (VDC).
- El resultado final del Índice PCI.


- El estado del pavimento ordenado de acuerdo al rango PCI (excelente, bueno, regular, malo, muy malo o fallado).
- Imágenes que ilustran la condición superficial del pavimento.
- El ábaco empleado para determinar el VDC.

Esta información permitió obtener una perspectiva técnica y visual del estado presente de la carretera, identificando con precisión los segmentos más deteriorados y los que se encontraban en condiciones más propicias. Se evidencia que los defectos más comunes abarcan el pulido de agregados, el agrietamiento en bloque, la piel de cocodrilo, las fisuras y las fisuras de longitud y ancho.

Las siguientes páginas presentan las fichas técnicas vinculadas a cada unidad de muestreo, acompañadas de sus respectivos ábacos y registros fotográficos. Esta información se emplea como base para la evaluación comparativa final y para proponer recomendaciones técnicas específicas enfocadas en el mantenimiento y rehabilitación de carreteras.

4.2 unidad de muestreo 1 – tramo 1 - abscisa desde 0+000 / 0+040

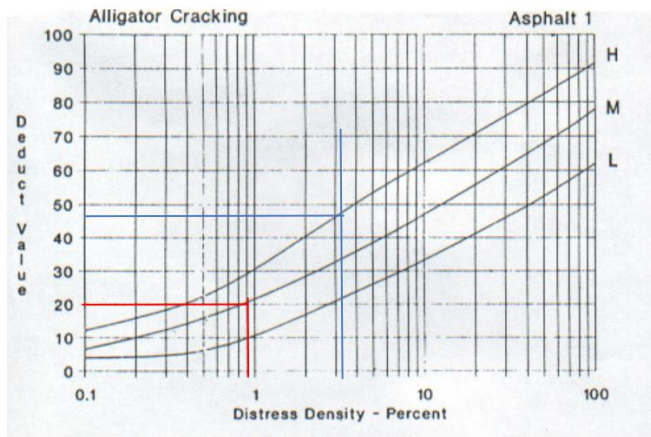
Tabla 14: Ficha técnica de evaluación PCI – Unidad de muestreo 1

ABSCISA INICIAL	0+000	UNIDAD DE MUESTREO	1	ZONA	VÍA 16 DE JULIO	Fecha		
ABSCISA FINAL	0+040	ÁREA DE MUESTREO (m2)	280	INSPECCIONADO POR	DELGADO PALMA LUIS ANDRÉS	7/6/2025		
TIPOS DE FALLAS				ESQUEMA				
1. Piel de cocodrilo 2. Exudación 3. Agrietamiento en bloque 4. abultamientos y hundimientos 5. Corrugación 6. Depresión 7. Grieta de borde 8. Grieta de reflexión de junta 9. Desnivel carril / berma 10. Grietas long y transversales 11. Parcheo 12. Pulimento de Agregados 13. Huecos N# 14. Cruce de via férrea 15. Ahuellamiento 16. Desplazamiento 17. Grieta parabólica (slippage) 18. Hinchamiento 19. Desprendimiento de agregados								
NIVEL DE SEVERIDAD LOW Baja L MEDIUM Media M HIGH Alta H		UNIDADES DE MUESTREO	Interv. De unidad de m	Número máximo de VD				
		$n = \frac{N \cdot s^2}{\left(\frac{s^2}{i} \cdot (N - 1)\right) + s^2} = 12$	$i = N/n = 3$	$m_i = 1.00 + \frac{9}{98} (100 - HDV_i)$				
TIPOS DE FALLAS EXISTENTES								
		1	2	4	6	7	12	13
		Cant. Sev.	Cant. Sev.	Cant. Sev.	Cant. Sev.	Cant. Sev.	Cant. Sev.	Cant. Sev.
		0,73 M	2,56 H	4,76 H	0,43 M	0,85 M	246,75 unica	2 H
		4,6 H	0,52 H	0,9 H		0,4 L		
		1,74 M		6,97 H				
		2,26 H						
		1,96 H						
TOTAL		BAJA (L)					N/A	
		MEDIA (M)	2,47		0,43	0,85	N/A	
		ALTA (H)	8,82	3,08	12,63	0,4	N/A	2
CALCULO DEL PCI								
Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad (%)	Valor deducido	Número de valores deducidos > 2(q) Valor deducido más alto = 57 Número máximo de VD (m) = 4,95			
1	M	2,47	0,9%	20				
1	H	8,82	3,2%	47				
2	H	3,08	1,1%	6				
4	H	12,63	4,5%	57				
6	M	0,43	0,2%	8				
7	M	0,85	0,3%	6				
7	H	0,4	0,1%	7				
12	N/A	246,75	88,1%	18				
13	H	2	0,7%	46				
#	VALORES DEDUCIDOS					VDT	q	VDC
1	57	47	46	20	17,1	187,1	5	90,5
2	57	47	46	20	2	172	4	91
3	57	47	46	2	2	154	3	90
4	57	47	2	2	2	110	2	76
5	57	2	2	2	2	65	1	65
						Max. VDC	91	
INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)						$PCI = 100 - MÁX. VDC$ $PCI = 9$		
CONDICION DEL PAVIMENTO						FALLADO		

Elaborado por Delgado Luis, 2025

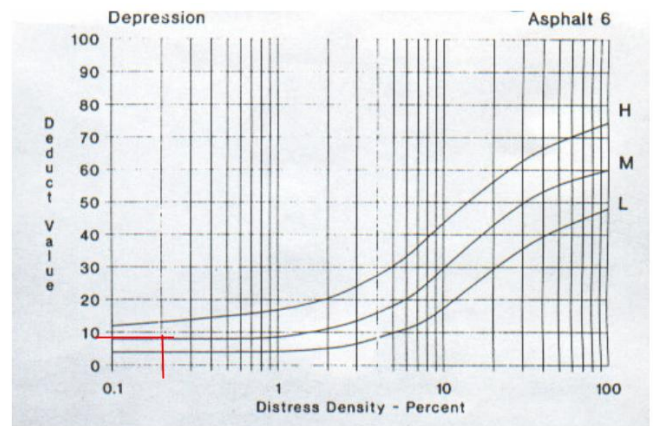
4.2.1 Valores deducidos de la unidad de muestreo 1

Figura 31 – Ábaco para Piel de cocodrilo



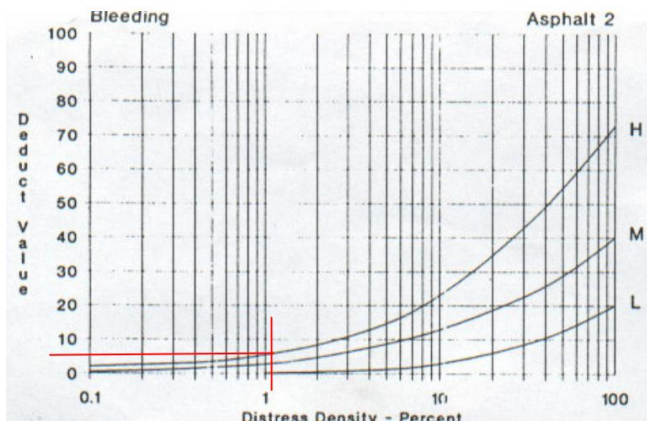
Fuente: ASTM D6433 (2003)

Figura 32 – Ábaco aplicado para depresión



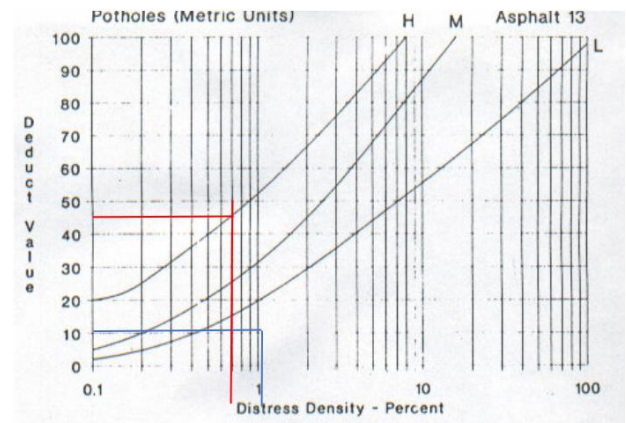
Fuente: ASTM D6433 (2003)

Figura 33 – Ábaco para exudación



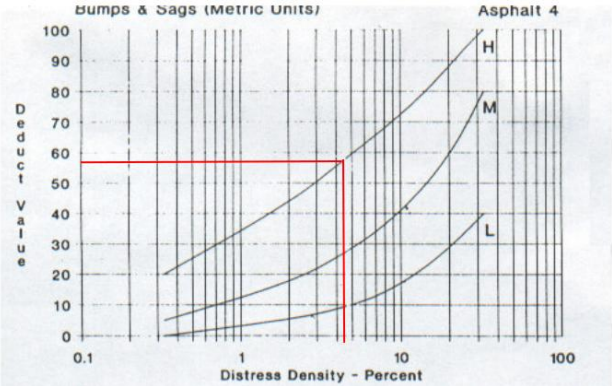
Fuente: ASTM D6433 (2003)

Figura 34 – Ábaco aplicado para baches



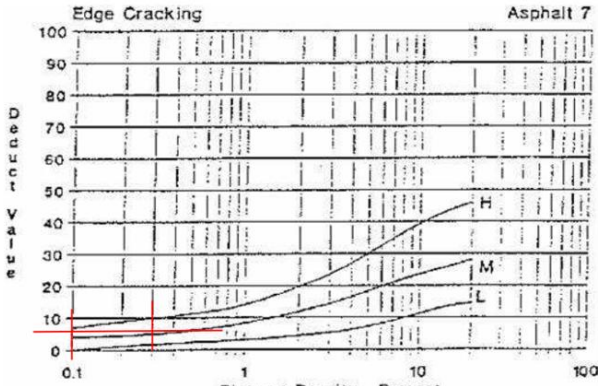
Fuente: ASTM D6433 (2003)

Figura 35 – Ábaco para abultamiento y hundimientos



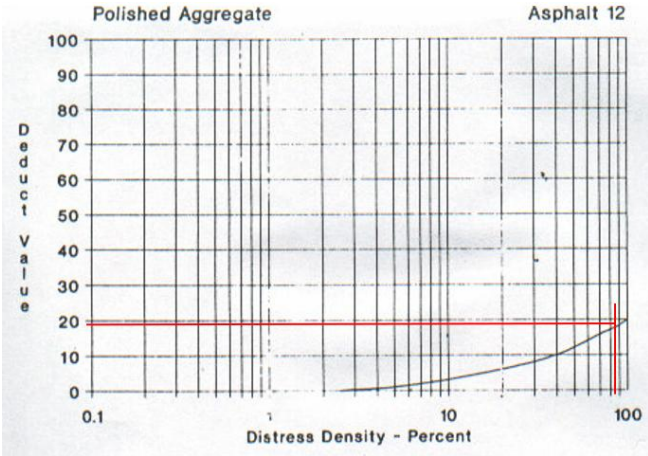
Fuente: ASTM D6433 (2003)

Figura 36 – Ábaco para fisura de borde



Fuente: ASTM D6433 (2003)

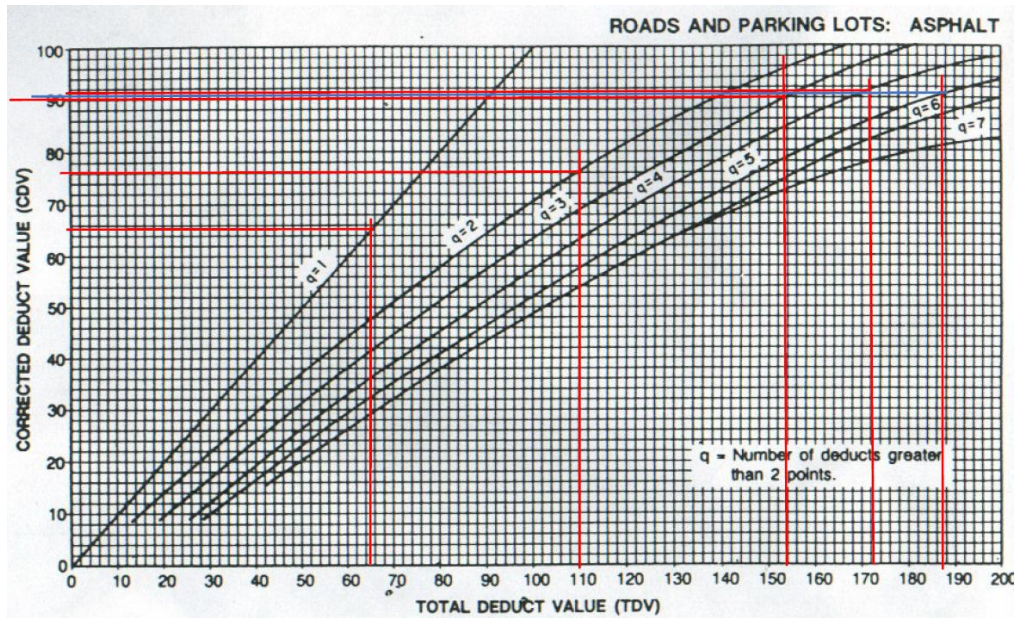
Figura 37 – Ábaco para agregado pulido



Fuente: ASTM D6433 (2003)

4.2.2 Valores corregidos de la unidad de muestreo 1

Figura 38. Ábaco para corrección TDV - muestreo 1

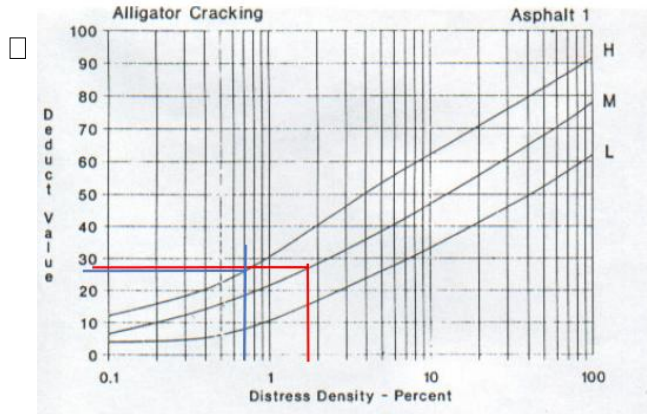


Fuente: ASTM D6433 (2003)

La unidad de muestreo 1 evidenció un alto grado de deterioro, exhibiendo ocho categorías de fallos, sobresaliendo sobre todo el pulido de agregados y el agrietamiento en bloque, ambos de gran severidad. El valor más elevado calculado fue de 57, y se utilizaron cinco valores que excedían el 2, lo que ocasionó un VDC de 91. El Índice de Condición Final (PCI) alcanzó un puntaje de 9, categorizando este segmento como fallado, lo que indica la necesidad de una intervención inmediata.

