

Área de Conocimiento de Ingeniería y Afines

**“PROPUESTA DE
MANTENIMIENTO VIAL DE 33
KILÓMETROS DE PAVIMENTO
RÍGIDO EN EL TRAMO
MALACATOYA - EL PAPAYAL
PERTENECIENTES A LOS
DEPARTAMENTOS DE GRANADA
Y BOACO”**

Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero Civil

Elaborado por

Br. Allyson Diane Parrales Sequeira
Carnet: 2018-02781

Tutor:

Ing. Keving Sánchez Rocha

27 de agosto de 2024
Managua, Nicaragua

Agradecimientos

“Y todo lo que puedan decir o hacer, háganlo en el nombre del Señor Jesús, dando gracias a Dios Padre por medio de él.”

-Colosenses 3:17

Gracias primeramente a **Dios** por darme paciencia, sabiduría y fortaleza para cumplir con esta meta, por el amor y el apoyo que me brindó a través de los ángeles más lindos de mi vida, **mis padres Donald Parrales y Alejandra Sequeira**, a quienes doy gracias por su dedicación, por su amor y sus infinitos esfuerzos para darme estudios y todo lo que he necesitado siempre.

Gracias **Mamita Elsa** por todo su amor, por sus oraciones, por ser mi segunda mamá, por nunca negarme una ayuda, ni un consejo, porque las veces que dudé de mí misma, siempre me levantó. Gracias **Tía Patry** por ser un pilar fundamental y un gran apoyo, por ser tan cercana y brindarme ayuda las veces que lo necesité.

Gracias a mi persona, mi compañero de aventuras y universidad, **Kevin**, gracias por tu apoyo, tu cercanía los 5 años de carrera y aún, gracias por tu paciencia y amor.

Gracias **Erson Chávez y Mayra Serrano**, por ser tan cercanos en los momentos justos, por su paciencia, su dedicación, el amor con que me ayudaron, por ustedes pude entregar a tiempo, por todo muchas gracias amigos.

Gracias **Ing. Erick Bonilla e Ing. Obman Escobar** por todas sus muestras de apoyo, sus consejos técnicos para redactar este documento, llevo en mi corazón todo lo que han hecho. Gracias.

Gracias a la Universidad Nacional de Ingeniería, y a los docentes de la facultad de Tecnología de la Construcción, por los 5 años que me permitieron aprender las bases de la Ingeniería Civil. Gracias **Ing. Keving Rocha** por ser mi tutor, apoyándome con paciencia y responsabilidad.

Gracias al **Fondo de Mantenimiento Vial** que me permitió realizar pasantías, brindándome la información necesaria para culminar este importante proyecto de vida, al **Ing. Carlos Silva e Ing. Luis Hernández** quienes me dieron la oportunidad de conocer los proyectos de mantenimiento que impulsa nuestro buen gobierno por medio del FOMAV, al **Ing. German Cruz**, quien fue mi asesor y principal fuente de información, gracias por su paciencia y acompañamiento en este proceso, a la **Ing. Sonia Rizo** gracias por todos sus consejos y largas charlas sobre la ética profesional, valores y principios que guardo en mi corazón y mi mente en mi trabajo, al **Lic. Modesto Jarquín**, por esos consejos que valen millones, pero a mí me los dió gratis, siempre estaré agradecida con el trato tan amable y cercano hacia mí. Dios los bendiga.

Dedicatoria

A Dios, a mis padres Donald y Alejandra quienes me apoyaron incondicionalmente, con su amor, confianza y paciencia, ya que, hicieron posible cumplir cada una de mis metas.

A mi hermano, a mis familiares y compañeros de carrera, quienes saben cuánto esfuerzo lleva culminar este proyecto.

A mi padrino Ing. Fernando Baltodano QEPD, por todo el apoyo emocional y la confianza que siempre demostró hacia mi futuro profesional.

Resumen Ejecutivo

El presente trabajo monográfico que lleva por tema “Propuesta de Mantenimiento Vial de 33 kilómetros de pavimento rígido en el tramo Malacatoya – El Papayal pertenecientes a los departamentos de Granada y Boaco”, tiene gran importancia puesto que la infraestructura vial en cualquier nación desempeña un papel fundamental en su desarrollo socioeconómico y constituye uno de los activos más valiosos en términos económicos.

Por consiguiente, es prioridad planificar un mantenimiento de alta calidad de la red vial nacional, con el fin de preservarla en óptimas condiciones de transitabilidad y comodidad para los usuarios, pero no es posible atender todas las carreteras al mismo tiempo, ni con el mismo criterio de conservación, es necesario identificar los tramos de carreteras más importantes, y en orden descendente, atender a las carreteras de mayor impacto nacional.

Este documento es resultado de tres estudios ingenieriles, estudio – levantamiento de deterioros para la determinación del índice de condición actual del pavimento, estudios deflectométricos y estudios perfilométricos, siendo estos los que resumen el estado del pavimento, y son una herramienta útil en la determinación de las causas del deterioro superficial y estructural del mismo, para indicar la necesidad de conservación o mejora con vista a evitar un deterioro excesivo.

El primer capítulo de este documento, detalla las generalidades del tramo en estudio, la ubicación e importancia del mismo, así como el objetivo general y objetivos específicos propuestos para realizar esta investigación.

En el capítulo II se encuentra la base teórica de los estudios antes mencionados en el cual se cita la Norma ASTM D6433 que describe la metodología para la determinación del índice de condición del pavimento (PCI, Pavement Condition Index), norma ASTM D4695 que describe recomendaciones para la correcta medición de deflexiones con un deflectómetro de impacto o FWD (“Falling Weight Deflectometer”), y para finalizar una explicación teórica del método de

determinación del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) con el perfilómetro láser Hawkeye 1000.

El tercer capítulo consiste en la presentación y análisis de los resultados, el cual es preciso para cumplir con el objetivo del tema, proponer un plan de mantenimiento vial, mediante la ponderación de los indicadores resultantes de los estudios realizados.

Finalmente se tienen las respectivas conclusiones de vigor para visualizar los objetivos alcanzados al ejecutar el presente trabajo monográfico; y las recomendaciones necesarias de aspectos que deben mejorarse para realizar de manera efectiva el plan de mantenimiento a este tramo.

Índice general

Capítulo 1 : Generalidades	1
1.1. <i>Introducción.....</i>	1
1.1.1. Ubicación geográfica del tramo en estudio.....	2
1.2. <i>Objetivos</i>	4
1.2.1. Objetivo general.....	4
1.2.2. Objetivos específicos.....	4
1.3. <i>Justificación.....</i>	5
Capítulo 2 : Marco Teórico.....	7
2.1. <i>Índice de Condición del Pavimento (PCI).....</i>	7
2.1.1. Factores determinantes en la Metodología PCI.....	10
2.2. <i>Perfilometría y deflectometría</i>	27
2.2.1. Base teórica de la perfilometría láser	27
2.2.2. Base teórica de la deflectometría	31
2.3. <i>Mantenimiento de Pavimento Rígido.....</i>	35
Capítulo 3 . Análisis e Interpretación de Resultados	41
3.1. <i>Cálculo del Índice de Condición del Pavimento (PCI)</i>	41
3.1.1 Definición de Unidades de Muestra (UM)	41
3.1.2. Análisis en Campo.....	46
3.1.3. Determinación del PCI.....	52
3.1.4. Procedimiento del estudio perfilométrico	59
3.1.5. Interpretación de los niveles de IRI obtenidos	60
3.1.6. Procedimiento del estudio deflectométrico	61
3.1.7. Propuesta de mantenimiento vial.....	66
3.2. <i>Alcance del Mantenimiento</i>	68
CONCLUSIONES.....	79
RECOMENDACIONES	81
BIBLIOGRAFÍA.....	82
ANEXOS	I

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Niveles de severidad para falla Losa Dividida.	13
Tabla 2: Niveles de Severidad para Desniveles entre Losas.....	14
Tabla 3: Severidades de daño en el sello de la junta.	15
Tabla 4: Severidades desnivel carril - berma.....	16
Tabla 5: Severidades de fisuras lineales.	17
Tabla 6: Severidades de parches grandes.	18
Tabla 7: Severidades en parches pequeños.	19
Tabla 8: Niveles de seriedad para Punzonamiento.	22
Tabla 9: Severidades de descascaramiento, mapa de fisuras, craquelado.....	23
Tabla 10: Niveles de severidad para los descascaramientos de esquina.	24
Tabla 11:Niveles de severidad para descascaramiento de la junta.....	25
Tabla 12: Clasificación de la condición del pavimento de Concreto Hidráulico en Nicaragua según IRI.....	31
Tabla 13: Tabla de distribución de los geófonos del deflectómetro de impacto FWD.	33
Tabla 14. Tipos de mantenimiento según deterioro.....	35
Tabla 15: Distribución kilométrica de unidades de muestra a inspeccionar	46
Tabla 16: Levantamiento de inventario de deterioros en unidades de muestra inspeccionadas.....	49
Tabla 17: Tabla de cálculo de densidades de deterioro	53
Tabla 18: Presentación de valores deducidos.....	55
Tabla 19:Mayores valores deducidos en muestras con diferentes daños.	56
Tabla 20: Iteraciones para el cálculo del VDTC.....	57
Tabla 21: PCI por unidad de muestra evaluada.	58
Tabla 22: Clasificación de la condición estructural según D0 (Deflexiones al centro de la losa.	62
Tabla 23: Alcances de obra por punto kilométrico.....	68
Tabla 24. Alcances de obra por punto kilométrico.....	69
Tabla 25. Alcances de obra por punto kilométrico.....	70
Tabla 26. Alcances de obra por punto kilométrico.....	71

Tabla 27. Alcances de obra por punto kilométrico.....	72
Tabla 28. Alcances de obra por punto kilométrico.....	73
Tabla 29. Alcances de obra por punto kilométrico.....	74
Tabla 30. Alcances de obra por punto kilométrico.....	75
Tabla 31. Alcances de obra por punto kilométrico.....	76
Tabla 32: Costos Unitarios de Obras de Mantenimiento en Concreto Hidráulico.	77
Tabla 33: Costo de Actividades de Mantenimiento Correctivo-Preventivo	77
Tabla 34: Costos Unitarios de Obras de Mantenimiento Periódico	78
Tabla 35: Costos Totales de Obras de Mantenimiento Periódico - Rutinario	78
Tabla 36. Tabla de información de deterioros exportados.....	III
Tabla 37. Interpretación por los niveles de IRI obtenidos.....	XV
Tabla 38: Porcentaje de transferencia de carga por estación.....	XXII

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Macrolocalización del tramo "Malacatoya - El Papayal"	2
Figura 2: Microlocalización del Tramo Malacatoya - El Papayal.....	3
Figura 3: Rango de calificaciones PCI.....	7
Figura 4: Ejemplo de estructura de pavimento rígido	9
Figura 5: Factores determinantes del Índice de Condición del Pavimento	10
Figura 6: Niveles de severidad en deterioro por levantamiento/pandeo.....	11
Figura 7: Deterioro por fisura de esquina	12
Figura 8: Ejemplo de Losa Dividida	13
Figura 9: Ejemplo falla Fisura de durabilidad D	14
Figura 10: Ejemplo de Escalonamiento en juntas.....	14
Figura 11: Ejemplo de daño en el sello de la junta	15
Figura 12: Ejemplo de falla por desnivel carril - berma.....	16
Figura 13: Fisura lineal	18
Figura 14: Ejemplo de parches grandes / parches de cortes utilitarios	19
Figura 15: Ejemplo de parches pequeños	19
Figura 16: Ejemplo de Agregado Pulido	20
Figura 17: Ejemplo de "Popouts"	21
Figura 18: Bombeo	21
Figura 19: Ejemplo de punzonamiento	22
Figura 20: Severidades del cruce de vía férrea	22
Figura 21: Ejemplo de Descascaramiento, mapa de fisuras, craquelado	23
Figura 22: Ejemplo de Fisuras de contracción.....	24
Figura 23: Ejemplo de descascaramiento de esquina	25
Figura 24: Ejemplo de descascaramiento de junta.....	26
Figura 25: Modelo cuarto de carro.....	28
Figura 26. Equipo Perfilómetro Láser Hawkeye 1000	30
Figura 27. Cuenca de Deflexiones por aplicación de carga dinámica	32
Figura 28: Placa de carga de equipo Falling Weight	33
Figura 29: Sensores de Deflexión	33
Figura 30: Sistema de almacenamiento y procesamiento de datos.	34

Figura 31: Celda de Carga	35
Figura 32: Carretera Malacatoya - El Papayal (Est. 62+000)	41
Figura 33: Esquema de Definición de Unidades de Muestra.....	42
Figura 34: Distribución de 26 losas estándar (3x3 metros)	43
Figura 35: Distribución de 72 losas cortas equivalentes a 26 losas estándar	43
Figura 36: Esquema de Línea de Unidades de Muestra	45
Figura 37. Programa Hawkeye Processing Toolkit.....	47
Figura 38. Unidad de Muestra Adicional (UM-441) Estación 73+560.....	48
Figura 39. Fracturas de Juntas en Estación 77+350	49
Figura 40. Deterioro Grietas Longitudinales Severidad Media - Est. 77+335	50
Figura 41. Fisuras Lineales Severidad Alta en Estación 72+645	50
Figura 42. Medición de Grieta Longitudinal Est. 72+645.....	51
Figura 43. Deterioro de Losa Dividida en Est. 73+585	51
Figura 44. Losas Divididas Est. 77+365	52
Figura 45. Procedimiento de determinación de valor deducido.....	54
Figura 46: Departamento de Planificación Vial (FOMAV) junto al equipo Perfilómetro Láser Hawkeye 1000.....	59
Figura 47. IRI por kilómetro	60
Figura 48: Ubicación de la placa de carga en ensayo al centro de la losa.	61
Figura 49. Deflexiones máximas	62
Figura 50: Ubicación de plato de carga para ensayo en junta.....	63
Figura 51: Ensayo al borde de la losa según el Manual de ensayos de la Federal Highway en la Estación Inicial del Proyecto 58+200	64
Figura 52. Deflexiones y transferencia de carga	65
Figura 53. Registro de Deflexiones vs Registro de Deterioros	66



CAPITULO I

GENERALIDADES

Capítulo 1 : Generalidades

1.1. Introducción

El mantenimiento y ampliación de las redes de infraestructura vial es primordial en el crecimiento de países en vías de desarrollo como Nicaragua considerando que permite la comunicación, intercambio de productos y servicios entre regiones, departamentos y municipios, es por esto que a lo largo de los años se han implementado metodologías modernas para la evaluación de la calidad de los pavimentos.