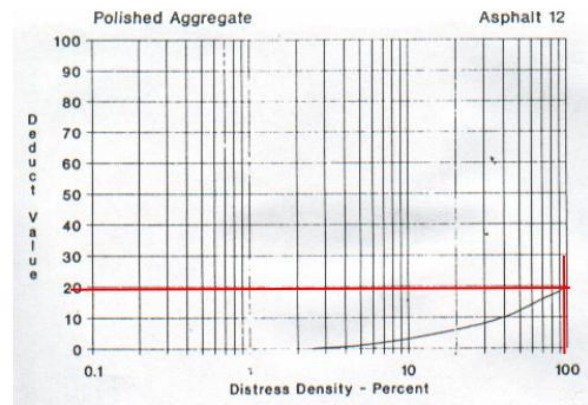
4.3.1 Valores deducidos de la unidad de muestreo 2

Figura 39 – Ábaco para Piel de cocodrilo



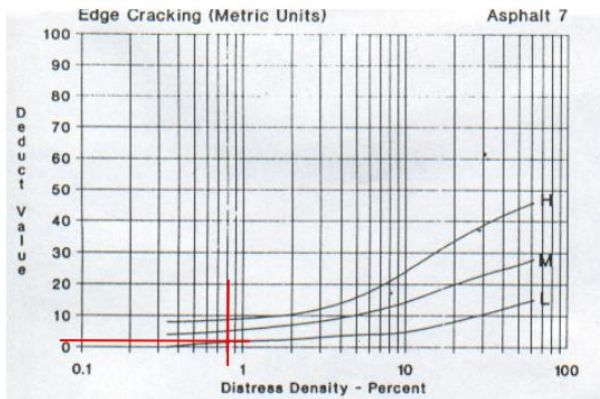
Fuente: ASTM D6433 (2003)

Figura 40 – Ábaco pulido de agregados



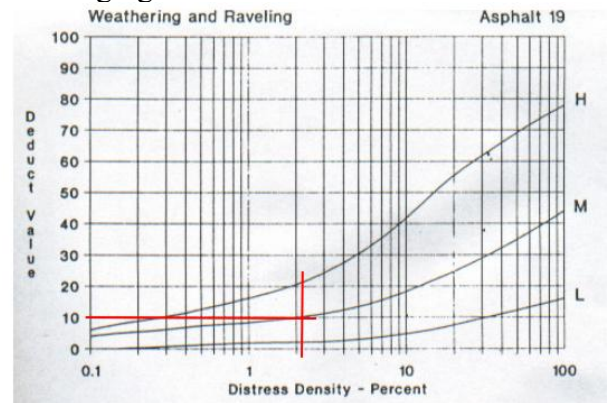
Fuente: ASTM D6433 (2003)

Figura 41 – Ábaco para grieta de borde



Fuente: ASTM D6433 (2003)

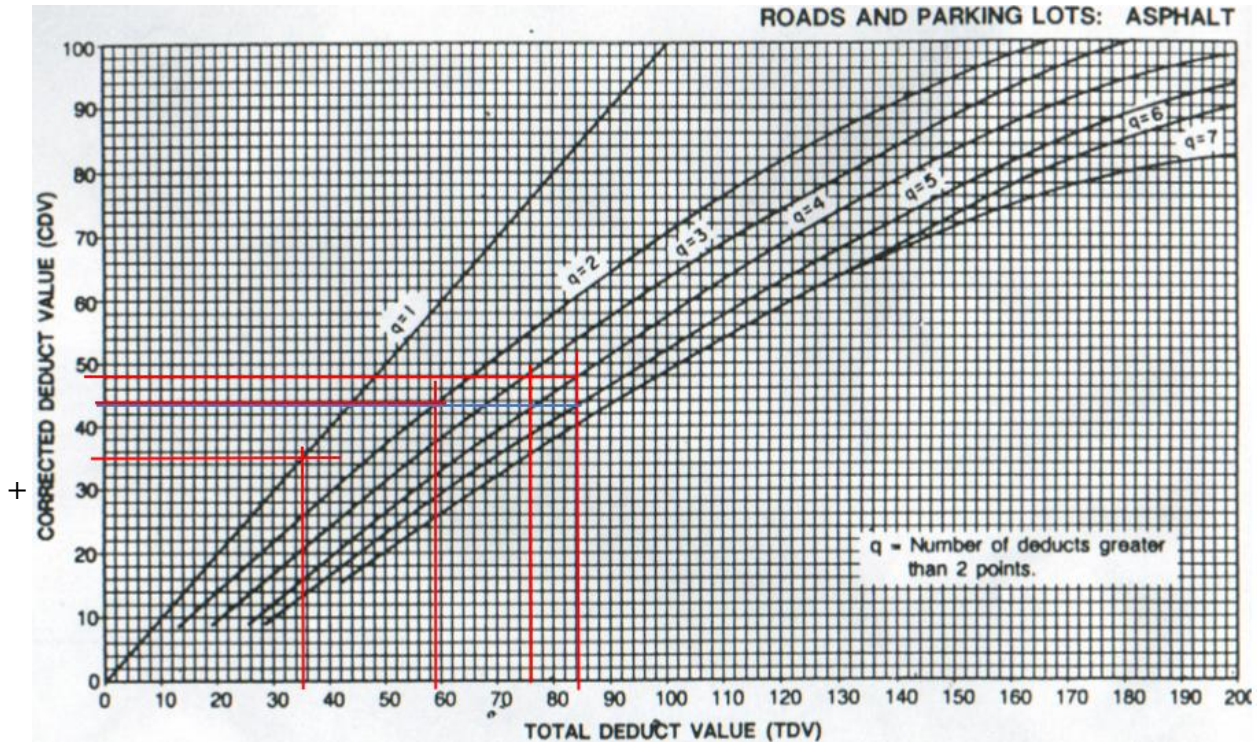
Figura 42 – Ábaco para desprendimiento de agregados



Fuente: ASTM D6433 (2003)

4.2.2 Valores corregidos de la unidad de muestreo 2

Figura 43. Ábaco para corrección TDV, muestreo 2



Fuente: ASTM D6433 (2003)

En la unidad de muestreo 2, situada en la abscisa 0+120 a 0+160, se identifican seis tipos distintos de fallos, sobresaliendo sobre todo el pulido de agregados, con una densidad del 94,4%, clasificada como la única por su longitud. Otras fallas registradas incluyeron piel de cocodrilo, exudación, agrietamiento en bloque y desprendimiento de agregados, con niveles de severidad que oscilaban entre medio y alto. Este valor destaca la relevancia de poner en marcha acciones de mantenimiento preventivo o correctivo moderado, antes de que el deterioro evolucione hacia circunstancias más severas. El valor más elevado deducido fue de 27, y se obtuvieron cinco valores que excedieron el 2, razón por la cual se usó el ábaco general para ajustar el total deducido.

4.4 Unidad de muestreo 3 – Tramo 7 – Abscisa: 0+240 / 0+280

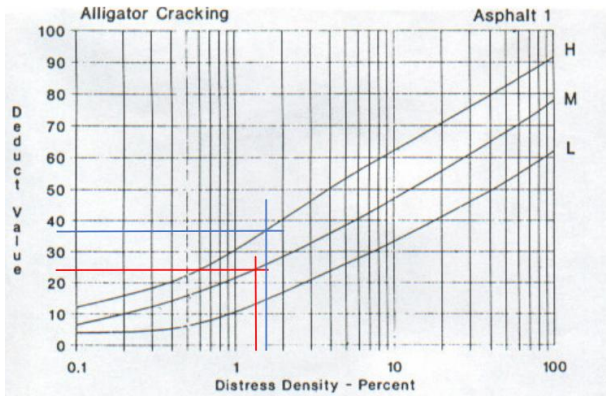
Tabla 16. Ficha técnica de evaluación PCI – Unidad de muestreo 3

ABSCISA INICIAL	0+240	UNIDAD DE MUESTREO	3	ZONA	VÍA 16 DE JULIO	Fecha																																																																																																																																																																																			
ABSCISA FINAL	0+280	ÁREA DE MUESTREO (m2)	280	INSPECCIONADO POR	DELGADO PALMA LUIS ANDRÉS	7/6/2025																																																																																																																																																																																			
TIPOS DE FALLAS				ESQUEMA																																																																																																																																																																																					
1. Piel de cocodrilo (m2) 2. Exudación (m2) 3. Agrietamiento en bloque (m2) 4. abultamientos y hundimientos (m2) 5. Corrugación (m2) 6. Depresión (m2) 7. Grieta de borde (m) 8. Grieta de reflexión de junta (m) 9. Desnivel carril / berma (m) 10. Grietas long y transversales (m2)				11. Parcheo (m2) 12. Pulimento de Agregados (m2) 13. Huecos N# 14. Cruce de via férrea (m2) 15. Ahuellamiento (m2) 16. Desplazamiento (m2) 17. Grieta parabólica (slippage) (m2) 18. Hinchamiento (m2) 19. Desprendimiento de agregados (m2)																																																																																																																																																																																					
<table border="1"> <tr> <th colspan="3">NIVEL DE SEVERIDAD</th> </tr> <tr> <td>LOW</td> <td>Baja</td> <td>L</td> </tr> <tr> <td>MEDIUM</td> <td>Media</td> <td>M</td> </tr> <tr> <td>HIGH</td> <td>Alta</td> <td>H</td> </tr> </table>				NIVEL DE SEVERIDAD			LOW	Baja	L	MEDIUM	Media	M	HIGH	Alta	H	UNIDADES DE MUESTREO	Interv. De unidad de m	Número máximo de VD																																																																																																																																																																							
NIVEL DE SEVERIDAD																																																																																																																																																																																									
LOW	Baja	L																																																																																																																																																																																							
MEDIUM	Media	M																																																																																																																																																																																							
HIGH	Alta	H																																																																																																																																																																																							
$n = \frac{N \cdot s^2}{\left(\frac{e^2}{4} \cdot (N - 1)\right) + s^2} = 12$				$i = N/n = 3$	$m_i = 1.00 + \frac{9}{98} (100 - HDV_i)$																																																																																																																																																																																				
TIPOS DE FALLAS EXISTENTES																																																																																																																																																																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="2">1</th> <th colspan="2">4</th> <th colspan="2">12</th> <th colspan="2">19</th> <th colspan="2"></th> <th colspan="2"></th> <th colspan="2"></th> </tr> <tr> <th>Cant.</th> <th>Sev.</th> <th>Cant.</th> <th>Sev.</th> <th>Cant.</th> <th>Sev.</th> <th>Cant.</th> <th>Sev.</th> <th>Cant.</th> <th>Sev.</th> <th>Cant.</th> <th>Sev.</th> <th>Cant.</th> <th>Sev.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>86-100 EXCELENTE</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>71-85 MUY BUENO</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>56-70 BUENO</td> <td>3,04</td><td>M</td> <td>1,58</td><td>M</td> <td>263,87</td><td>L</td> <td>2,03</td><td>L</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>41-55 REGULAR</td> <td>0,94</td><td>M</td> <td></td><td></td><td></td><td></td> <td>1,46</td><td>L</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>26-40 POBRE</td> <td>4,86</td><td>H</td> <td></td><td></td><td></td><td></td> <td>4,21</td><td>M</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>11-25 MUY POBRE</td> <td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td> <td>2,12</td><td>M</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>0-10 FALLADO</td> <td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>TOTAL</td> <td colspan="2">BAJA (L)</td> <td colspan="2">0,85</td> <td colspan="2">263,87</td> <td colspan="2">3,49</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="2">MEDIA (M)</td> <td colspan="2">3,98</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">6,33</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="2">ALTA (H)</td> <td colspan="2">4,86</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> </tbody> </table>								1		4		12		19								Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	86-100 EXCELENTE															71-85 MUY BUENO															56-70 BUENO	3,04	M	1,58	M	263,87	L	2,03	L							41-55 REGULAR	0,94	M					1,46	L							26-40 POBRE	4,86	H					4,21	M							11-25 MUY POBRE							2,12	M							0-10 FALLADO															TOTAL	BAJA (L)		0,85		263,87		3,49									MEDIA (M)		3,98				6,33									ALTA (H)		4,86											
	1		4		12			19																																																																																																																																																																																	
	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.																																																																																																																																																																											
86-100 EXCELENTE																																																																																																																																																																																									
71-85 MUY BUENO																																																																																																																																																																																									
56-70 BUENO	3,04	M	1,58	M	263,87	L	2,03	L																																																																																																																																																																																	
41-55 REGULAR	0,94	M					1,46	L																																																																																																																																																																																	
26-40 POBRE	4,86	H					4,21	M																																																																																																																																																																																	
11-25 MUY POBRE							2,12	M																																																																																																																																																																																	
0-10 FALLADO																																																																																																																																																																																									
TOTAL	BAJA (L)		0,85		263,87		3,49																																																																																																																																																																																		
	MEDIA (M)		3,98				6,33																																																																																																																																																																																		
	ALTA (H)		4,86																																																																																																																																																																																						
CÁLCULO DEL PCI																																																																																																																																																																																									
Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad (%)	Valor deducido	Número de valores deducidos > 2(q) Valor deducido más alto = 24,5 Número máximo de VD (m) = 7,93																																																																																																																																																																																				
1	M	3,98	1,4%	24,5																																																																																																																																																																																					
1	H	4,86	1,7%	37																																																																																																																																																																																					
4	M	1,58	0,6%	9																																																																																																																																																																																					
12	UNICO	263,87	94,2%	19																																																																																																																																																																																					
19	L	3,49	1,2%	2																																																																																																																																																																																					
19	M	6,33	2,3%	10																																																																																																																																																																																					
VALORES DEDUCIDOS																																																																																																																																																																																									
#	VALORES DEDUCIDOS						VDT	q	VDC																																																																																																																																																																																
1	37	24,5	19	10	9	2	101,5	6	49																																																																																																																																																																																
2	37	24,5	19	10	9	2	101,5	5	52																																																																																																																																																																																
3	37	24,5	19	10	2	2	94,5	4	54																																																																																																																																																																																
4	37	24,5	19	2	2	2	86,5	3	56																																																																																																																																																																																
5	37	24,5	2	2	2	2	69,5	2	51																																																																																																																																																																																
6	37	2	2	2	2	2	47	1	47																																																																																																																																																																																
Max. VDC								56																																																																																																																																																																																	
INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)							$PCI = 100 - MÁX.VDC$ $PCI = 44$																																																																																																																																																																																		
CONDICION DEL PAVIMENTO							REGULAR																																																																																																																																																																																		

Elaborado por Delgado Luis, 2025

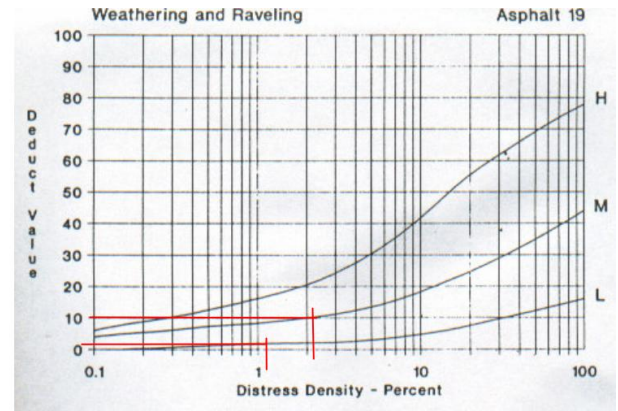
4.4.1 Valores deducidos de la unidad de muestreo 3

Figura 44 – Ábaco para Piel de cocodrilo



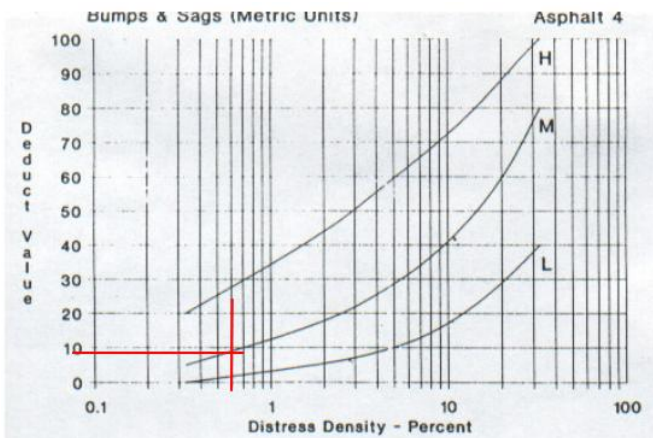
Fuente: ASTM D6433 (2003)

Figura 45 – Ábaco para peladura y desprendimiento de agregados



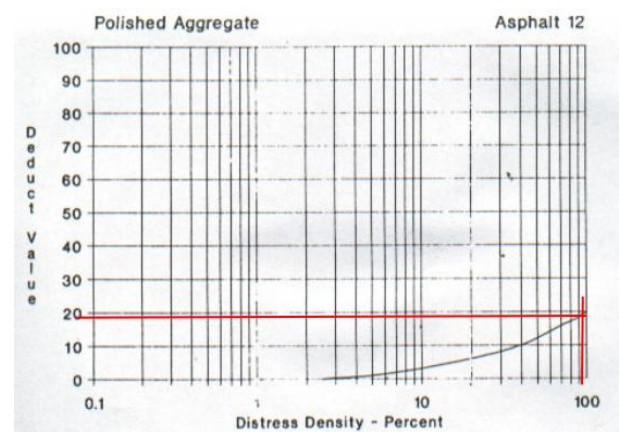
Fuente: ASTM D6433 (2003)

Figura 46 – Ábaco para abultamiento y hundimiento



Fuente: ASTM D6433 (2003)

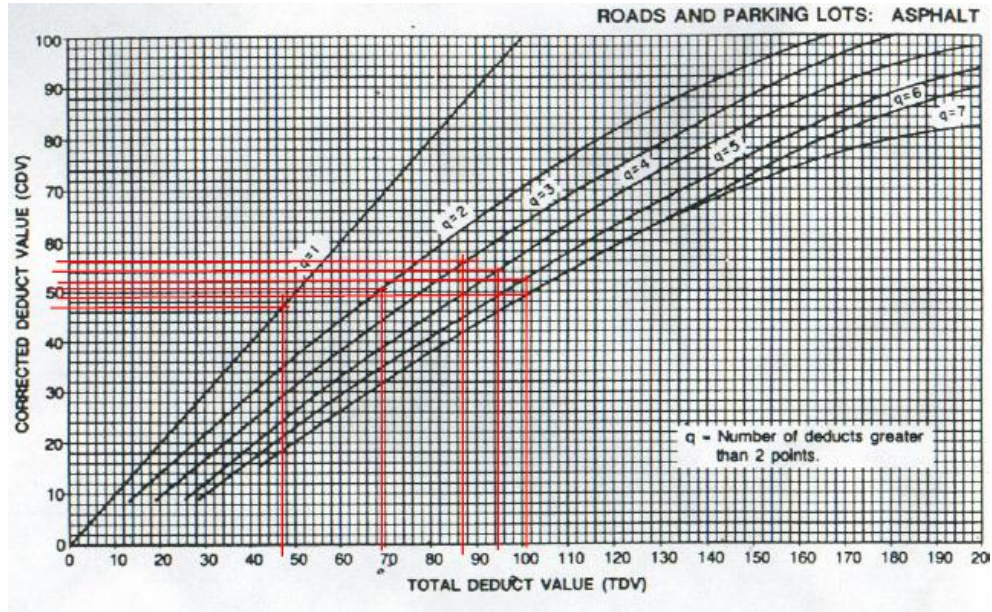
Figura 47 – Ábaco para desprendimiento de agregados



Fuente: ASTM D6433 (2003)

4.2.2 Valores corregidos de la unidad de muestreo 3

Figura 48. Ábaco para corrección TDV, muestreo 3



La unidad de muestreo 3 registró un total de cinco clases de fallas, destacando entre las más destacadas el pulido de agregados, con una densidad del 94,2% (primera gravedad), y la piel de cocodrilo, con una gravedad de nivel medio y alto. Además, se reportaron fallos de carácter abultamiento, vacíos y desprendimiento de agregados, con distintos grados de gravedad.