En este sentido, y dada la importancia de la calidad y comodidad de los pavimentos, el fin de esta investigación es el planteamiento de una propuesta de mantenimiento vial al tramo “Malacatoya – El Papayal”, para cumplir con el propósito, se realizó una evaluación estructural y funcional del pavimento.

La condición estructural se obtendrá de los estudios de deflectometría, analizando la habilidad del pavimento de soportar cargas actuales y futuras. La condición funcional se determinará mediante dos indicadores internacionales, el IRI (por sus siglas en inglés, Índice internacional de Rugosidad) que será interpretado mediante el software del perfilómetro láser Hawkeye 1000, y PCI (por sus siglas en inglés “Índice de condición de pavimento”) obtenido mediante la metodología de la norma ASTM D 6433.

Con los resultados obtenidos de estos estudios, se identificarán los alcances de deterioro, y deficiencias de seguridad vial, y mediante un análisis de las causas de estos, se plantearán los tratamientos o reparaciones que serán potencialmente útiles para darle el mantenimiento adecuado al tramo.

1.1.1. Ubicación geográfica del tramo en estudio

El tramo El Papayal - Malacatoya, ubicado en la región suroeste del país, representa una conexión vital entre tres zonas productivas y pobladas que son los departamentos de Managua, Boaco y Granada, las principales actividades económicas son: ganadería, turismo y la producción de arroz.

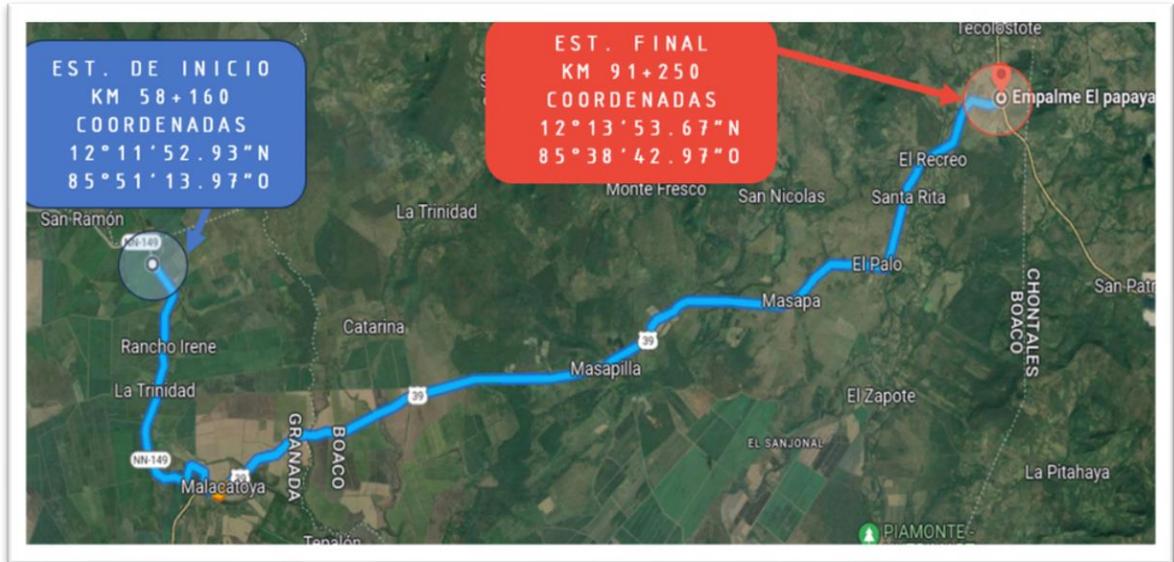
Según el anuario de aforos de tráfico (MTI, 2022) este tramo pertenece la carretera NIC-39A, su clasificación funcional es "Colectora Principal", con una tasa de crecimiento vehicular del 5.34%.

Figura 1: Macrolocalización del tramo "Malacatoya - El Papayal"



Fuente: Elaboración propia con programa AutoCAD 2020

Figura 2: Microlocalización del Tramo Malacatoya - El Papayal



Fuente: <https://www.google.com/maps/dir/El+Papayal,+Boaco/Malacatoya/@12.1912588,-85.7815832,13z/data=!3m1!4b1!4m13!4m12!1m5!1m1!1s0x8f739cd81a8201ed:0xe195f00fd625ec83!2m2!1d85.6441293!2d12.2325885!1m5!1m1!1s0x8f738ebcf384884d:0x91a63889f27d28e9!2m2!1d-85.8364658!2d12.1499498?entry=ttu>

El cultivo de arroz es la principal actividad productiva de los 155 mil habitantes de la zona ya que hay abundante agua y la tierra es muy fértil, con la construcción de esta carretera, se facilitó a sus habitantes el sacar de manera eficiente su producción a los mercados nacionales, las comunidades beneficiadas son El abacal, El Sinchal, El Recreo, La Peña, Masapa, Masapia, El Palo y Cascajal, entre otras. Dentro del tramo se encuentran cuatro puentes: Acoto, Dos Bocas, Boca del Congo y El Recreo.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Plantear propuesta de mantenimiento vial según condiciones estructurales y funcionales de 33 kilómetros de pavimento rígido en el tramo “Malacatoya – El Papayal” pertenecientes a los departamentos de Granada y Boaco.

1.2.2. Objetivos específicos

- ✓ Determinar el índice de condición de pavimento aplicando la norma ASTM D6433, para la clasificación funcional.
- ✓ Realizar estudios de deflectometría de impacto con FWD (Falling Weight Deflectometer) y perfilometría láser con perfilómetro ARRB (Hawkeye 1000), para la evaluación de transferencia de carga e IRI respectivamente en las losas cortas del tramo Malacatoya – El Papayal.
- ✓ Proponer plan de mantenimiento vial con alcances de obra y tipo de actividades según deterioros en el tramo Malacatoya - El Papayal.

1.3. Justificación

El tramo Malacatoya – El Papayal formó parte del proyecto de construcción de la carretera “Malacatoya – Victoria de Julio – El Palo – El Papayal”, ejecutado por la constructora “Grupo Santa Fe” entre los años 2017-2020, además de la carretera se construyeron 4 puentes, 4 cajas de concreto reforzado, 51 alcantarillas, 1.63 km de andenes peatonales y bahías para transporte urbano colectivo. Este proyecto significó un antes y después para los 155 mil habitantes de la zona.

Sin embargo, a lo largo de los años, el pavimento rígido de este tramo ha experimentado un deterioro gradual. La aparición de grietas, baches y desprendimiento del pavimento dificulta la circulación de vehículos y peatones, aumentando los riesgos de accidentes e impacta en los costos de operación vehicular.

La evaluación de este tramo es de vital importancia, pues al identificar los deterioros y las estaciones kilométricas de estos, se genera una propuesta de mantenimiento correctivo y esta a su vez lograría: reducir los deterioros, mantener la calidad de comunicación interdepartamental de Granada, Boaco, Chontales, Río San Juan, Bluefields, Caribe Sur y Tipitapa, dinamizar el comercio y facilitar el acceso a los servicios básicos de salud, educación y calidad de vida de la población en general, y favorecer el turismo regional y local.

Profundizar en el tema de la metodología para la determinación del índice de condición del pavimento (PCI), ponderándola con los resultados de deflectometría y perfilometría láser permite que las nuevas generaciones formulen propuestas innovadoras adaptadas a las condiciones particulares de nuestro país.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO



Capítulo 2 : Marco Teórico

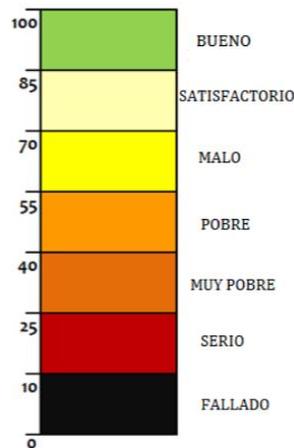
2.1. Índice de Condición del Pavimento (PCI)

Es un índice de calificación del estado general del pavimento, desarrollado por especialistas del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos. Sus objetivos declarados lo identifican como el resultado de un procedimiento de evaluación de la condición operacional (superficial) del pavimento y, a la vez que cuantifica ese estado, puede utilizarse también para estimar las necesidades de mantenimiento y reparación, exigidas por esas condiciones.

El PCI (siglas en inglés “pavement condition index”) es un grado numérico de la condición del pavimento de 0 a 100, siendo 0 la peor condición posible y 100 la mejor condición posible, aun así, este no es un indicador estructural pues el PCI no puede medir la capacidad estructural ni la medida directa de la resistencia al deslizamiento o rugosidad, y solo brinda información sobre el comportamiento del pavimento para su validación o mejoramiento del diseño existente y procedimientos de conservación.

El grado de la condición del pavimento según la norma ASTM D6433 “es una descripción verbal del estado de este, en función al valor del PCI que varía entre fallado hasta excelente” p.709 como se muestra en la siguiente figura:

Figura 3: Rango de calificaciones PCI



Fuente: (Ministerio de obras publicas y transporte , 2016)

El inicio a la metodología PCI es la selección de las unidades de muestreo, que según la norma ASTM D6433 p.709 se define como “fracciones de carretera designadas con el propósito de inspeccionar el pavimento”, son segmentos en los que se divide toda la sección de carretera a auscultar para hallar su valor de PCI, tienen un tamaño estándar de 225 ± 90 m² y dependen de 3 factores:

- **Tipo de evaluación**

Existen dos tipos:

A nivel de proyecto: para un proyecto en específico (Ministerio de obras publicas y transporte , 2016) p.9.

A nivel de red: El Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Lanamme UCR recomienda “inspeccionar la totalidad de las unidades de muestra, sin embargo, si se desea debido a la gran cantidad de rutas a nivel de red y la imposibilidad de evaluar cada ruta en su totalidad, cuya inspección demandaría tiempo y recursos considerables; evaluar la ruta aplicando un proceso de muestreo que permitiría establecer el PCI de la ruta sin la necesidad de evaluar todas las unidades” (Ministerio de obras publicas y transporte , 2016, pág. 9).

- **Características de la sección de carretera**

Se considerará un tramo que posea una construcción uniforme a un “pavimento construido en un mismo período, con un mismo tipo de superficie, Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) e intensidad de carga” (Ministerio de obras publicas y transporte , 2016, pág. 9).

- **Tipo de pavimento**

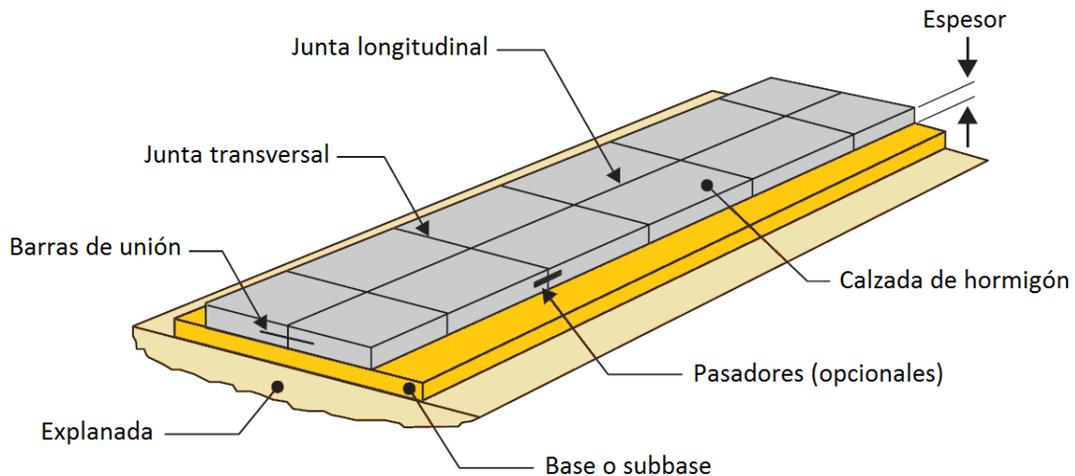
El área de la unidad de muestreo dependerá del tipo de superficie de rodadura pavimento flexible o rígido (Ministerio de obras publicas y transporte , 2016, pág. 9).

Según el Manual Centroamericano de mantenimiento de carreteras (SIECA, 2010) “El pavimento es la estructura integral de las capas de subbase y carpeta de

rodadura, colocadas sobre la subrasante, diseñadas y destinadas a sostener las cargas vehiculares” p.33.

Los pavimentos rígidos están constituidos por una configuración de losas de concreto hidráulico que se sostiene sobre una o varias capas de material granular, dicha estructura se ilustra a continuación:

Figura 4: Ejemplo de estructura de pavimento rígido



Fuente: Anón. 2023. «Componentes principales de un pavimento de hormigón – El blog de Víctor Yepes». Recuperado (<https://victoryepes.blogs.upv.es/2023/03/30/componentes-principales-de-un-pavimento-de-hormigon/>).

Subrasante: Es la base de suelo sobre la cual se construye una carretera, proporcionando el sustento para el pavimento y llegando a una profundidad donde la carga esperada del tráfico no tenga impacto. (SIECA, 2010, p.33).

Base: Según el manual centroamericano de mantenimiento de carreteras (SIECA, 2010) es: “la capa de espesor destinada fundamentalmente a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito, a las capas subyacentes” p.33.

Juntas de contracción transversales: De acuerdo a el texto guía de (Universidad Mayor de San Simón , 2004) se construyen perpendicularmente al eje de trazo del pavimento para evitar el agrietamiento provocado por el secado del hormigón o debido a los cambios de temperatura y humedad p.313.

Juntas de contracción longitudinales: Son aquellos que dividen a los carriles en la dirección longitudinal, se utilizan cuando se van a construir dos o más carriles al mismo tiempo (Universidad Mayor de San Simón, 2004, p.313).

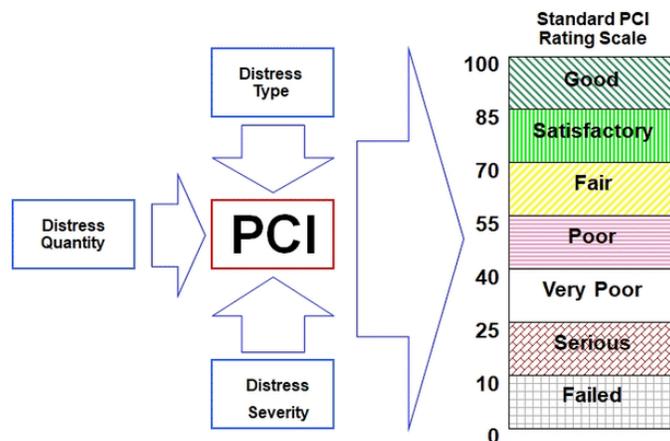
Dovelas: Barras de acero lisas colocadas en las juntas transversales, encargadas de transferir las cargas del tránsito de una losa a la siguiente en la dirección longitudinal. (Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (Lanamme UCR), 2021) p.7.