El valor más alto estimado fue de 37, correspondiente a la piel de cocodrilo de gran severidad, y se identificaron cinco valores que excedían el 2 ($q = 5$). Luego de realizar la corrección mediante el ábaco, se obtuvo un valor deducido corregido (VDC) de 56, lo que derivó en un PCI final de 44, situando este segmento en la categoría de estado regular.

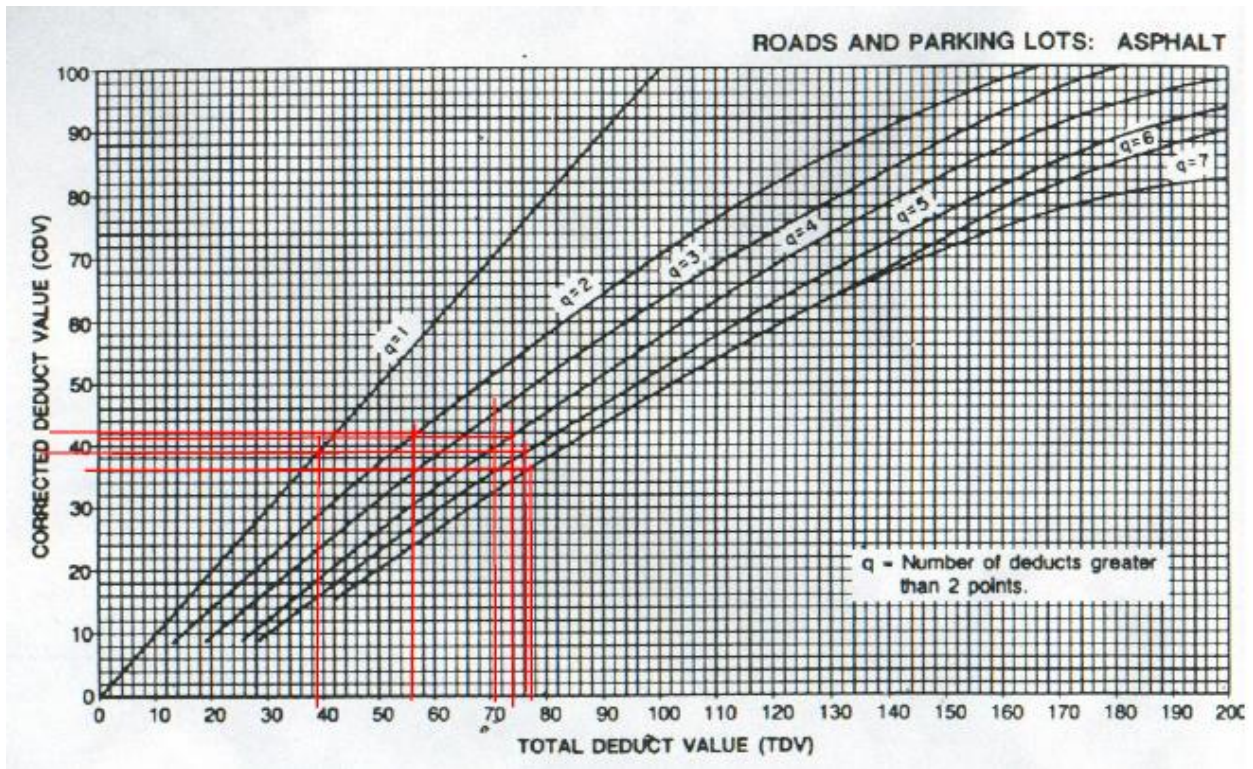
Nota: A partir de esta unidad de muestreo, se omiten los ábacos individuales de valores deducidos por tipo de falla, dado que el procedimiento ya fue ejemplificado en tramos anteriores. No obstante, se mantiene el uso del ábaco de corrección del VDT para determinar el PCI final.

4.5 Unidad de muestreo 4 – Tramo 10 – Abscisa: 0+360 / 0+400

Tabla 17. Ficha técnica de evaluación PCI – Unidad de muestreo 4

ABSCISA INICIAL	0+360	UNIDAD DE MUESTREO	4	ZONA	VÍA 16 DE JULIO	Fecha																												
ABSCISA FINAL	0+400	ÁREA DE MUESTREO (m2)	280	INSPECCIONADO POR	DELGADO PALMA LUIS ANDRÉS	7/6/2025																												
TIPOS DE FALLAS				ESQUEMA																														
1. Piel de cocodrilo (m2) 2. Exudación (m2) 3. Agrietamiento en bloque (m2) 4. abultamientos y hundimientos (m2) 5. Corrugación (m2) 6. Depresión (m2) 7. Grieta de borde (m) 8. Grieta de reflexión de junta (m) 9. Desnivel carril / berma (m) 10. Grietas long y transversales (m2)				11. Parcheo (m2) 12. Pulimento de Agregados (m2) 13. Huecos N# 14. Cruce de vía férrea (m2) 15. Ahuellamiento (m2) 16. Desplazamiento (m2) 17. Grieta parabólica (slippage) (m2) 18. Hinchamiento (m2) 19. Desprendimiento de agregados (m2)																														
<table border="1"> <tr> <th colspan="3">NIVEL DE SEVERIDAD</th> </tr> <tr> <td>LOW</td> <td>Baja</td> <td>L</td> </tr> <tr> <td>MEDIUM</td> <td>Media</td> <td>M</td> </tr> <tr> <td>HIGH</td> <td>Alta</td> <td>H</td> </tr> </table>				NIVEL DE SEVERIDAD			LOW	Baja	L	MEDIUM	Media	M	HIGH	Alta	H	UNIDADES DE MUESTREO $n = \frac{N \cdot s^2}{\left(\frac{t^2}{4} \cdot (N - 1)\right) + s^2} = 12$	Interv. De unidad de m $i = N/n = 3$	Número máximo de VD $m_i = 1.00 + \frac{9}{98} (100 - HDV_i)$																
NIVEL DE SEVERIDAD																																		
LOW	Baja	L																																
MEDIUM	Media	M																																
HIGH	Alta	H																																
TIPOS DE FALLAS EXISTENTES																																		
<table border="1"> <tr> <td>86-100</td> <td>EXCELENTE</td> <td></td> </tr> <tr> <td>71-85</td> <td>MUY BUENO</td> <td></td> </tr> <tr> <td>56-70</td> <td>BUENO</td> <td></td> </tr> <tr> <td>41-55</td> <td>REGULAR</td> <td></td> </tr> <tr> <td>26-40</td> <td>POBRE</td> <td></td> </tr> <tr> <td>11-25</td> <td>MUY POBRE</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0-10</td> <td>FALLADO</td> <td></td> </tr> </table>		86-100	EXCELENTE		71-85	MUY BUENO		56-70	BUENO		41-55	REGULAR		26-40	POBRE		11-25	MUY POBRE		0-10	FALLADO		1		2		6		11		12		15	
86-100	EXCELENTE																																	
71-85	MUY BUENO																																	
56-70	BUENO																																	
41-55	REGULAR																																	
26-40	POBRE																																	
11-25	MUY POBRE																																	
0-10	FALLADO																																	
		Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.																					
		1,3	M	2,4	M	3,67	L	6,2	M	253,05	N/A	3,9	L																					
		1,52	M	0,9	M							4,1	L																					
		1,26	M																															
		0,8	M																															
		0,9	M																															
TOTAL		BAJA (L)		3,67		6,2		253,05		8																								
		MEDIA (M)		5,78		3,3																												
		ALTA (H)																																
CÁLCULO DEL PCI																																		
Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad (%)	Valor deducido	Número de valores deducidos > 2(q) Valor deducido más alto = 29 Número máximo de VD (m) = 7,61																													
1	M	5,78	2,1%	29																														
2	M	3,3	1,2%	3																														
6	L	3,67	1,3%	4,5																														
11	M	6,2	2,2%	5																														
12	UNICO	253,05	90,4%	19																														
15	L	8	2,9%	17																														
#	VALORES DEDUCIDOS						VDT	q	VDC																									
1	29	19	17	5	4,5	3	77,5	6	36																									
2	29	19	17	5	4,5	2	76,5	5	39																									
3	29	19	17	5	2	2	74	4	41																									
4	29	19	17	2	2	2	71	3	45																									
5	29	19	2	2	2	2	56	2	42																									
6	29	2	2	2	2	2	39	1	39																									
							Max. VDC	45																										
INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)							$PCI = 100 - MÁX.VDC$ $PCI = 55$																											
CONDICION DEL PAVIMENTO							REGULAR																											

Figura 49. Ábaco para corrección del valor deducido total (TDV), muestreo 4



En la unidad de muestreo 4, se identifican seis clases de fallos, destacando entre ellas el pulido de agregados con una densidad del 90,4 % (primera gravedad), la piel de cocodrilo y la exudación, ambas de gravedad moderada. Igualmente, se registraron fallos relacionados con depresión, parcheo y ahuellamiento, principalmente con niveles de severidad bajos. Se calculó el valor más elevado de 29, y se detectó cinco valores que excedían a 2 ($q = 5$). Tras la utilización del ábaco de corrección, se registró un valor deducido corregido (VDC) de 45, lo cual derivó en un Índice de Condición del Pavimento (PCI) de 55, clasificando este segmento como regular.

A pesar de que no se identifican fallos de gran severidad, el extenso alcance del pulido de agregados, sumado a otras averías menores, resalta la relevancia de un mantenimiento preventivo y correctivo moderado, antes de que el deterioro avance.

4.6 Unidad de muestreo 5 – Tramo 13 – Abscisa: 0+480 / 0+520

Tabla 18. Ficha técnica de evaluación PCI – Unidad de muestreo 5


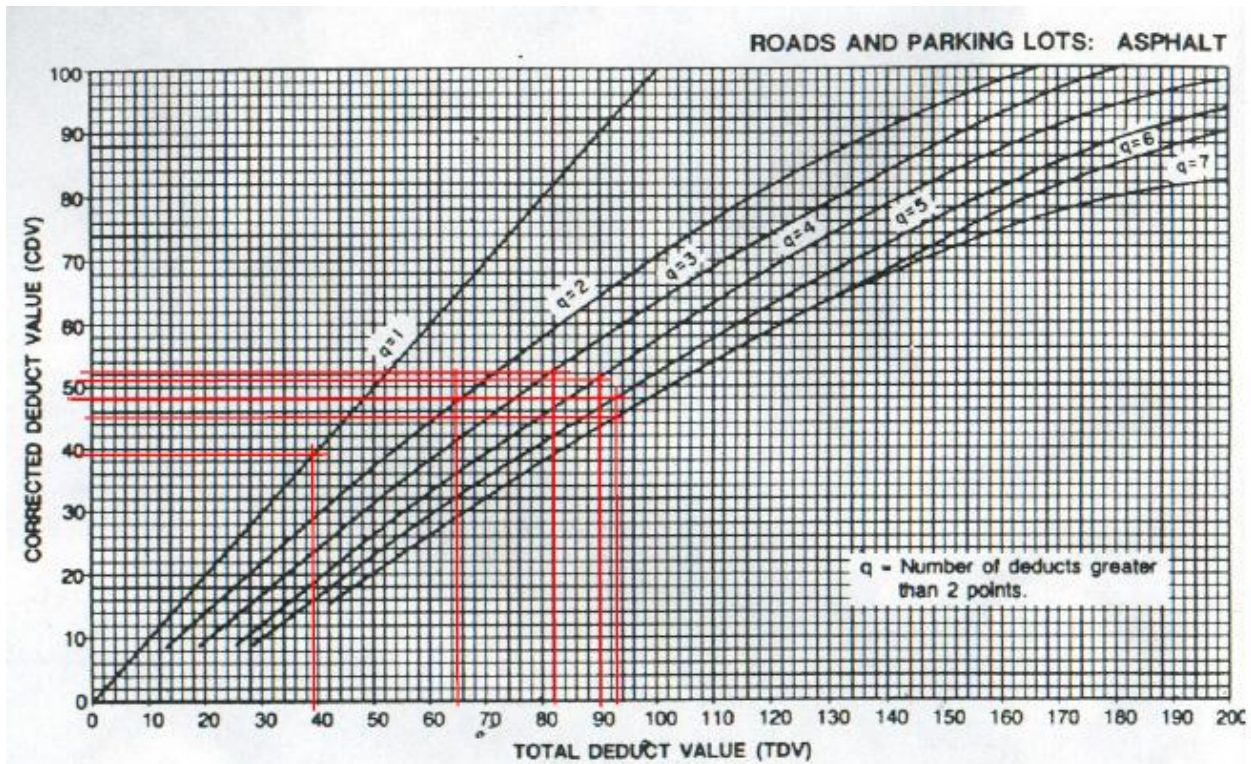
ABSCISA INICIAL	0+480	UNIDAD DE MUESTREO	5	ZONA	VÍA 16 DE JULIO	Fecha											
ABSCISA FINAL	0+520	ÁREA DE MUESTREO (m2)	280	INSPECCIONADO POR	DELGADO PALMA LUIS ANDRÉS	7/6/2025											
TIPOS DE FALLAS				ESQUEMA													
1. Piel de cocodrilo (m2) 2. Exudación (m2) 3. Agrietamiento en bloque (m2) 4. abultamientos y hundimientos (m2) 5. Corrugación (m2) 6. Depresión (m2) 7. Grieta de borde (m) 8. Grieta de reflexión de junta (m) 9. Desnivel carril / berma (m) 10. Grietas long y transversales (m2) 11. Parcheo (m2) 12. Pulimento de Agregados (m2) 13. Huecos N# 14. Cruce de via férrea (m2) 15. Ahuellamiento (m2) 16. Desplazamiento (m2) 17. Grieta parabólica (slippage) (m2) 18. Hinchamiento (m2) 19. Desprendimiento de agregados (m2)																	
<table border="1"> <tr> <th colspan="3">NIVEL DE SEVERIDAD</th> </tr> <tr> <td>LOW</td> <td>Baja</td> <td>L</td> </tr> <tr> <td>MEDIUM</td> <td>Media</td> <td>M</td> </tr> <tr> <td>HIGH</td> <td>Alta</td> <td>H</td> </tr> </table>		NIVEL DE SEVERIDAD			LOW	Baja	L	MEDIUM	Media	M	HIGH	Alta	H	UNIDADES DE MUESTREO	Interv. De unidad de m	Número máximo de VD	
NIVEL DE SEVERIDAD																	
LOW	Baja	L															
MEDIUM	Media	M															
HIGH	Alta	H															
		$n = \frac{N \cdot \sigma^2}{\left(\frac{t^2}{4} \cdot (N - 1)\right) + \sigma^2} = 12$	$i = N/n = 3$	$m_i = 1.00 + \frac{9}{98} (100 - HDV_i)$													
TIPOS DE FALLAS EXISTENTES																	
86-100	EXCELENTE	1		6		12		19									
71-85	MUY BUENO	Cant.		Cant.		Cant.		Cant.		Cant.		Cant.					
56-70	BUENO	2,6	M	0,9	L	260,52	UNICO	8,78	L								
41-55	REGULAR	3,2	M	1,8	M			9,2	L								
26-40	POBRE	2,2	H					3,4	L								
11-25	MUY POBRE																
0-10	FALLADO																
TOTAL	BAJA (L)			0,9				21,38									
	MEDIA (M)	5,8		1,8		260,52											
	ALTA (H)	2,2															
CÁLCULO DEL PCI																	
Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad (%)	Valor deducido		Número de valores deducidos > 2(q) Valor deducido más alto = 29 Número máximo de VD (m) = 7,52											
1	M	5,8	2,1%	29													
1	H	2,2	0,8%	28													
6	L	0,9	0,3%	5													
6	M	1,8	0,6%	8													
12	ÚNICO	260,52	93,0%	19													
19	L	21,38	7,6%	4													
#	VALORES DEDUCIDOS							VDT	q	VDC							
1	29	28	19	8	5	4	93	6	45								
2	29	28	19	10	5	2	93	5	48								
3	29	28	19	10	2	2	90	4	51								
4	29	28	19	2	2	2	82	3	52								
5	29	28	2	2	2	2	65	2	48								
6	29	2	2	2	2	2	39	1	39								
							Max. VDC	52									
INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)							$PCI = 100 - MÁX.VDC$ $PCI = 48$										
CONDICION DEL PAVIMENTO							REGULAR										

Figura 50. Ábaco para corrección del valor deducido total (TDV), muestreo 5



En la unidad de muestreo 5 se detectaron seis clases de fallos, siendo el pulido de agregados nuevamente el más predominante, con una densidad del 93% y una gravedad única. Además, se observaron piel de cocodrilo, agrietamiento en bloque, depresión y desprendimiento de agregados, con grados de gravedad bajo, medio y alto, lo que evidencia una afectación variada tanto en la naturaleza como en envergadura.