Barras de Amarre: Las barras de amarre, barras de transferencia de carga, se utilizan en las juntas longitudinales del pavimento de concreto. (Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (Lanamme UCR), 2021) p.7.

2.1.1. Factores determinantes en la Metodología PCI

El deterioro de la estructura de pavimento es una función de la clase de daño, su severidad y cantidad o densidad de este. El PCI se basa en los resultados de un inventario de estos factores, los denominados “valores deducidos”, son un arquetipo de factor de ponderación, con el fin de indicar el grado de afectación que cada combinación de clase de daño, nivel de severidad y densidad tiene sobre la condición del pavimento. El valor deducido tiene un rango de 1-100 estos valores se obtienen de las gráficas de la norma ASTM D6433, creadas para el cálculo del PCI, ver página I de sección anexos.

Figura 5: Factores determinantes del Índice de Condición del Pavimento



Fuente: Manual PCI, ASTM D6433 (p. 633)

A. Niveles de severidad de deterioros en pavimentos rígidos

El procedimiento de evaluación PCI al pavimento consiste en clasificar las fallas funcionales, que son evidentes cuando éste no brinda un paso seguro sobre él y los vehículos no viajan de forma cómoda.

Según el nivel de avance y la prioridad con la que debe atenderse la designación D6433 de las normas ASTM, define 3 niveles de severidad:

L (Low), bajo: Los usuarios pueden percibir vibraciones del vehículo, pero no les es necesario reducir la velocidad por seguridad o comodidad.

M (Medium) Medio: Los usuarios pueden sentir vibraciones más significativas y deben reducir la velocidad por seguridad y comodidad.

H (High) Alto: Las vibraciones del vehículo son tan excesivas que es necesario reducir la velocidad considerablemente.

B. Tipo de Deterioros en Pavimentos Rígidos

En las normas ASTM Designación D 6433 se numeran alfabéticamente 19 tipos de fallas para pavimentos de concreto.

1. Levantamiento / pandeo (Blowup / Buckling)

De acuerdo con la designación D6433, “ocurren en climas cálidos, generalmente en fisuras transversales o juntas que no son lo suficientemente anchas para permitir la dilatación de las losas”. Se debe a la insuficiencia del ancho en las juntas por la infiltración de material incompresible dentro de las mismas y se contabilizan como presente en una losa; sin embargo, si el pandeo ocurre en una junta y afecta a dos losas, la falla debe ser registrada en ambas losas.

Figura 6: Niveles de severidad en deterioro por levantamiento/pandeo



Fuente: Norma American Society for Testing and Materials (ASTM) D6433) p.733

Niveles de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).

2. Fisura de esquina

Esta fisura se caracteriza por intersecar las juntas a una distancia menor o igual a la mitad de la longitud de la losa en ambos lados, medida desde la esquina de la losa. Según la designación D6433-03 los niveles de severidad se verán medidos según el ancho de la fisura.

L: Ancho menor a 13 mm (1/2 pulgada), o cualquier fisura que haya sido rellenada en forma eficiente, sin deterioro.

M: Fisura sin relleno de ancho entre los 15 a 50 mm.

H: una fisura sin relleno de ancho mayor a 50mm (2 pulgadas), o cualquier fisura con o sin relleno don deterioro mayor a 10mm (3/8 pulgada).

Figura 7: Deterioro por fisura de esquina



Fuente: Norma American Society for Testing and Materials (ASTM) D6433) p.734

Niveles de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c)

3. Losa Dividida

Esta falla se identifica cuando “la losa está dividida por fisura en cuatro o más piezas debido a los efectos de sobrecargas, o a un soporte inadecuado, o ambas”. (Manual PCI, ASTM D6433-3 p.49) La severidad dependerá de la tabla 1 del presente documento:

Tabla 1: Niveles de severidad para falla Losa Dividida.

SEVERIDAD DE LA MAYORIA DE LAS GRIETAS	NUMERO DE PIEZAS		
	2 a 3	4 a 5	Mayor que 5
L	L	L	M
L	L	M	H
H	M	H	H

Fuente: Norma ASTM D6433-03 p. 734

Figura 8: Ejemplo de Losa Dividida



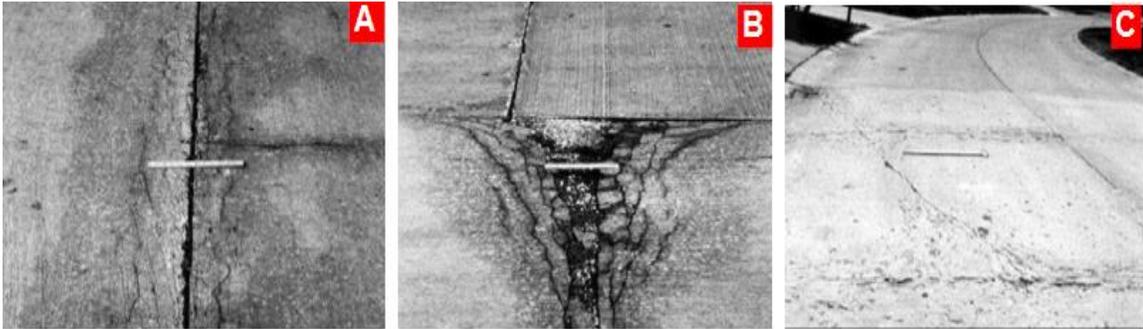
Fuente: Norma American Society for Testing and Materials (ASTM) D6433) p.736

Niveles de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).

4. Fisura de durabilidad “D”

Estas fisuras se originan por “la expansión que el ciclo congelamiento-deshielo produce en el agregado grueso, el cual, con el tiempo, fractura el concreto en forma gradual” (Manual PCI, ASTM D6433-3). Cabe señalar que el ciclo congelamiento – deshielo del concreto es un fenómeno común en el que el agua contenida en los poros del concreto endurecido en períodos de tiempo determinados. Aparece como un patrón de fisuras que se desarrolla en paralelo y cerca de la junta o de una fisura lineal tal como se ve en la figura 9.

Figura 9: Ejemplo falla Fisura de durabilidad D



Fuente: Norma American Society for Testing and Materials (ASTM) D6433) p.738

Niveles de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c)

5. Escalonamiento

Es la diferencia de niveles en las juntas. Los niveles de severidad para esta falla están dados por la tabla 2 del presente documento.

El desnivel entre losas es contabilizado como una losa. Sólo las losas afectadas deben ser contabilizadas. Los desniveles a través de una fisura no son contados como fallas, pero son considerados para determinar la severidad de la fisura.

Tabla 2: Niveles de Severidad para Desniveles entre Losas.

Nivel de Severidad	Diferencia de niveles
L	3 a 10 mm (1/8 a 3/8 pulgada)
M	10 a 20 mm (3/8 a 3/4 pulgada)
H	Más de 20 mm (más de 3/4 pulgada)

Fuente: Norma ASTM D6433-03 p. 740

Figura 10: Ejemplo de Escalonamiento en juntas



Fuente: Norma American Society for Testing and Materials (ASTM) D6433) p.740

6. Daño en el sello de la junta

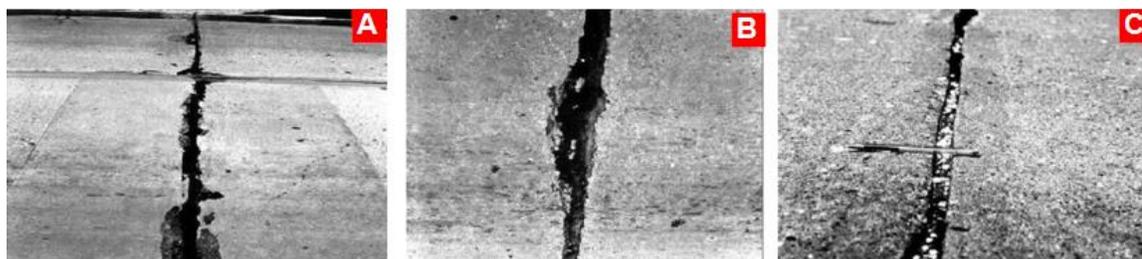
Según el Manual PCI norma ASTM D6433, el daño en sello de junta es “cualquier estado de condición que permita la acumulación de material del suelo o rocas en las juntas, o que permita la infiltración de cantidades significativas de agua”. La acumulación de estos materiales incompresibles en las juntas impide que las losas se dilaten adecuadamente y ocasiona fragmentación, levantamiento o despostillamiento en las losas. Las severidades para este deterioro se detallan en la tabla 3 del presente documento.

Tabla 3: Severidades de daño en el sello de la junta.

Severidad	Detalle
Baja	Sólo los sellantes de unas pocas juntas muestran poca adherencia, pero aún siguen en contacto con los bordes de las juntas. Si una hoja de cuchillo puede ser insertada entre el sellante y la cara de la junta sin resistencia alguna.
Media	Cuando el sellante de la junta generalmente se encuentra en regular condición en toda la sección, con uno o más de los daños mencionados arriba, presentes en forma moderada.
Alta	Cuando el sellante de junta generalmente se encuentra en pobre condición en toda la sección, con uno o más de los daños mencionados arriba, presentes en forma moderada.

Fuente: Norma ASTM D6433-03 p. 741

Figura 11: Ejemplo de daño en el sello de la junta



Fuente: Norma American Society for Testing and Materials (ASTM) D6433) p.742

Niveles de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c)

7. Desnivel carril-berma

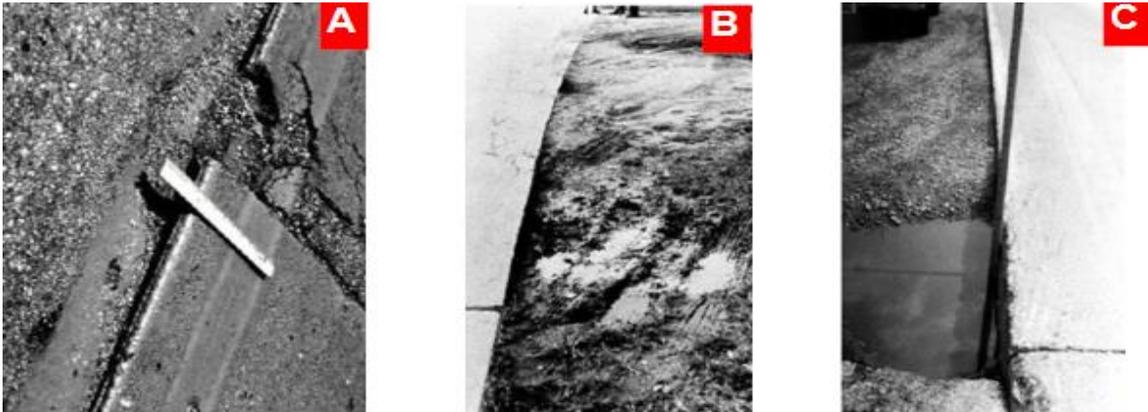
Es “la diferencia de niveles entre el asentamiento o la erosión de la berma y el borde del carril del pavimento” (Manual PCI, ASTM D6433-03). Esta diferencia de niveles puede ser un peligro para la seguridad de la vía, y también puede causar una importante infiltración de agua y facilitar la erosión en las bases del pavimentado. El valor medio del desnivel carril-berma se obtiene promediando el máximo y el mínimo desnivel a lo largo de la losa.

Tabla 4: Severidades desnivel carril - berma.

Severidad	Detalle
Baja	La diferencia en elevación entre el borde del pavimento y la berma es >25 y ≤ 50 mm (>1 y ≤ 2 pulgadas)
Media	La diferencia en elevación es >50 y ≤ 100 mm (>2 y ≤ 4 pulgadas)
Alta	La diferencia en elevación es >100 mm (>4 pulgadas)

Fuente: Norma ASTM D6433-03 p. 741

Figura 12: Ejemplo de falla por desnivel carril - berma



Fuente: Norma American Society for Testing and Materials (ASTM) D6433) p.742

Niveles de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c)

8. Fisuras lineales

Fisuras longitudinales, transversales y diagonales. Estas grietas, que parten la losa en dos o tres fragmentos, generalmente surgen por “la combinación de

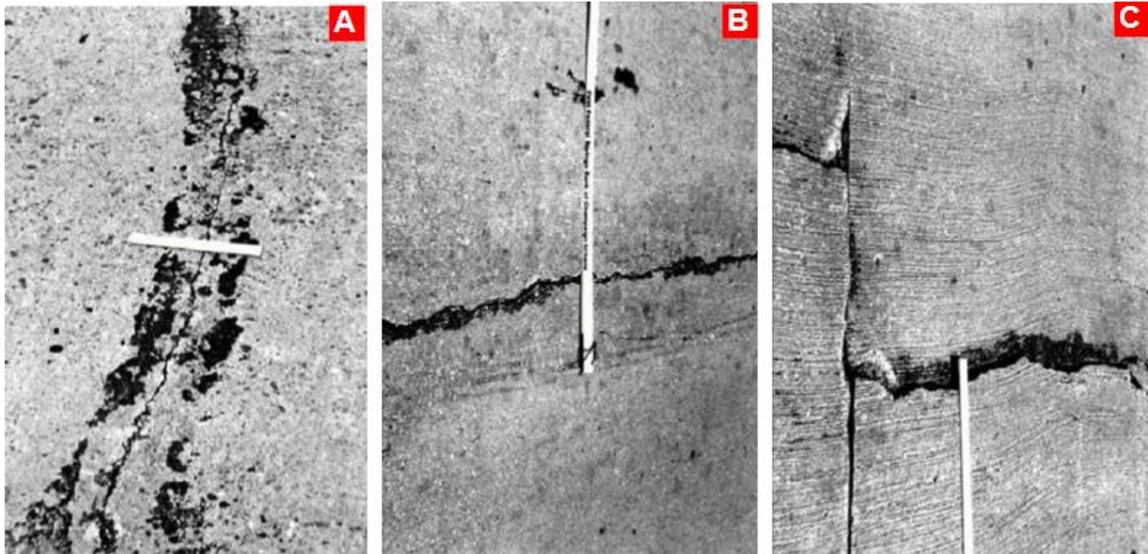
cargas repetidas de tráfico, alabeo por el gradiente térmico, y cargas repetidas de humedad” (Manual PCI, ASTM D6433-03).