El valor máximo deducido fue de 29, que corresponde a la piel de cocodrilo de severidad media, y se identificaron cinco valores que superaban el 2, por lo que se recurrió al ábaco general para la corrección. El valor de corrección deducida más elevada (VDC) alcanzó los 52, lo que resultó en un Índice de Condición del Pavimento (PCI) de 48, situando a este segmento en la categoría de estado regular.

4.7 Unidad de muestreo 6 – Tramo 16 – Abscisa: 0+600 / 0+640

Tabla 19. Ficha técnica de evaluación PCI – Unidad de muestreo 6


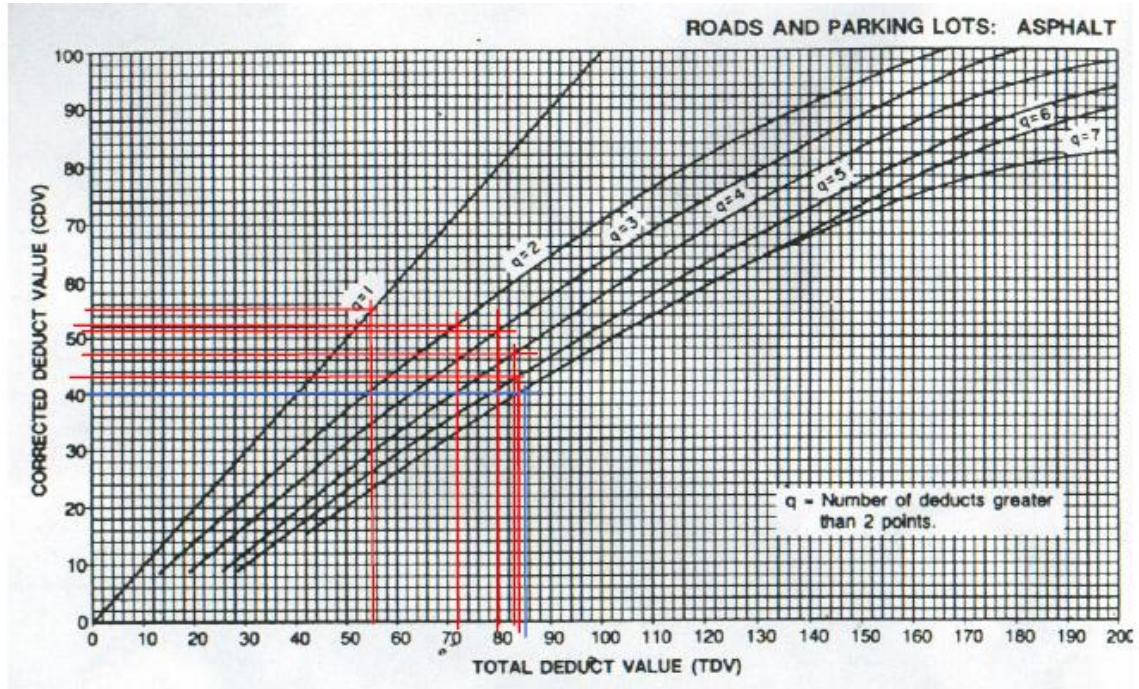
ABSCISA INICIAL	0+600	UNIDAD DE MUESTREO	6	ZONA	VÍA 16 DE JULIO	Fecha																												
ABSCISA FINAL	0+640	ÁREA DE MUESTREO (m ²)	280	INSPECCIONADO POR	DELGADO PALMA LUIS ANDRÉS	7/6/2025																												
TIPOS DE FALLAS				ESQUEMA																														
1. Piel de cocodrilo (m ²) 2. Exudación (m ²) 3. Agrietamiento en bloque (m ²) 4. abultamientos y hundimientos (m ²) 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 long y transversales (m ²) 11. Parcheo (m ²) 12. Pulimento de Agregados (m ²) 13. Huecos N# 14. Cruce de vía férrea (m ²) 15. Ahuellamiento (m ²) 16. Desplazamiento (m ²) 17. Grieta parabólica (slippage) (m ²) 18. Hinchamiento (m ²) 19. Desprendimiento de agregados (m ²)																																		
<table border="1"> <tr> <th colspan="3">NIVEL DE SEVERIDAD</th> </tr> <tr> <td>LOW</td> <td>Baja</td> <td>L</td> </tr> <tr> <td>MEDIUM</td> <td>Media</td> <td>M</td> </tr> <tr> <td>HIGH</td> <td>Alta</td> <td>H</td> </tr> </table>		NIVEL DE SEVERIDAD			LOW	Baja	L	MEDIUM	Media	M	HIGH	Alta	H	UNIDADES DE MUESTREO $n = \frac{N \cdot s^2}{\left(\frac{s^2}{q} \cdot (N - 1)\right) + s^2} = 12$	Interv. De unidad de m $i = N/n = 3$	Número máximo de VD $m_i = 1.00 + \frac{9}{98} (100 - HDV_i)$																		
NIVEL DE SEVERIDAD																																		
LOW	Baja	L																																
MEDIUM	Media	M																																
HIGH	Alta	H																																
TIPOS DE FALLAS EXISTENTES																																		
<table border="1"> <tr> <td>86-100</td> <td>EXCELENTE</td> <td></td> </tr> <tr> <td>71-85</td> <td>MUY BUENO</td> <td></td> </tr> <tr> <td>56-70</td> <td>BUENO</td> <td></td> </tr> <tr> <td>41-55</td> <td>REGULAR</td> <td></td> </tr> <tr> <td>26-40</td> <td>POBRE</td> <td></td> </tr> <tr> <td>11-25</td> <td>MUY POBRE</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0-10</td> <td>FALLADO</td> <td></td> </tr> </table>		86-100	EXCELENTE		71-85	MUY BUENO		56-70	BUENO		41-55	REGULAR		26-40	POBRE		11-25	MUY POBRE		0-10	FALLADO		1		2		12		19					
86-100	EXCELENTE																																	
71-85	MUY BUENO																																	
56-70	BUENO																																	
41-55	REGULAR																																	
26-40	POBRE																																	
11-25	MUY POBRE																																	
0-10	FALLADO																																	
		Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.																					
		4,6	H	4,1	M	245,86	UNICO	10,2	L																									
		2,2	H	3,04	M			0,8	L																									
		1,36	H	1,3	H			3,6	M																									
								2,94	M																									
TOTAL		BAJA (L)						11																										
		MEDIA (M)		7,14		245,86		6,54																										
		ALTA (H)		8,16		1,3																												
CÁLCULO DEL PCI							Número de valores deducidos > 2(q) Valor deducido más alto = 45 Número máximo de VD (m) = 6,05																											
Tipo de daño		Severidad		Total		Densidad (%)							Valor deducido																					
1		H		8,16		2,9%							45																					
2		M		7,14		2,6%							5																					
2		H		1,3		0,5%							3																					
12		ÚNICO		245,86		87,8%							18																					
19		L		11,00		3,9%							3																					
19		M		6,54		2,3%		11																										
VALORES DEDUCIDOS							VDT		q		VDC																							
#																																		
1	45	18	11	5	3	3		85	6	40																								
2	45	18	11	5	3	2		84	5	43																								
3	45	18	11	5	2	2		83	4	47																								
4	45	18	11	2	2	2		80	3	51																								
5	45	18	2	2	2	2		71	2	52																								
6	45	2	2	2	2	2		55	1	55																								
							Max. VDC				45																							
INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)							$PCI = 100 - MÁX.VDC$ $PCI = 55$																											
CONDICION DEL PAVIMENTO							REGULAR																											

Figura 51. Ábaco para corrección del valor deducido total (TDV), muestreo 6



En la unidad de muestreo 6, se registraron seis tipos de fallos, sobresaliendo la piel de cocodrilo y la exudación con grados de gravedad elevados, además de un deterioro significativo debido al pulido de agregados, que abarcó el 87,8% del área de gravedad única. Además, se detectan fallos de tipo fractura y desprendimiento de agregados, con niveles de gravedad bajo y medio.

El valor más elevado deducido fue de 45, lo que indica una alta severidad en la piel de cocodrilo. Se detectaron cinco valores deducidos que superaban el 2, por lo que se recurrió al ábaco para rectificar. El valor máximo deducido corregido (VDC) fue de 45, lo que resultó en un PCI de 55, situándose así al tramo en la categoría de estado regular.

A pesar de que este segmento no llega a un estado crítico, la existencia de deterioros graves, tales como grietas amplias y desgaste superficial, indica la necesidad de acciones de mantenimiento correctivo moderado, para prevenir su evolución hacia un estado más deteriorado.

4.8 Unidad de muestreo 7 – Tramo 19 – Abscisa: 0+720 / 0+760

Tabla 20. Ficha técnica de evaluación PCI – Unidad de muestreo 7


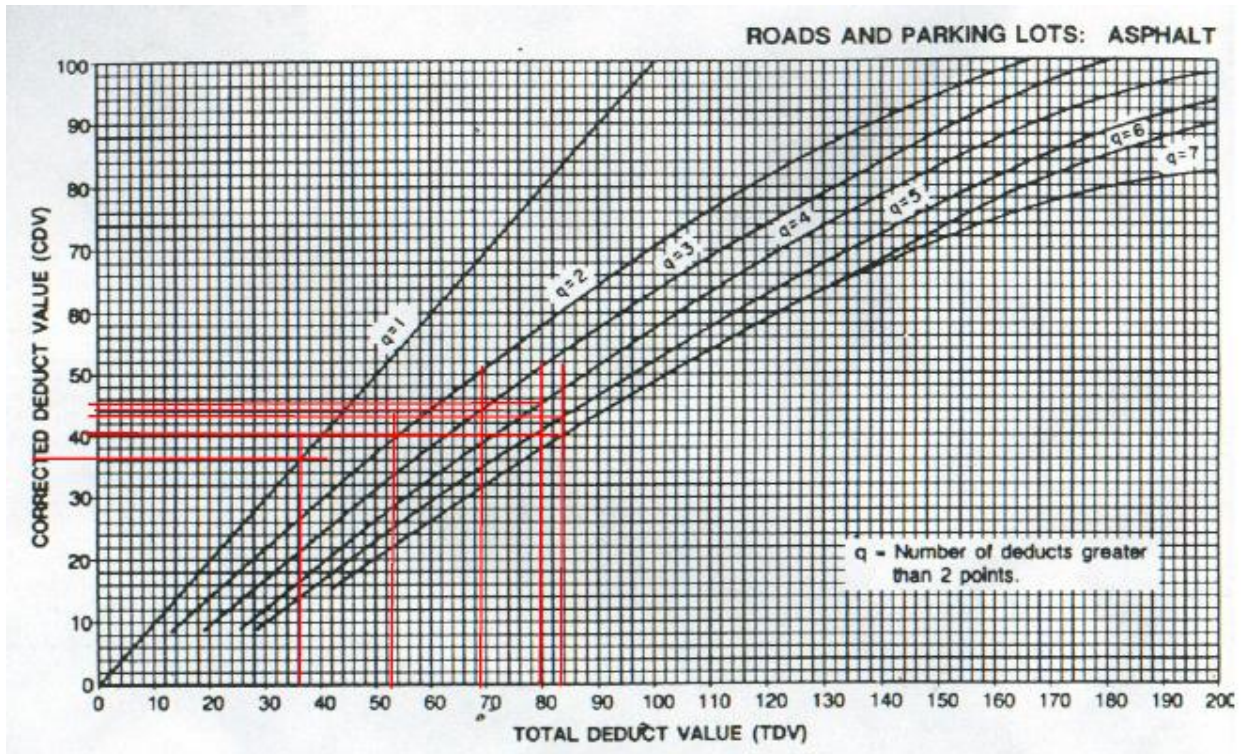
ABSCISA INICIAL	0+720	UNIDAD DE MUESTREO	7	ZONA	VÍA 16 DE JULIO	Fecha																																																																																																																																																																																												
ABSCISA FINAL	0+760	ÁREA DE MUESTREO (m ²)	280	INSPECCIONADO POR	DELGADO PALMA LUIS ANDRÉS	7/6/2025																																																																																																																																																																																												
TIPOS DE FALLAS				ESQUEMA																																																																																																																																																																																														
1. Piel de cocodrilo (m ²) 2. Exudación (m ²) 3. Agrietamiento en bloque (m ²) 4. abultamientos y hundimientos (m ²) 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 long y transversales (m ²) 11. Parcheo (m ²) 12. Pulimento de Agregados (m ²) 13. Huecos N# 14. Cruce de vía férrea (m ²) 15. Ahuellamiento (m ²) 16. Desplazamiento (m ²) 17. Grieta parabólica (slippage) (m ²) 18. Hinchamiento (m ²) 19. Desprendimiento de agregados (m ²)																																																																																																																																																																																																		
<table border="1"> <tr> <th colspan="3">NIVEL DE SEVERIDAD</th> </tr> <tr> <td>LOW</td> <td>Baja</td> <td>L</td> </tr> <tr> <td>MEDIUM</td> <td>Media</td> <td>M</td> </tr> <tr> <td>HIGH</td> <td>Alta</td> <td>H</td> </tr> </table>		NIVEL DE SEVERIDAD			LOW	Baja	L	MEDIUM	Media	M	HIGH	Alta	H	<table border="1"> <tr> <th>UNIDADES DE MUESTREO</th> <th>Interv. De unidad de m</th> <th>Número máximo de VD</th> </tr> <tr> <td>$n = \frac{N \cdot s^2}{\left(\frac{c^2}{4} \cdot (N - 1)\right) + s^2} = 12$</td> <td>$i = N/n = 3$</td> <td>$m_i = 1.00 + \frac{9}{98} (100 - HDV_i)$</td> </tr> </table>	UNIDADES DE MUESTREO	Interv. De unidad de m	Número máximo de VD	$n = \frac{N \cdot s^2}{\left(\frac{c^2}{4} \cdot (N - 1)\right) + s^2} = 12$	$i = N/n = 3$	$m_i = 1.00 + \frac{9}{98} (100 - HDV_i)$																																																																																																																																																																														
NIVEL DE SEVERIDAD																																																																																																																																																																																																		
LOW	Baja	L																																																																																																																																																																																																
MEDIUM	Media	M																																																																																																																																																																																																
HIGH	Alta	H																																																																																																																																																																																																
UNIDADES DE MUESTREO	Interv. De unidad de m	Número máximo de VD																																																																																																																																																																																																
$n = \frac{N \cdot s^2}{\left(\frac{c^2}{4} \cdot (N - 1)\right) + s^2} = 12$	$i = N/n = 3$	$m_i = 1.00 + \frac{9}{98} (100 - HDV_i)$																																																																																																																																																																																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">86-100</th> <th rowspan="2">EXCELENTE</th> <th colspan="12">TIPOS DE FALLAS EXISTENTES</th> </tr> <tr> <th colspan="2">1</th> <th colspan="2">2</th> <th colspan="2">6</th> <th colspan="2">12</th> <th colspan="2">15</th> <th colspan="2"></th> <th colspan="2"></th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th>Cant.</th> <th>Sev.</th> <th>Cant.</th> <th>Sev.</th> <th>Cant.</th> <th>Sev.</th> <th>Cant.</th> <th>Sev.</th> <th>Cant.</th> <th>Sev.</th> <th>Cant.</th> <th>Sev.</th> <th>Cant.</th> <th>Sev.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>71-85</td> <td>MUY BUENO</td> <td>4,9</td> <td>M</td> <td>0,85</td> <td>M</td> <td>2,46</td> <td>L</td> <td></td> <td>M</td> <td>5,14</td> <td>L</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>56-70</td> <td>BUENO</td> <td></td> <td>M</td> <td>2,3</td> <td>M</td> <td>3,23</td> <td>L</td> <td></td> <td></td> <td>4,05</td> <td>M</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>41-55</td> <td>REGULAR</td> <td></td> <td>M</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>5,64</td> <td>M</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>26-40</td> <td>POBRE</td> <td></td> <td>M</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>11-25</td> <td>MUY POBRE</td> <td></td> <td>M</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0-10</td> <td>FALLADO</td> <td></td> <td>M</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">TOTAL</td> <td colspan="2">BAJA (L)</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">5,69</td> <td colspan="2">251,43</td> <td colspan="2">5,14</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">MEDIA (M)</td> <td colspan="2">4,9</td> <td colspan="2">3,15</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">9,69</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">ALTA (H)</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> </tbody> </table>							86-100	EXCELENTE	TIPOS DE FALLAS EXISTENTES												1		2		6		12		15								Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	71-85	MUY BUENO	4,9	M	0,85	M	2,46	L		M	5,14	L					56-70	BUENO		M	2,3	M	3,23	L			4,05	M					41-55	REGULAR		M							5,64	M					26-40	POBRE		M													11-25	MUY POBRE		M													0-10	FALLADO		M													TOTAL		BAJA (L)				5,69		251,43		5,14								MEDIA (M)		4,9		3,15				9,69								ALTA (H)													
86-100	EXCELENTE	TIPOS DE FALLAS EXISTENTES																																																																																																																																																																																																
		1		2		6		12		15																																																																																																																																																																																								
		Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.																																																																																																																																																																																			
71-85	MUY BUENO	4,9	M	0,85	M	2,46	L		M	5,14	L																																																																																																																																																																																							
56-70	BUENO		M	2,3	M	3,23	L			4,05	M																																																																																																																																																																																							
41-55	REGULAR		M							5,64	M																																																																																																																																																																																							
26-40	POBRE		M																																																																																																																																																																																															
11-25	MUY POBRE		M																																																																																																																																																																																															
0-10	FALLADO		M																																																																																																																																																																																															
TOTAL		BAJA (L)				5,69		251,43		5,14																																																																																																																																																																																								
		MEDIA (M)		4,9		3,15				9,69																																																																																																																																																																																								
		ALTA (H)																																																																																																																																																																																																
CÁLCULO DEL PCI																																																																																																																																																																																																		
Tipo de daño		Severidad	Total	Densidad (%)	Valor deducido	Número de valores deducidos > 2(q) Valor deducido más alto = 28 Número máximo de VD (m) = 7,61																																																																																																																																																																																												
1		M	4,9	1,8%	28																																																																																																																																																																																													
2		M	3,15	1,1%	2																																																																																																																																																																																													
6		L	5,69	2,0%	6																																																																																																																																																																																													
12		UNICO	241,43	86,2%	18																																																																																																																																																																																													
15		L	5,14	1,8%	13																																																																																																																																																																																													
15		M	9,69	3,5%	19																																																																																																																																																																																													
VALORES DEDUCIDOS																																																																																																																																																																																																		
#						VDT	q	VDC																																																																																																																																																																																										
1	28	19	18	13	6	2																																																																																																																																																																																												
2	28	19	18	13	6	2																																																																																																																																																																																												
3	28	19	18	13	2	2																																																																																																																																																																																												
4	28	19	18	2	2	2																																																																																																																																																																																												
5	28	19	2	2	2	2																																																																																																																																																																																												
6	28	2	2	2	2	2																																																																																																																																																																																												
Max. VDC							45																																																																																																																																																																																											
INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)							$PCI = 100 - MÁX. VDC$ $PCI = 55$																																																																																																																																																																																											
CONDICION DEL PAVIMENTO							REGULAR																																																																																																																																																																																											