Tabla 5: Severidades de fisuras lineales.

Severidad	Detalle (losas sin refuerzo)
Baja	Las fisuras sin relleno o sello de ancho $\leq 13\text{mm}$ ($\leq 1/2$ pulgada) o fisuras con relleno de cualquier ancho con material de relleno en condición satisfactoria. No existen desniveles.
Media	Cuando se cumple una de las siguientes condiciones: fisuras sin relleno de ancho > 13 y $\leq 50\text{mm}$ ($> 1/2$ y ≤ 2 pulgadas); fisuras sin relleno de cualquier ancho $\leq 50\text{mm}$ (2 pulgadas) con algún desnivel $< 10\text{mm}$ ($3/8$ pulgada), o fisuras con relleno de cualquier ancho con algún desnivel $< 10\text{mm}$ ($3/8$ pulgada).
Alta	Cuando se cumple una de las siguientes condiciones: fisuras sin relleno de ancho $> 50\text{mm}$ (2 pulgadas); o fisuras con o sin relleno de cualquier ancho con algún desnivel $> 10\text{mm}$ ($3/8$ pulgada)
Severidad	Detalle (losas con refuerzo)
Baja	Las fisuras sin relleno o sello de ancho $\leq 13\text{mm}$ ($\leq 1/2$ pulgada) o fisuras con relleno de cualquier ancho con material de relleno en condición satisfactoria. No existen desniveles.
Media	Cuando se cumple una de las siguientes condiciones: fisuras sin relleno de ancho ≥ 25 y $< 75\text{mm}$ (≥ 1 y < 3 pulgadas) y sin desniveles; fisuras sin relleno de cualquier ancho $\leq 75\text{mm}$ (3 pulgadas) con algún desnivel $\leq 10\text{mm}$ ($3/8$ pulgada), o fisuras con relleno de cualquier ancho con algún desnivel $> 10\text{mm}$ ($3/8$ pulgada).
Alta	Cuando se cumple una de las siguientes condiciones: fisuras sin relleno de ancho $> 75\text{mm}$ (3 pulgadas); o fisuras con o sin relleno de cualquier ancho con algún desnivel $> 10\text{mm}$ ($3/8$ pulgada).

Fuente: Norma ASTM D6433-03 p. 743

Figura 13: Fisura lineal



Fuente: Norma American Society for Testing and Materials (ASTM) D6433) p.744

Niveles de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c)

9. Parches grandes y parches grandes de cortes utilitarios

Se le denomina parche a “un área en la que el pavimento original ha sido removido y reemplazado por nuevo material de relleno” (Manual PCI, ASTM D6433).

Mientras que un parche de corte utilitario, “es un parche efectuado para permitir la instalación o mantenimiento de algún servicio público con instalaciones subterráneas” (Manual PCI, ASTM D6433). Ambos daños, se determinan bajo los mismos criterios de nivel de severidad de la siguiente tabla y se contabilizan por losa:

Tabla 6: Severidades de parches grandes.

Severidad	Detalle
Baja	Cuando el parche funciona bien, con poco o ningún deterioro.
Media	Cuando el parche está moderadamente deteriorado, o se aprecia descascaramiento (despostillamiento) moderado alrededor de los bordes, o ambos.
Alta	Cuando el parche está severamente deteriorado.

Fuente: Norma ASTM D6433-03 p. 745

Figura 14: Ejemplo de parches grandes / parches de cortes utilitarios



Fuente: Norma American Society for Testing and Materials (ASTM) D6433) p.746

Niveles de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c)

10. Parches pequeños

Estos parches son característicos por tener áreas menores a 0.5 metros cuadrados o bien 5.5 pie cuadrados. Se miden por losa.

Tabla 7: Severidades en parches pequeños.

Severidad	Detalle
Baja	Cuando el parche funciona bien, con poco o ningún deterioro.
Media	Cuando el parche está moderadamente deteriorado.
Alta	Cuando el parche está severamente deteriorado.

Fuente: Norma ASTM D6433-03 p. 745

Figura 15: Ejemplo de parches pequeños



Fuente: Norma American Society for Testing and Materials (ASTM) D6433) p.746

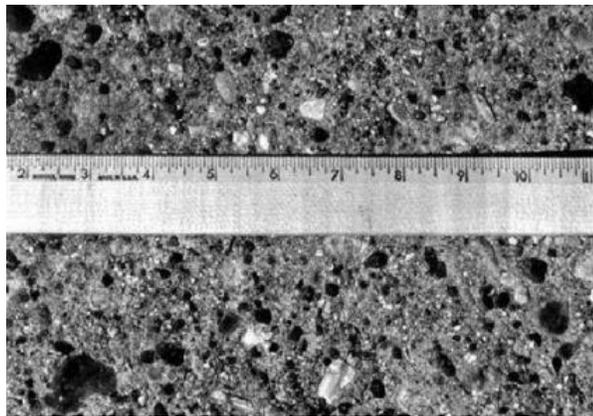
Niveles de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c)

11. Agregado Pulido

El agregado pulido se determina “cuando un estudio exhaustivo del pavimento revela que la porción de agregado que se extiende sobre la superficie es muy pequeña, o no existe aspereza o partículas de agregado angular que proporcionen buena resistencia al deslizamiento” (Manual PCI, ASTM 6433-03).

No hay niveles de severidad definidos; sin embargo, el nivel de pulido debe ser claramente notable antes de que sea incluido en la inspección como una falla. Además, se contabiliza por número de losas.

Figura 16: Ejemplo de Agregado Pulido



Fuente: Norma American Society for Testing and Materials (ASTM) D6433) p.748

12. Popouts

Este término “popout” hace referencia a un “pequeño pedazo de pavimento que se rompe y se desprende de la superficie debido a la acción sucesiva del congelamiento y deshielo combinados con la presencia de agregados expansivos.” (Manual PCI, ASTM D6433-03). No hay grados de severidad definidos para los Popouts; sin embargo, deben ser extensivos antes de que sean considerados como falla. La densidad promedio de los Popouts debe ser aproximadamente mayor a 3 popouts/m² sobre el área de una losa completa.

Figura 17: Ejemplo de "Popouts"



Fuente: Norma American Society for Testing and Materials (ASTM) D6433) p.749

13. Bombeo

El bombeo “es la expulsión de material proveniente de la fundación de la losa a través de las juntas o fisuras, causado por la deflexión de la losa por las cargas de tránsito” (Manual PCI, ASTM D6433-03). Este proceso erosiona y finalmente elimina partículas del suelo, lo que conlleva a una pérdida gradual del soporte del pavimento.

Una junta con bombeo entre dos losas, es contabilizada como dos losas; sin embargo, si las otras juntas alrededor de de la losa también presentan bombeo, una losa es adicionada por cada junta con bombeo.

Figura 18: Bombeo



Fuente: Norma American Society for Testing and Materials (ASTM) D6433) p.750

14. Punzonamiento

Esta falla es un área localizada de la losa que se encuentra fracturada en piezas. El punzonamiento puede tomar diferentes formas, pero usualmente está definido

por una junta y una fisura. La severidad de estas fallas se determinará según los siguientes parámetros dados en la tabla 7:

Tabla 8: Niveles de seriedad para Punzonamiento.