Figura 52. Ábaco para corrección del valor deducido total (TDV), muestreo 7.



En la unidad de muestreo 7, se registraron seis clases de fallos, destacando entre las más destacadas el pulido de agregados con una densidad del 86,2% (nivel de severidad único), la piel de cocodrilo con nivel de severidad moderado, y el ahuellamiento, que se encuentra tanto en niveles de severidad baja como media. Además, se detectaron exudación, agrietamiento en bloque y depresiones en la superficie.

El valor más alto deducido fue de 28, y se detectó cinco valores que superaban a 2 ($q = 5$), razón por la cual se realizó la corrección adecuada a través del ábaco. El valor máximo deducido corregido (VDC) alcanzó los 45, lo que derivó en un PCI final de 55, clasificando el tramo en condición regular.

4.9 Unidad de muestreo 8 – Tramo 22 – Abscisa: 0+840 / 0+880

Tabla 21. Ficha técnica de evaluación PCI – Unidad de muestreo 8

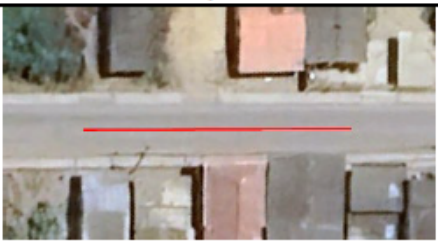
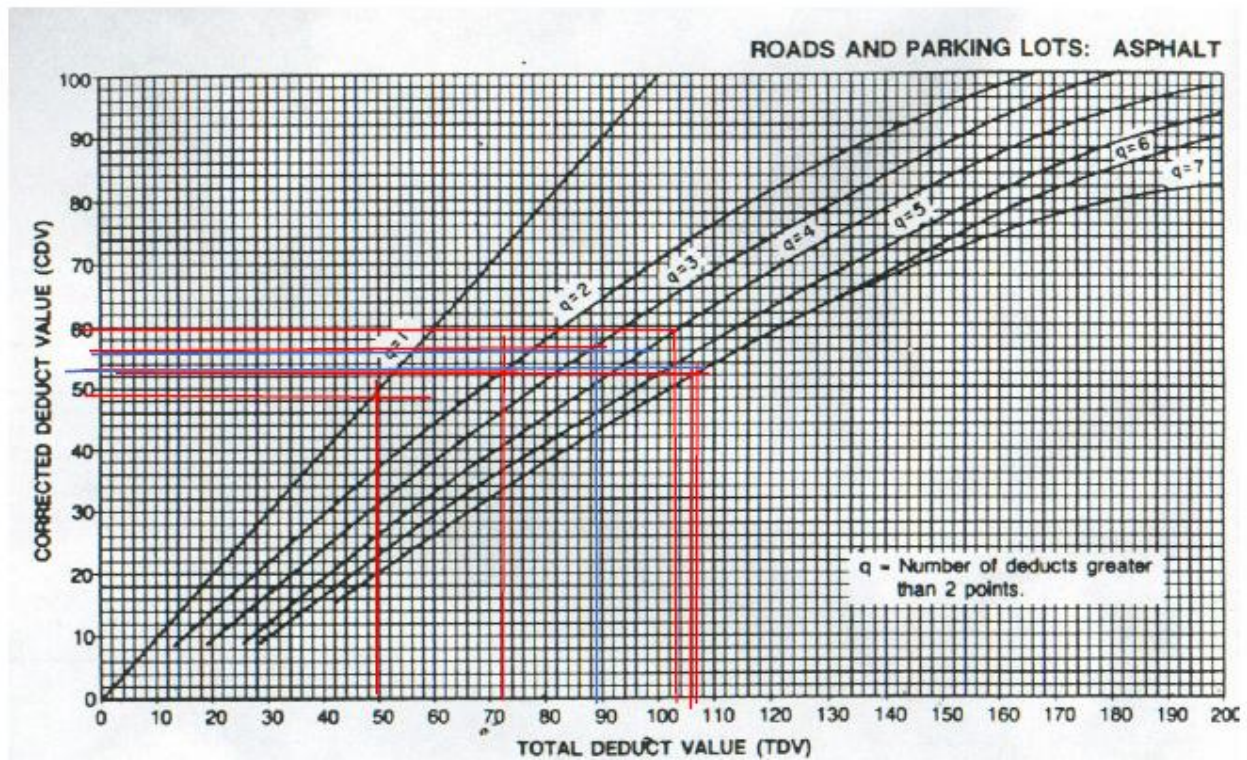
ABSCISA INICIAL	0+840	UNIDAD DE MUESTREO	8	ZONA	VÍA 16 DE JULIO	Fecha													
ABSCISA FINAL	0+880	ÁREA DE MUESTREO (m2)	280	INSPECCIONADO POR	DELGADO PALMA LUIS ANDRÉS		7/6/2025												
TIPOS DE FALLAS				ESQUEMA															
1. Piel de cocodrilo (m2) 2. Exudación (m2) 3. Agrietamiento en bloque (m2) 4. abultamientos y hundimientos (m2) 5. Corrugación (m2) 6. Depresión (m2) 7. Grieta de borde (m) 8. Grieta de reflexión de junta (m) 9. Desnivel carril / berma (m) 10. Grietas long y transversales (m2)				11. Parcheo (m2) 12. Pulimento de Agregados (m2) 13. Huecos N# 14. Cruce de vía férrea (m2) 15. Ahuellamiento (m2) 16. Desplazamiento (m2) 17. Grieta parabólica (slippage) (m2) 18. Hinchamiento (m2) 19. Desprendimiento de agregados (m2)															
<table border="1"> <tr><th colspan="3">NIVEL DE SEVERIDAD</th></tr> <tr><td>LOW</td><td>Baja</td><td>L</td></tr> <tr><td>MEDIUM</td><td>Media</td><td>M</td></tr> <tr><td>HIGH</td><td>Alta</td><td>H</td></tr> </table>		NIVEL DE SEVERIDAD			LOW	Baja	L	MEDIUM	Media	M	HIGH	Alta	H	UNIDADES DE MUESTREO $n = \frac{N \cdot s^2}{\left(\frac{s^2}{4} \cdot (N - 1)\right) + s^2} = 12$	Interv. De unidad de m $i = N/n = 3$	Número máximo de VD $m_i = 1.00 + \frac{9}{98} (100 - HDV_i)$			
NIVEL DE SEVERIDAD																			
LOW	Baja	L																	
MEDIUM	Media	M																	
HIGH	Alta	H																	
TIPOS DE FALLAS EXISTENTES																			
86-100	EXCELENTE																		
71-85	MUY BUENO																		
56-70	BUENO																		
41-55	REGULAR	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.						
26-40	POBRE	3,58	M	3,50	H	6,40	M			1	H	4,5	M						
11-25	MUY POBRE	0,8	M	1,40	H					2	M	2,88	M						
0-10	FALLADO											2,46	M						
TOTAL		BAJA (L)		6,4		251,48		2		9,84									
		MEDIA (M)						1											
		ALTA (H)		4,90															
CÁLCULO DEL PCI																			
Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad (%)	Valor deducido															
2	M	4,38	1,6%	4															
4	H	4,9	1,8%	5															
10	M	6,4	2,3%	7															
12	UNICO	251,48	89,8%	19															
13	M	2,00	0,7%	25															
13	H	1	0,4%	37															
19	M	9,84	3,5%	11															
					Número de valores deducidos > 2(q) Valor deducido más alto = 37 Número máximo de VD (m) = 6,79														
#	VALORES DEDUCIDOS								VDT	q	VDC								
1	37	25	19	11	7	5	3,16		107,16	7	53								
2	37	25	19	11	7	5	2		106	6	52,5								
3	37	25	19	11	7	2	2		103	5	60								
4	37	25	19	11	2	2	2		98	4	55,5								
5	37	25	19	2	2	2	2		89	3	56								
6	37	25	2	2	2	2	2		72	2	53								
7	37	2	2	2	2	2	2		49	1	49								
											Max. VDC		59,5						
INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)											$PCI = 100 - MÁX.VDC$ $PCI = 40$								
CONDICION DEL PAVIMENTO											POBRE								

Figura 53. Ábaco para corrección del valor deducido total (TDV), muestreo 8



En la unidad de muestreo 8, se detectaron siete clases de fallas. Entre ellas, destacó el pulido de agregados con una densidad del 89,8% en la categoría de severidad única, seguido de fallas de agrietamiento en bloque, exudación, parcheo y huecos, con gravedad de nivel medio y alto. Además, se observaron desprendimientos de agregados y piel de cocodrilo, los cuales fueron de menor envergadura pero con niveles de gravedad considerables.

El valor más elevado deducido fue de 37, que corresponde a la piel de cocodrilo de alta severidad, y se detectó cinco valores que superaban el 2 ($q = 5$). Tras la implementación de la corrección utilizando el ábaco general, se registró un valor deducido corregido (VDC) de 59,5, lo que resultó en un Índice de Condición del Pavimento (PCI) de 40, ubicando este segmento en la categoría de estado pobre. Este hallazgo evidencia un grado de deterioro progresivo, con daños extendidos tanto en la

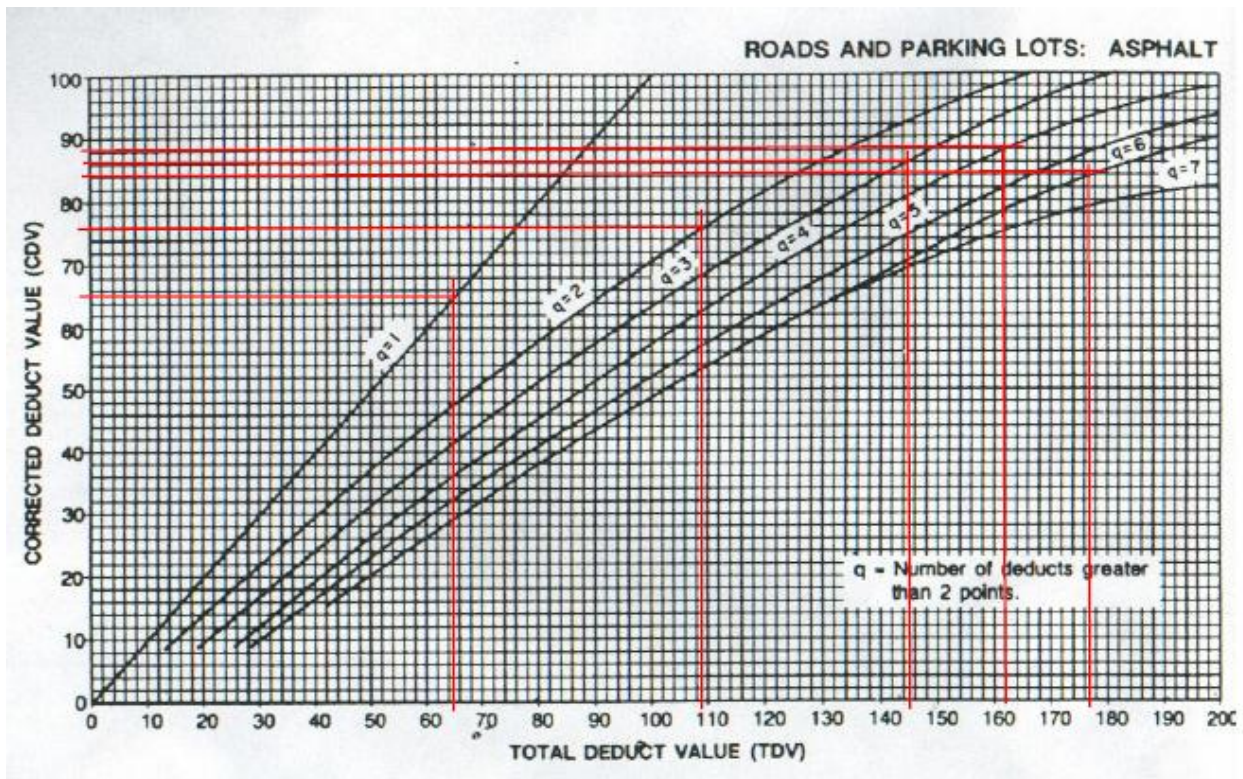
superficie como en la estructura, por lo que se aconseja un mantenimiento correctivo intensivo o una rehabilitación parcial, con el objetivo de prevenir un deterioro irreversible del pavimento.

En la unidad de muestreo 8, se detectaron siete clases de fallas. Entre ellas, destacó el pulido de agregados con una densidad del 89,8% en la categoría de severidad única, seguido de fallas de agrietamiento en bloque, exudación, parcheo y huecos, con gravedad de nivel medio y alto. Además, se observaron desprendimientos de agregados y piel de cocodrilo, los cuales fueron de menor envergadura pero con niveles de gravedad considerables.

El valor más elevado deducido fue de 37, que corresponde a la piel de cocodrilo de alta severidad, y se detectó cinco valores que superaban el 2 ($q = 5$). Tras la implementación de la corrección utilizando el ábaco general, se registró un valor deducido corregido (VDC) de 59,5, lo que resultó en un Índice de Condición del Pavimento (PCI) de 40, ubicando este segmento en la categoría de estado pobre.

Este hallazgo evidencia un grado de deterioro progresivo, con daños extendidos tanto en la superficie como en la estructura, por lo que se aconseja un mantenimiento correctivo intensivo o una rehabilitación parcial, con el objetivo de prevenir un deterioro irreversible del pavimento.

Figura 54. Ábaco para corrección del valor deducido total (TDV), muestreo 9



En la unidad de muestreo 9, se identificaron cinco tipos de defectos, destacando una elevada incidencia de deterioro en forma de piel de cocodrilo, que alcanzó una densidad del 6,5 % con alta gravedad, y pulido de agregados, con un 81,9 % de cobertura en una gravedad única. Además, se detectan fallos críticos como agrietamiento en bloque, depresión y desprendimiento de agregados, todos ellos de alta gravedad. El valor más elevado deducido fue de 57, correspondiente a la piel de cocodrilo, y se detectó cinco valores que superaban el 2 ($q = 5$). Después de realizar la corrección a través del ábaco, se logró un valor deducido corregido (VDC) máximo de 88, correspondiendo a un Índice de Condición del Pavimento (PCI) de 12, lo que cataloga este segmento como muy deficiente. Este hallazgo demuestra un deterioro grave, ya sea funcional o estructural, que pone en riesgo la durabilidad del pavimento. Se aconseja una acción inmediata, quizás a través de una rehabilitación integral del segmento, debido al nivel de perjuicio acumulado

4.11 Unidad de muestreo 10 – Tramo 28 – Abscisa: 1+080 / 1+120

Tabla 23. Ficha técnica de evaluación PCI – Unidad de muestreo 10


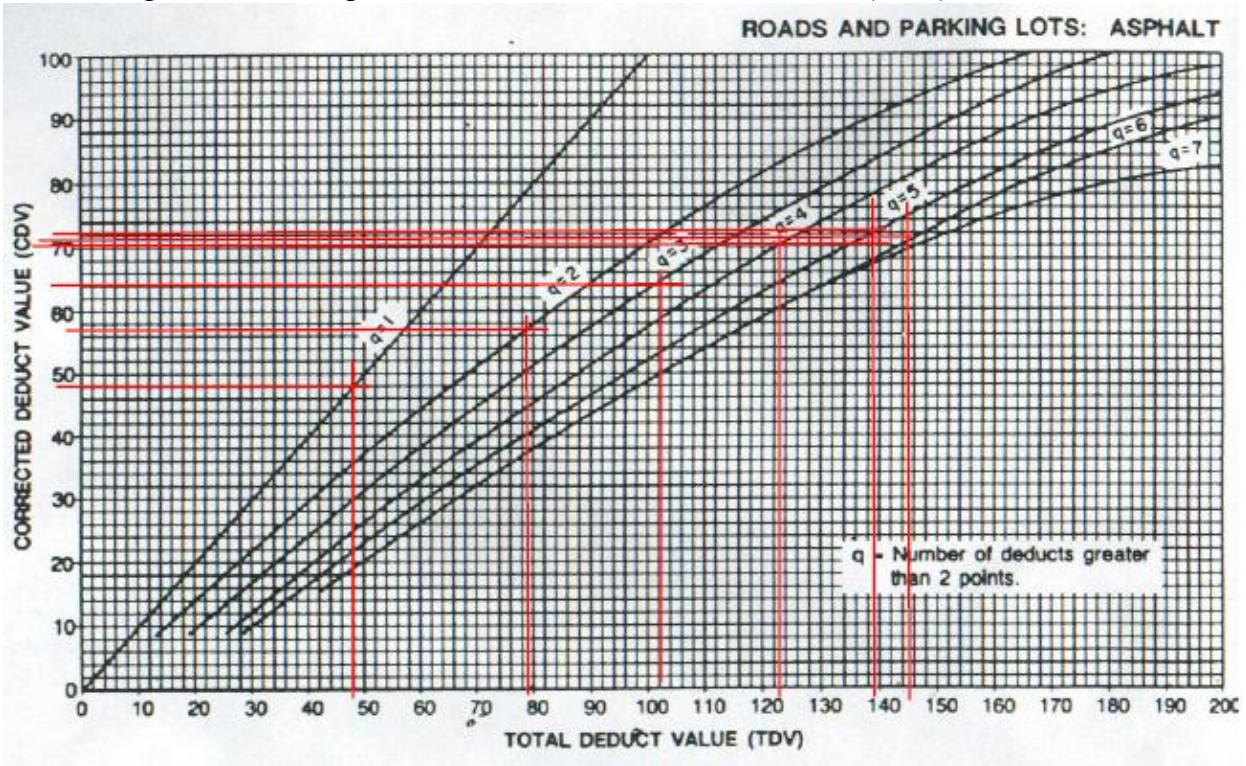
ABSCISA INICIAL	1+080	UNIDAD DE MUESTREO	10	ZONA	VÍA 16 DE JULIO	Fecha																
ABSCISA FINAL	1+120	ÁREA DE MUESTREO (m ²)	280	INSPECCIONADO POR	DELGADO PALMA LUIS ANDRÉS	7/6/2025																
TIPOS DE FALLAS				ESQUEMA																		
1. Piel de cocodrilo (m ²) 2. Exudación (m ²) 3. Agrietamiento en bloque (m ²) 4. abultamientos y hundimientos (m ²) 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 long y transversales (m ²) 11. Parcheo (m ²) 12. Pulimento de Agregados (m ²) 13. Huecos N# 14. Cruce de vía férrea (m ²) 15. Ahuellamiento (m ²) 16. Desplazamiento (m ²) 17. Grieta parabólica (slippage) (m ²) 18. Hinchamiento (m ²) 19. Desprendimiento de agregados (m ²)																						
<table border="1"> <tr><th colspan="3">NIVEL DE SEVERIDAD</th></tr> <tr><td>LOW</td><td>Baja</td><td>L</td></tr> <tr><td>MEDIUM</td><td>Media</td><td>M</td></tr> <tr><td>HIGH</td><td>Alta</td><td>H</td></tr> </table>		NIVEL DE SEVERIDAD			LOW	Baja	L	MEDIUM	Media	M	HIGH	Alta	H	<table border="1"> <tr><th colspan="2">UNIDADES DE MUESTREO</th></tr> <tr><td>$n = \frac{N \cdot s^2}{\left(\frac{s^2}{4} \cdot (N - 1)\right) + s^2} = 12$</td><td></td></tr> </table>	UNIDADES DE MUESTREO		$n = \frac{N \cdot s^2}{\left(\frac{s^2}{4} \cdot (N - 1)\right) + s^2} = 12$		Interv. De unidad de m	Número máximo de VD		
NIVEL DE SEVERIDAD																						
LOW	Baja	L																				
MEDIUM	Media	M																				
HIGH	Alta	H																				
UNIDADES DE MUESTREO																						
$n = \frac{N \cdot s^2}{\left(\frac{s^2}{4} \cdot (N - 1)\right) + s^2} = 12$																						
			$i = N/n = 3$	$m_i = 1.00 + \frac{9}{98} (100 - HDV_i)$																		
TIPOS DE FALLAS EXISTENTES																						
86-100	EXCELENTE																					
71-85	MUY BUENO																					
56-70	BUENO																					
41-55	REGULAR																					
26-40	POBRE																					
11-25	MUY POBRE																					
0-10	FALLADO																					
TOTAL		BAJA (L)		MEDIA (M)		ALTA (H)																
		8,43		6,4		8,3		241,59		26,45												
CÁLCULO DEL PCI																						
Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad (%)	Valor deducido	Número de valores deducidos > 2(q) Valor deducido más alto = 38 Número máximo de VD (m) = 6,69																	
1	M	8,43	3,0%	33																		
1	H	4,58	1,6%	38																		
5	M	6,4	2,3%	23																		
7	M	8,3	3,0%	8																		
12	ÚNICO	241,59	86,3%	18,5																		
19	H	10,7	3,8%	25																		
#	VALORES DEDUCIDOS							VDT	q	VDC												
1	38	33	25	23	18,5	8		145,5	6	71												
2	38	33	25	23	18,5	2		139,5	5	72												
3	38	33	25	23	2	2		123	4	70												
4	38	33	25	2	2	2		102	3	57												
5	38	33	2	2	2	2		79	2	48												
6	38	2	2	2	2	2		48	1	48												
										Max. VDC	72											
INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)								$PCI = 100 - MÁX.VDC$ $PCI = 28$														
CONDICION DEL PAVIMENTO								POBRE														

Figura 55. Ábaco para corrección del valor deducido total (TDV), muestreo 10



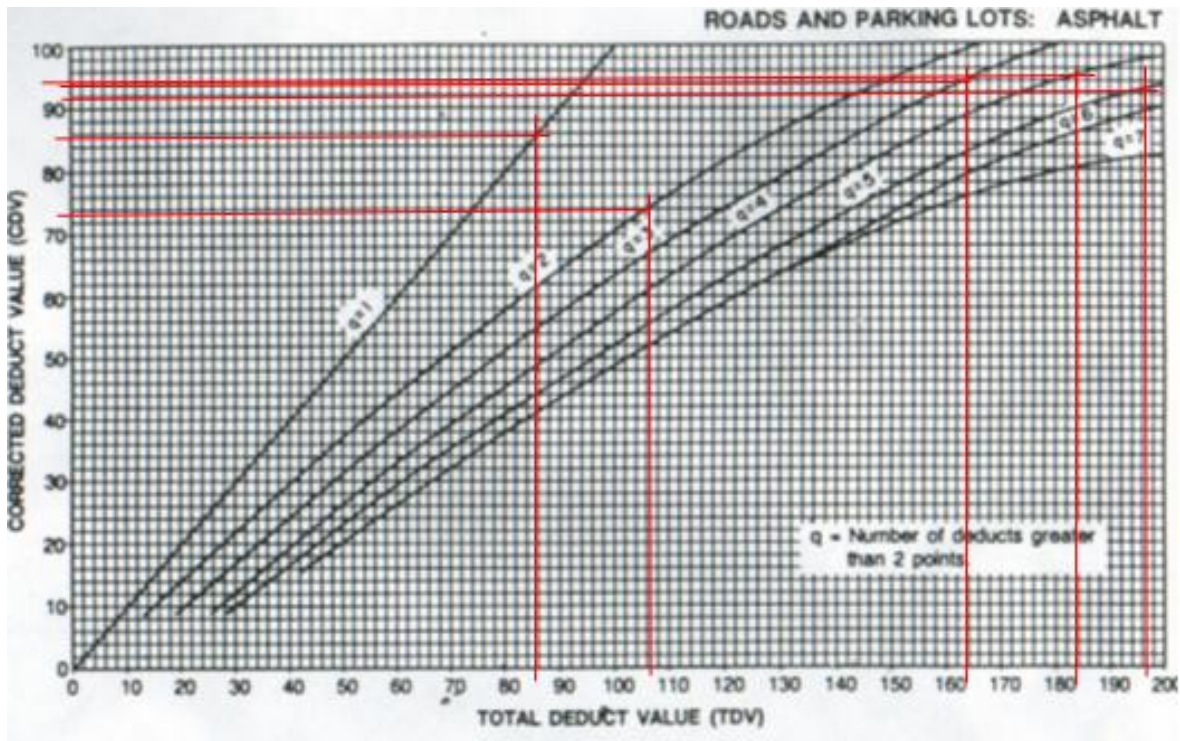
En la unidad de muestreo 10, se reconocieron seis clases de fallas, entre las que sobresalen la piel de cocodrilo, el desprendimiento de agregados y el pulido de agregados, con grados de gravedad entre medio y alto. El 86,3 % del área evaluada fue pulida, lo que evidencia un nivel elevado de desgaste superficial. Además, se observarán exudaciones, parches y vacíos, factores que favorecen el deterioro funcional del tramo. El valor más elevado deducido fue de 38, lo que indica una piel de cocodrilo de alta severidad. Se registraron cinco valores extraídos que superaban a 2 ($q = 5$), razón por la cual se utilizó el ábaco de corrección. El valor deducido corregido máximo (VDC) alcanzó los 72, lo que resultó en un Índice de Condición del Pavimento (PCI) de 28, categorizando este segmento como en condiciones deficientes.

4.12 Unidad de muestreo 11 – Tramo 31 – Abscisa: 1+200 / 1+240

Tabla 24. Ficha técnica de evaluación PCI – Unidad de muestreo 11

ABSCISA INICIA	1+200	UNIDAD DE MUESTREO	11	ZONA	VÍA 16 DE JULIO	Fecha																																																																																																																																																																																																		
ABSCISA FINAL	1+240	ÁREA DE MUESTREO (m2)	280	INSPECCIONADO POR	GADO PALMA LUIS AND	7/6/2025																																																																																																																																																																																																		
TIPOS DE FALLAS				ESQUEMA																																																																																																																																																																																																				
1. Piel de cocodrilo (m2) 2. Exudación (m2) 3. Agrietamiento en bloque (m2) 4. abultamientos y hundimientos (m2) 5. Corrugación (m2) 6. Depresión (m2) 7. Grieta de borde (m) 8. Grieta de reflexión de junta (m) 9. Desnivel carril / berma (m) 10. Grietas long y transversales (m2)				11. Parcheo (m2) 12. Pulimento de Agregados (m2) 13. Huecos N# 14. Cruce de vía férrea (m2) 15. Ahuellamiento (m2) 16. Desplazamiento (m2) 17. Grieta parabólica (slippage) (m2) 18. Hinchamiento (m2) 19. Desprendimiento de agregados (m)																																																																																																																																																																																																				
<table border="1"> <tr> <th colspan="3">NIVEL DE SEVERIDAD</th> </tr> <tr> <td>LOW</td> <td>Baja</td> <td>L</td> </tr> <tr> <td>MEDIUM</td> <td>Media</td> <td>M</td> </tr> <tr> <td>HIGH</td> <td>Alta</td> <td>H</td> </tr> </table>				NIVEL DE SEVERIDAD			LOW	Baja	L	MEDIUM	Media	M	HIGH	Alta	H	UNIDADES DE MUESTREO $n = \frac{N \cdot s^2}{\left(\frac{c}{q} \cdot (N-1)\right) + s^2} = 12$	Interv. De unidad de m $i = N/n = 3$	Número máximo de YD $m_i = 1.00 + \frac{9}{98} (100 - HDV_i)$																																																																																																																																																																																						
NIVEL DE SEVERIDAD																																																																																																																																																																																																								
LOW	Baja	L																																																																																																																																																																																																						
MEDIUM	Media	M																																																																																																																																																																																																						
HIGH	Alta	H																																																																																																																																																																																																						
TIPOS DE FALLAS EXISTENTES																																																																																																																																																																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="2">1</th> <th colspan="2">11</th> <th colspan="2">12</th> <th colspan="2">19</th> <th colspan="2"></th> <th colspan="2"></th> <th colspan="2"></th> </tr> <tr> <th>Cant.</th> <th>Sev.</th> <th>Cant.</th> <th>Sev.</th> <th>Cant.</th> <th>Sev.</th> <th>Cant.</th> <th>Sev.</th> <th>Cant.</th> <th>Sev.</th> <th>Cant.</th> <th>Sev.</th> <th>Cant.</th> <th>Sev.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>86-100 EXCELENTE</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>71-85 MUY BUENO</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>56-70 BUENO</td> <td>6,5</td><td>M</td> <td>5,2</td><td>M</td> <td>159,61</td><td>UNICO</td> <td>10,2</td><td>M</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>41-55 REGULAR</td> <td>8,1</td><td>M</td> <td>4,6</td><td>H</td> <td></td><td></td> <td>4,8</td><td>M</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>26-40 POBRE</td> <td>4,9</td><td>M</td> <td></td><td></td> <td></td><td></td> <td>16,5</td><td>H</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>11-25 MUY POBRE</td> <td>11,5</td><td>M</td> <td></td><td></td> <td></td><td></td> <td>12,4</td><td>H</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>0-10 FALLADO</td> <td>21,6</td><td>H</td> <td></td><td></td> <td></td><td></td> <td>5,26</td><td>H</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>8,83</td><td>H</td> <td></td><td></td> <td></td><td></td> <td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>TOTAL</td> <td colspan="2">BAJA (L)</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="2">MEDIA (M)</td> <td colspan="2">31</td> <td colspan="2">5,2</td> <td colspan="2">159,61</td> <td colspan="2">15</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="2">ALTA (H)</td> <td colspan="2">30,43</td> <td colspan="2">4,6</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">34,16</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> </tbody> </table>								1		11		12		19								Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	86-100 EXCELENTE															71-85 MUY BUENO															56-70 BUENO	6,5	M	5,2	M	159,61	UNICO	10,2	M							41-55 REGULAR	8,1	M	4,6	H			4,8	M							26-40 POBRE	4,9	M					16,5	H							11-25 MUY POBRE	11,5	M					12,4	H							0-10 FALLADO	21,6	H					5,26	H								8,83	H													TOTAL	BAJA (L)															MEDIA (M)		31		5,2		159,61		15							ALTA (H)		30,43		4,6				34,16					
	1		11		12			19																																																																																																																																																																																																
	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.																																																																																																																																																																																										
86-100 EXCELENTE																																																																																																																																																																																																								
71-85 MUY BUENO																																																																																																																																																																																																								
56-70 BUENO	6,5	M	5,2	M	159,61	UNICO	10,2	M																																																																																																																																																																																																
41-55 REGULAR	8,1	M	4,6	H			4,8	M																																																																																																																																																																																																
26-40 POBRE	4,9	M					16,5	H																																																																																																																																																																																																
11-25 MUY POBRE	11,5	M					12,4	H																																																																																																																																																																																																
0-10 FALLADO	21,6	H					5,26	H																																																																																																																																																																																																
	8,83	H																																																																																																																																																																																																						
TOTAL	BAJA (L)																																																																																																																																																																																																							
	MEDIA (M)		31		5,2		159,61		15																																																																																																																																																																																															
	ALTA (H)		30,43		4,6				34,16																																																																																																																																																																																															
CÁLCULO DEL PCI																																																																																																																																																																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tipo de daño</th> <th>Severidad</th> <th>Total</th> <th>Densidad (%)</th> <th>Valor deducido</th> <th rowspan="7"> Número de valores deducidos > 2(q) Valor deducido más alto = 62 Número máximo de VD (m) = 4,49 </th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>M</td> <td>31</td> <td>11,1%</td> <td>49</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>H</td> <td>30,43</td> <td>10,9%</td> <td>62</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>M</td> <td>5,2</td> <td>1,9%</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>H</td> <td>4,6</td> <td>1,6%</td> <td>22</td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>ÚNICO</td> <td>159,61</td> <td>57,0%</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>19</td> <td>M</td> <td>15</td> <td>5,4%</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>19</td> <td>H</td> <td>34,16</td> <td>12,2%</td> <td>49</td> </tr> </tbody> </table>							Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad (%)	Valor deducido	Número de valores deducidos > 2(q) Valor deducido más alto = 62 Número máximo de VD (m) = 4,49	1	M	31	11,1%	49	1	H	30,43	10,9%	62	11	M	5,2	1,9%	12	11	H	4,6	1,6%	22	12	ÚNICO	159,61	57,0%	14	19	M	15	5,4%	14	19	H	34,16	12,2%	49																																																																																																																																																									
Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad (%)	Valor deducido	Número de valores deducidos > 2(q) Valor deducido más alto = 62 Número máximo de VD (m) = 4,49																																																																																																																																																																																																			
1	M	31	11,1%	49																																																																																																																																																																																																				
1	H	30,43	10,9%	62																																																																																																																																																																																																				
11	M	5,2	1,9%	12																																																																																																																																																																																																				
11	H	4,6	1,6%	22																																																																																																																																																																																																				
12	ÚNICO	159,61	57,0%	14																																																																																																																																																																																																				
19	M	15	5,4%	14																																																																																																																																																																																																				
19	H	34,16	12,2%	49																																																																																																																																																																																																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th>#</th> <th colspan="6">VALORES DEDUCIDOS</th> <th>YDT</th> <th>q</th> <th>VDC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>62</td> <td>49</td> <td>49</td> <td>22</td> <td>6,86</td> <td></td> <td>188,86</td> <td>5</td> <td>62</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>62</td> <td>49</td> <td>49</td> <td>22</td> <td>2</td> <td></td> <td>184</td> <td>4</td> <td>95</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>62</td> <td>49</td> <td>49</td> <td>2</td> <td>2</td> <td></td> <td>164</td> <td>3</td> <td>94</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>62</td> <td>49</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>2</td> <td></td> <td>117</td> <td>2</td> <td>74</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>62</td> <td>18</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>2</td> <td></td> <td>86</td> <td>1</td> <td>86</td> </tr> </tbody> </table>							#	VALORES DEDUCIDOS						YDT	q	VDC	1	62	49	49	22	6,86		188,86	5	62	2	62	49	49	22	2		184	4	95	3	62	49	49	2	2		164	3	94	4	62	49	2	2	2		117	2	74	5	62	18	2	2	2		86	1	86																																																																																																																																						
#	VALORES DEDUCIDOS						YDT	q	VDC																																																																																																																																																																																															
1	62	49	49	22	6,86		188,86	5	62																																																																																																																																																																																															
2	62	49	49	22	2		184	4	95																																																																																																																																																																																															
3	62	49	49	2	2		164	3	94																																																																																																																																																																																															
4	62	49	2	2	2		117	2	74																																																																																																																																																																																															
5	62	18	2	2	2		86	1	86																																																																																																																																																																																															
<table border="1"> <tr> <td colspan="8">Max. VDC</td> <td>95</td> </tr> </table>							Max. VDC								95																																																																																																																																																																																									
Max. VDC								95																																																																																																																																																																																																
INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)							$PCI = 100 - MÁX.VDC$ $PCI = 5$																																																																																																																																																																																																	
CONDICION DEL PAVIMENTO							FALLADO																																																																																																																																																																																																	

Figura 56. Ábaco para corrección del valor deducido total (TDV), muestreo 11.



En la unidad de muestreo 11, se detectan seis clases de fallas, siendo las más graves la grieta de borde, la piel de cocodrilo y el pulido de agregados, todos ellos con niveles de gravedad elevados. Resalta que el 34,16 % del área examinada muestra desprendimiento de agregados de alta gravedad, lo que indica una considerable disminución de material superficial. Además, se observarán deformaciones estructurales tales como abultamientos y hundimientos, además de grietas transversales y longitudinales. El valor más alto deducido llegó a 62 puntos, registrándose cinco valores deducidos que superaban 2 ($q = 5$), lo que forzó a implementar el procedimiento de corrección correspondiente. El valor máximo deducido corregido (VDC) alcanzó los 95, lo que resultó en un Índice de Condición del Pavimento (PCI) de 5, categorizando a este segmento como en estado de fallo.

4.13 Unidad de muestreo 12 – Tramo 34 – Abscisa: 1+320 / 1+360

Tabla 25. Ficha técnica de evaluación PCI – Unidad de muestreo 12


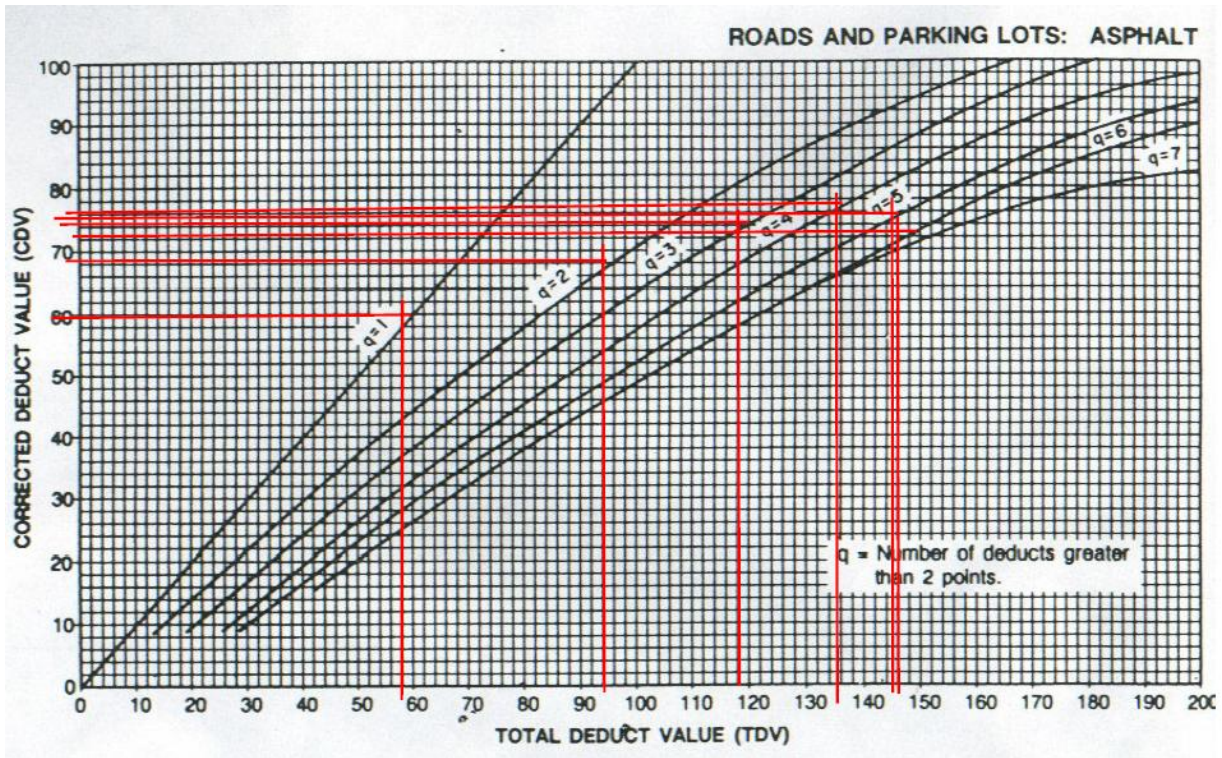
ABSCISA INICIAL	1+320	UNIDAD DE MUESTREO	12	ZONA	VÍA 16 DE JULIO	Fecha							
ABSCISA FINAL	1+360	ÁREA DE MUESTREO (m2)	280	INSPECCIONADO POR	DELGADO PALMA LUIS ANDRÉS	7/6/2025							
TIPOS DE FALLAS				ESQUEMA									
1. Piel de cocodrilo (m2) 11. Parcheo (m2) 2. Exudación (m2) 12. Pulimento de Agregados (m2) 3. Agrietamiento en bloque (m2) 13. Huecos N# 4. abultamientos y hundimientos (m2) 14. Cruce de vía férrea (m2) 5. Corrugación (m2) 15. Ahuellamiento (m2) 6. Depresión (m2) 16. Desplazamiento (m2) 7. Grieta de borde (m) 17. Grieta parabólica (slippage) (m2) 8. Grieta de reflexión de junta (m) 18. Hinchamiento (m2) 9. Desnivel carril / berma (m) 19. Desprendimiento de agregados (m2) 10. Grietas long y transversales (m2)													
NIVEL DE SEVERIDAD LOW Baja L MEDIUM Media M HIGH Alta H		UNIDADES DE MUESTREO	Interv. De unidad de m	Número máximo de VD									
		$n = \frac{N \cdot s^2}{\left(\frac{s^2}{4} \cdot (N - 1)\right) + s^2} = 12$	$i = N/n = 3$	$m_i = 1.00 + \frac{9}{98}(100 - HDV_i)$									
TIPOS DE FALLAS EXISTENTES													
86-100	EXCELENTE	1		4		6		12		19			
71-85	MUY BUENO	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.
56-70	BUENO	10,6	M	6,58	M	2,60	H	159,61	UNICO	30,6	L		
41-55	REGULAR	2,6	M	4,24	M	6,48	H			6,47	L		
26-40	POBRE	7,32	M							15,79	M		
11-25	MUY POBRE	9,47	M							11,52	M		
0-10	FALLADO									3,48	M		
TOTAL	BAJA (L)							162,25		37,07			
	MEDIA (M)	29,99		10,82						30,79			
	ALTA (H)					9,08							
CÁLCULO DEL PCI													
Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad (%)	Valor deducido									
1	M	29,99	10,7%	49									
4	M	10,82	3,9%	26									
6	H	9,08	3,2%	38									
12	ÚNICO	162,25	57,9%	12									
19	L	37,07	13,2%	5									
19	M	30,79	11,0%	19									
Número de valores deducidos > 2(q) Valor deducido más alto = 49 Número máximo de VD (m) = 5,68													
#	VALORES DEDUCIDOS							VDT	q	VDC			
1	49	38	26	19	12	3,4		147,4	6	72			
2	49	38	26	19	12	2		146	5	75			
3	49	38	26	19	2	2		136	4	76			
4	49	38	26	2	2	2		119	3	74			
5	49	38	2	2	2	2		95	2	68			
6	49	2	2	2	2	2		59	1	59			
									Max. VDC		76		
INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)									$PCI = 100 - MÁX.VDC$ $PCI = 24$				
CONDICION DEL PAVIMENTO									MUY POBRE				

Figura 57. Ábaco para corrección del valor deducido total (TDV), muestreo 12



En la unidad de muestreo 12, se detectan seis tipos de fallos, predominando la piel de cocodrilo, el pulido de agregados, la grieta de borde y el desprendimiento de agregados, numerosos de estos con grados de gravedad intermedio y superior. El fallo que más área afectó fue el desprendimiento de agregados (tipo 19) con 37,07 m² de severidad baja, lo que equivale al 13,2 % del total de la zona inspeccionada.

El valor más alto de producido alcanzó los 49 puntos, y se registraron más de dos valores deducidos (q = 5), lo que llevó a emplear la fórmula para calcular el valor deducido correcto (VDC). El VDC registró un valor máximo de 76, lo que resultó en un Índice de Condición del Pavimento (PCI) de 24, ubicando este segmento en la categoría de "Muy Pobre".

4.14 Análisis global y comparativo de los tramos

4.14.1 Distribución del PCI por tramo evaluado con línea de promedio general

El diagrama muestra una diferencia significativa en las condiciones del pavimento a través de los segmentos evaluados. La mayor parte de los segmentos muestran valores de PCI inferiores al promedio general (28.5), lo que evidencia un estado de deterioro considerable en la vía. Los segmentos 1, 7, 9 y 11 muestran los valores más bajos, con índices que no exceden los 15 puntos, lo que indica una condición de pavimento "deficiente" de acuerdo con la escala PCI.

Por otro lado, los segmentos 2, 3, 4, 6 y particularmente el segmento 10, exhiben índices superiores al promedio, siendo el segmento 10 el que muestra el estado más óptimo con un PCI que supera los 70. Esto podría ser resultado de acciones de mantenimiento puntuales o de condiciones estructurales más propicias en ese sector.

La concentración de segmentos en estado deficiente indica la imperiosa necesidad de aplicar estrategias de conservación y rehabilitación, dando prioridad a los que tienen PCI crítica. De igual manera, se muestra que la condición del pavimento no es uniforme, lo que podría impactar de manera adversa en la seguridad y el confort de los usuarios. El diagrama muestra una variación notable en las condiciones del pavimento a lo largo de los segmentos evaluados.

La mayor parte de los segmentos muestran valores de PCI inferiores al promedio general (28.5), lo que evidencia un estado de deterioro considerable en la vía. Los segmentos 1, 7, 9 y 11 muestran los valores más bajos, con índices que no exceden los 15 puntos, lo que indica una condición de pavimento "deficiente" de acuerdo con la escala PCI.

Por otro lado, los segmentos 2, 3, 4, 6 y particularmente el segmento 10, exhiben índices superiores al promedio, siendo el segmento 10 el que muestra el estado más óptimo con un PCI que supera los 70. Esto podría ser resultado de acciones de mantenimiento puntuales o de condiciones estructurales más propicias en ese sector.

La concentración de segmentos en estado deficiente indica la imperiosa necesidad de aplicar estrategias de conservación y rehabilitación, dando prioridad a los que tienen PCI crítica. Además, se nota que la condición del pavimento no es uniforme, lo que podría impactar de manera adversa en la seguridad y el confort de los usuarios.

Figura 58. Gráfico comparativo del Índice de Condición del Pavimento (PCI) por tramo

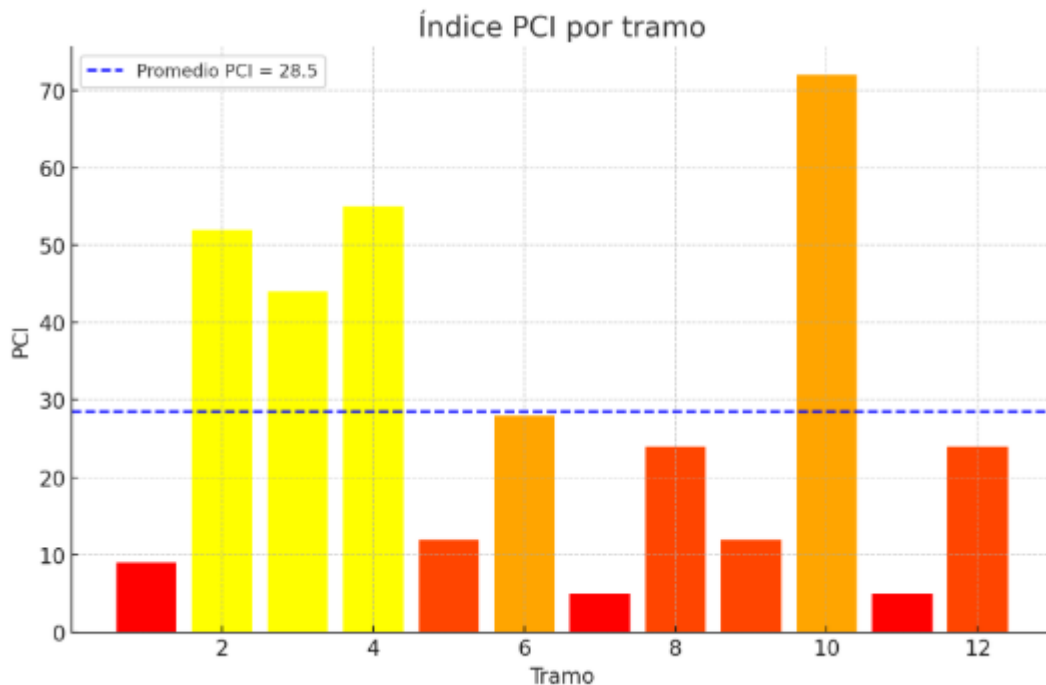
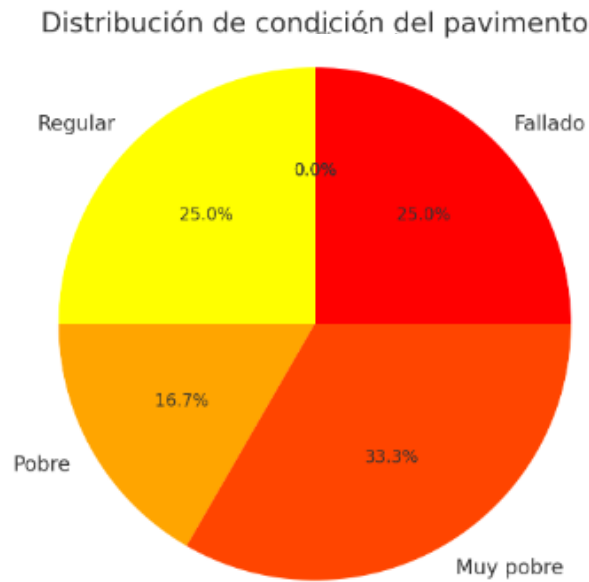


Figura 59. Distribución porcentual de la condición del pavimento.



El diagrama circular muestra la proporción de segmentos de acuerdo a su categorización en el rango de estado del pavimento. Se nota que la mayoría de los segmentos están en un estado muy pobre (33,3 %), seguido por el fallado (25 %) y el regular (25 %). Solo un 16.7 % muestra una condición deficiente y no se registraron segmentos en un estado óptimo.

Este estudio demuestra que más del 75% del pavimento está en condiciones desfavorables (entre pobre y fallado), lo que subraya la importancia de darle prioridad a las intervenciones correctivas. La falta de segmentos con puntuación alta o alta indica una atención de un mantenimiento apropiado a largo plazo y una tendencia general hacia el deterioro gradual de la infraestructura vial evaluada.

4.14.2 Clasificación de los tramos según el rango del índice PCI y resumen de resultados globales

Tabla 26: Resumen de la condición del pavimento por tramo evaluado

Ítem Analizado	Resultado
Tramos en condición excelente (PCI 86-100)	0 tramos
Tramos muy buenos (PCI 71-85)	0 tramos
Tramos buenos (PCI 56-70)	0 tramos
Tramos regulares (PCI 41-55)	3 tramos (25 %)
Tramos pobres (PCI 26-40)	2 tramos (16,7 %)
Tramos muy pobres (PCI 11-25)	4 tramos (33,3 %)
Tramos fallados (PCI 0-10)	3 tramos (25 %)
Promedio del PCI de toda la vía	28,5 (Condición pobre)
Tramo más afectado	Tramo 1 (PCI = 9, condición: fallado)
Tramo en mejor estado	Tramo 10 (PCI = 72, condición: pobre , el único que se aproxima a “bueno”)
Tipo de falla más común	Piel de cocodrilo , presente en más del 60 % de los tramos
Severidad predominante	Alta , en 9 de los 12 tramos evaluados
Tendencia por sectores	Mayor deterioro en los tramos iniciales (1 al 5), con PCI entre 9 y 55

CONCLUSIONES

Con el fin principal de este trabajo de titulación, vinculado a la valoración del estado del pavimento flexible en la vía 16 de Julio, se pueden derivar las siguientes conclusiones: Se realizó una revisión visual minuciosa en doce segmentos repartidos a lo largo del camino, con un área total estimada de 3360 m². Esta revisión facilitó el registro y categorización de los deterioros existentes utilizando el método del Índice de Condición del Pavimento (PCI), con el objetivo de determinar la condición presente de la infraestructura vial y guiar futuras acciones de mantenimiento o rehabilitación.

Los hallazgos indican una condición global deficiente, con un valor medio de PCI de 28,5. La mayor parte de los segmentos estudiados mostraron valores inferiores a 40, categorizándose como "pobres", "muy pobres" o incluso "fallados". Esta circunstancia muestra un elevado nivel de degradación estructural y funcional en la carpeta asfáltica.

El tramo que presentó el nivel de deterioro más alto fue el tramo 1, con un PCI de 9, correspondiente a la categoría "fallado", mientras que el tramo 10, con un PCI de 72, fue el más destacado, clasificado como "pobre". Estos contrastes evidencian una diversidad en las condiciones del pavimento, con una tendencia evidente hacia un deterioro más grave en las etapas iniciales del camino.

Los defectos más frecuentemente detectados fueron la piel de cocodrilo, el pulido de agregados y las fisuras longitudinales y transversales, siendo la piel de cocodrilo la más destacada, presente en más del 60% de los segmentos examinados. Esta avería, frecuentemente ligada a la fatiga del pavimento, constituye un daño estructural significativo que requiere atención de urgencia.

Respecto a los grados de gravedad, predominó la gravedad elevada, detectada en 9 de los 12 tramos analizados. Este dato indica que la mayor parte de los perjuicios no son superficiales, sino que impactan la capacidad estructural del pavimento y ponen en riesgo la seguridad y el confort de los usuarios. Finalmente, la investigación destaca la imperiosa necesidad de poner en marcha un plan de mantenimiento vial que contemple reconstrucción parcial o completa en los segmentos más críticos, junto con medidas preventivas en las áreas con menos impacto, con el objetivo de prolongar la durabilidad del pavimento y maximizar los recursos a disposición.

RECOMENDACIONES

Basándose en el análisis efectuado y los resultados logrados a través del uso del método del Índice de Condición del Pavimento (PCI) en los doce segmentos evaluados de la vía 16 de Julio, se sugiere implementar medidas distintas en función del nivel de deterioro observado en cada tramo. Los segmentos que mostraron una condición defectuosa, con un Índice de Condición del Pavimento inferior a 10, necesitan una reconstrucción completa, ya que los daños detectados impactan seriamente en la estructura del pavimento y ponen en riesgo la seguridad de los usuarios. Esta acción debe contemplar la eliminación total de la estructura actual y la edificación de una nueva sección utilizando materiales apropiados y de larga duración.

En las áreas categorizadas como de muy mala condición (PCI de 11 a 25), se recomienda llevar a cabo una reconstrucción parcial, centrada en las áreas más impactadas. Este procedimiento puede abarcar la sustitución de capas afectadas, la optimización de la base estructural y la instalación de una nueva carpeta asfáltica. En cambio, los segmentos clasificados como pobres (PCI de 26 a 40) necesitan una rehabilitación profunda, la cual puede incluir el fresado de la capa

superficial, la corrección de fallos localizados y el recapeo posterior con una mezcla asfáltica de alta calidad.

En los segmentos que están en estado regular (PCI entre 41 y 55), se aconseja llevar a cabo tareas de mantenimiento correctivo, tales como sellado de fisuras, limpieza de orificios y limpieza de drenajes. Estas facilitarán la preservación de su estado durante más tiempo y evitarán una rápida progresión del deterioro.

Además de las acciones físicas, se percibe como esencial la puesta en marcha de un plan de mantenimiento regular, que incluye revisiones regulares, actualización del estado del camino y organización de acciones preventivas. Además, se aconseja formar al personal técnico en la utilización del método PCI y en métodos contemporáneos de rehabilitación, para garantizar una administración vial más eficaz y sustentable.

Finalmente, los hallazgos de esta investigación deben tenerse en cuenta en la elaboración del presupuesto municipal, dando prioridad a la intervención en los segmentos más críticos e incluyendo aspectos técnicos en la toma de decisiones para potenciar la calidad y seguridad de la infraestructura vial.

ANEXOS



Figura 60. Depresión en el pavimento en el tramo 1 (Abscisa: 0+000 / 0+040)



Figura 61. Piel de cocodrilo en el tramo 1 (Abscisa: 0+000 / 0+040)



Figura 62. Bache en el borde del pavimento en el tramo 1 (Abscisa: 0+000 / 0+040)



Figura 63. Piel de cocodrilo en la unidad de muestreo 2 (Abscisa: 0+120 / 0+160)



Figura 64. Desprendimiento de agregados en la unidad de muestreo 2 (Abscisa: 0+120/0+160)



Figura 65. Piel de cocodrilo en la unidad de muestreo 3 (Abscisa: 0+240 / 0+280)



Figura 66. Pulimento de agregados en la unidad de muestreo 3 (Abscisa: 0+240 / 0+280)



Figura 67. Parcheo en la unidad de muestreo 4 (Abscisa: 0+360 / 0+400)



Figura 68. Pulimento de agregados en la unidad de muestreo 4 (Abscisa: 0+360 / 0+400)



Figura 69. Piel de cocodrilo en la unidad de muestreo 7 (Abscisa: 0+720 / 0+760)



Figura 70. Abultamiento y hundimiento en la unidad de muestreo 8 (Abscisa: 0+840 / 0+880)



Figura 71. Desprendimiento de agregados en la unidad de muestreo 9 (Abscisa: 0+960 / 1+000)



Figura 72. Grieta longitudinal en la unidad de muestreo 10 (Abscisa: 1+080 / 1+120)



Figura 73. Piel de cocodrilo de severidad alta en la unidad de muestreo 11 (Abscisa: 1+200 / 1+240)



Figura 74. Medición de los tramos mediante odómetro



Figura 75. Identificación de fallas en el pavimento

BIBLIOGRAFÍA

- Paredes Álvarez, J. W. (2024). *Análisis del deterioro de las vías urbanas de asfalto del cantón Riobamba*. Universidad Nacional de Chimborazo.
http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/13075/1/Paredes%20A%2C%20Jorge%20W.%20%282024%29_An%C3%A1lisis%20del%20deterioro%20de%20las%20v%C3%ADas%20urbanas%20de%20asfalto%20del%20cant%C3%B3n%20Riobamba.pdf
- Oblitas Gastelo, B. E., Medina Cardozo, I. I., & Paredes Asalde, C. R. (2022). Índice de regularidad internacional e índice de condición de pavimento para definir niveles de serviciabilidad de pavimentos. *Revista de Ingeniería y Competitividad*, 24(2), 245–256.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-17982021000200170&script=sci_arttext
- Hermawan, A., Rifai, A. I., & Umar, U. H. (2024). Analysis of Pavement Condition Index Method for Maintenance and Rehabilitation Strategy for Airport Flexible Pavement: A Bibliometric Review. *Asian Journal of Engineering, Social and Health*, 3(4).
- Andrade, A., Castillo, G., & Chacater, C. (1 de junio de 2021). *Efectos de la variabilidad de los datos iniciales en el índice de condición del pavimento y predicción de su deterioro*. Obtenido de SCIELO:
http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2631-26542021000100102
- <https://camjol.info/index.php/elhigo/article/view/11717>
- BYOND. (25 de 03 de 2013). *Guía completa sobre pavimentos asfálticos*. Obtenido de BYOND: <https://www.byond.es/blog/pavimento-asfaltico/>
- Cárdenas Resines, C. L., Carrillo Sinche, J. L., Izarra Vargas, A. D., Murga Tirado, C. E., & Vásquez Salazar, A. G. (03 de 08 de 2023). *Herramientas tecnológicas de evaluación de fallas en la superficie de pavimento flexible, una revisión sistemática*. Obtenido de LLAMKASUN: <https://llamkasun.unat.edu.pe/index.php/revista/article/view/121>
- CONSTRUEX. (2021). *CONSTRUEX*. Obtenido de https://www.construex.com.ec/exhibidores/impercubiertas/producto/pavimento_asfaltico_guayaquil

- ECOASFALT. (15 de DICIEMBRE de 2020). *ECOASFALT*. Obtenido de <https://www.ecoasfalt.es/pavimento-y-asfalto-son-lo-mismo/>
- Garnica Anguas Paul, M. A. (07 de 2023). *Caminos rurales, una puerta al desarrollo y la conectividad territorial*. Obtenido de SCIOTECA: [https://scioteca.caf.com/handle/123456789/2076#:~:text=Resumen,Caribe%20\(CAF\)%20en%202010.](https://scioteca.caf.com/handle/123456789/2076#:~:text=Resumen,Caribe%20(CAF)%20en%202010.)
- Gordillo Pinos, D. J., & Miguitama Fernández, B. I. (2018). *Determinación de los factores de mayoración del tráfico promedio diario anual (TPDA) partiendo de datos históricos de zonas representativas de la ciudad de Cuenca*. Obtenido de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/items/ba387fbc-e86e-4447-b1ec-7a6a034fed52>
- NOVASINERGIA. (1 de JUNIO de 2021). Obtenido de Efectos de la variabilidad de los datos iniciales en el índice de condición del pavimento y predicción de su deterioro : <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/rns/v4n1/2631-2654-rns-4-01-00102.pdf>
- Oblitas Gastelo, B. E., Medina Cardozo, I. I., & Paredes Asalde, C. R. (16 de mayo de 2022). *Índice de regularidad internacional e índice de condición de pavimento para definir niveles de serviciabilidad de pavimentos*. Obtenido de SCIELO: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-17982021000200170&script=sci_arttext
- PALLO VAZQUEZ, ZAMBRANO, D., & ORLANDO, A. (FEBRERO de 2024). *Incidencia en el volumen del tránsito mediante la metodología del tráfico promedio diario anual (TPDA), debido a la circulación de motocicletas en la intersección de las avenidas Ajaví y Cardenal de la Torre*. Obtenido de Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/27127>
- SCIENCE DIRECT. (2017). *trafico promedio diario anual*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/annual-average-daily-traffic>
- Torres, E. M. (JULIO de 2019). *Proyecto final de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción* . Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10982/evaluacion_condicion_superficial_pavimentos_trimble_trident.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- UNICO ASFALTOS. (2021). *UNICO ASFALTOS*. Obtenido de PAVIMENTO ASFALTICO: <https://unicoasfaltos.es/pavimento-asfaltico/>
- UNIFORT. (05 de 2020). *PAVIMENTOS DE ASFALTO*. Obtenido de UNIFORT: <https://www.unifort.es/pavimentos/asfalto/>
- Vásquez Varela, L. R. (2002, febrero). *Manual para la aplicación del índice de condición del pavimento PCI*. Ingepav. Recuperado de <https://sjnavarro.wordpress.com/wp-content/uploads/2008/08/manual-pci1.pdf>
- Cementos Torices. (s.f.). *¿Qué es el pavimento? Tipos y características*. <https://cementostorices.com/blog/construccion/que-es-el-pavimento-tipos-y-caracteristicas/>
- Unifort. (s.f.). *Pavimentos flexibles y rígidos: diferencias y características*. <https://www.unifort.es/pavimentos-asfalto/pavimentos-flexibles-rigidos/>
- Vásquez Varela, L. R. (2002, febrero). *Manual para la aplicación del índice de condición del pavimento PCI*. Ingepav. Recuperado de <https://sjnavarro.wordpress.com/wp-content/uploads/2008/08/manual-pci1.pdf>
- Tensar International. (s.f.). *What are the functions of layers in a flexible pavement?* <https://www.tensarinternational.com/resources/articles/what-are-the-function-of-layers-in-a-flexible-pavement>
- VISE. (2021). *Funciones de las capas de un pavimento*. <https://blog.vise.com.mx/funciones-de-las-capas-de-un-pavimento>