Severidad de la mayoría de las grietas	Número de piezas		
	2 a 3	4 a 5	Mayor que 5
L	L	L	M
M	L	M	H
H	M	H	H

Fuente: Norma ASTM D6433-03 p. 751

Figura 19: Ejemplo de punzonamiento



Fuente: Norma American Society for Testing and Materials (ASTM) D6433) p.753

Niveles de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c)

15. Cruce de vía férrea

Estos deterioros no se encuentran en nuestro país, por la inexistencia de vías férreas. Estos se caracterizan por presentar depresiones o abultamientos alrededor de los rieles.

Figura 20: Severidades del cruce de vía férrea



Fuente: Norma American Society for Testing and Materials (ASTM) D6433) p.755

Niveles de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c)

16. Descascaramiento, mapa de fisuras, craquelado.

Según el Manual PCI, ASTM D6433, se caracteriza por una “red de fisuras superficiales, finas o del espesor de un cabello que se extienden sólo sobre la parte superficial del concreto”.

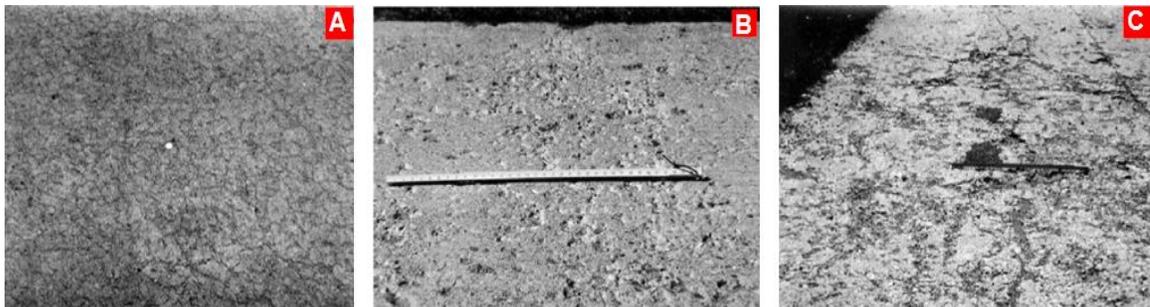
Los criterios de severidad se describen en la siguiente tabla:

Tabla 9: Severidades de descascaramiento, mapa de fisuras, craquelado.

Severidad	Detalle
Baja	Cuando el mapa de fisuras o craquelado existe sobre la mayoría del área de la losa; la superficie se encuentra en buenas condiciones, con presencia de descascaramientos menores.
Media	Cuando la superficie de la losa está descascarada en un área menor al 15% del total.
Alta	Cuando la superficie de la losa está descascarada en un área mayor al 15% del total.

Fuente: Norma ASTM D6433-03 p. 753

Figura 21: Ejemplo de Descascaramiento, mapa de fisuras, craquelado



Fuente: Norma American Society for Testing and Materials (ASTM) D6433) p.755

Niveles de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c)

17. Fisuras por contracción

Estas grietas son “del espesor de un cabello” que tienen una “longitud menor a 2 metros y no llegan a atravesar toda la losa”. Se originan durante la colocación y

fraguado del concreto, y generalmente no se extienden a través de todo el espesor de la losa (Manual PCI, ASTM D6433-03).

Si se encuentran algunas fisuras de contracción en una losa en particular, entonces, esta es contabilizada como una losa con fisura de contracción.

Figura 22: Ejemplo de Fisuras de contracción



Fuente: Norma American Society for Testing and Materials (ASTM) D6433) p.756

18. Descascaramiento de esquina

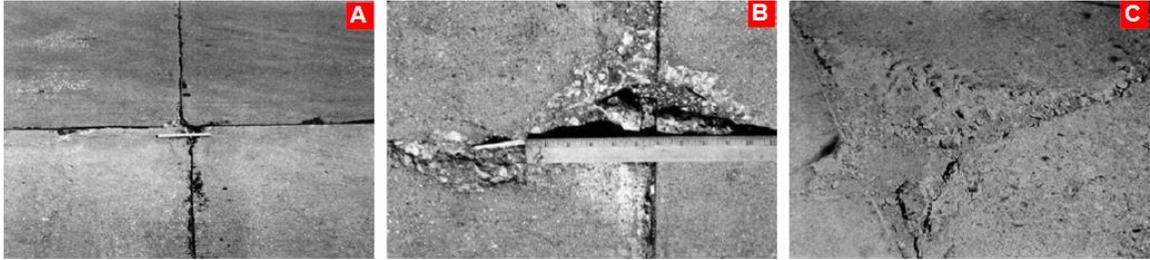
Esta grieta se produce aproximadamente a 0.5 m de la esquina. A diferencia de una fractura de esquina se prolonga “a cierto ángulo hasta intersectar la junta”. (Manual PCI, ASTM D6433-03). Los niveles de severidad para esta falla se detallan en la tabla 10 de este documento.

Tabla 10: Niveles de severidad para los descascaramientos de esquina.

Profundidad de descascaramiento	Dimensión de los lados del descascaramiento	
	130x130mm a 300x300mm	300x300mm
<25mm (1plg)	L	L
>25 a 50mm (1 a 2 plg)	L	M
>50mm (2 plg)	M	H

Fuente: Norma ASTM D6433-03 p. 757

Figura 23: Ejemplo de descascaramiento de esquina



Fuente: Norma American Society for Testing and Materials (ASTM) D6433) p.757

19. Descascaramiento de junta.

“Es la fractura de los bordes de la losa que se produce aproximadamente a 0.5m (1.5 pies) de la esquina.” (Manual PCI ASTM D6433-03), este descascaramiento normalmente no se extiende a través de la losa, pero interseca la junta a un determinado ángulo. Los niveles de severidad están dados por la siguiente tabla.

Tabla 11: Niveles de severidad para descascaramiento de la junta.

Piezas de descascaramiento	Ancho del descascaramiento	Longitud del descascaramiento	
		<0.5m	>0.5m
Apretadas – No pueden ser removidas fácilmente (de repente algunas piezas perdidas)	<100mm (4plg)	L	L
	>100mm	L	L
Sueltas – Pueden ser removidas y algunas piezas se han salido; si la mayoría ó todas las piezas se salieron, el descascaramiento es superficial, menor a 25mm (1 pulgada).	<100mm	L	M
	>100mm	M	M
Perdidas – La mayoría ó todas las piezas han sido removidas	<100mm	L	M
	>100mm	M	H

Fuente: Norma ASTM D6433-03 p. 72

Figura 24: Ejemplo de descascaramiento de junta



Fuente: Manual PCI, ASTM D6433-03

2.2. Perfilometría y deflectometría

Las funciones esenciales de una carretera incluyen la capacidad estructural suficiente para soportar las cargas a las que estará expuesta y proporcionar buenas condiciones de operación desde la perspectiva del usuario garantizando la seguridad en todo momento. El estado y el rendimiento de una carretera fluctúan a lo largo del tiempo debido a diversas demandas directas o indirectas, como el tráfico o las condiciones climáticas.

La capacidad estructural del pavimento implica soportar las cargas impuestas por el tránsito y las condiciones ambientales. La capacidad estructural y funcional están íntimamente relacionadas. En efecto, un deterioro estructural de un pavimento se manifiesta por una disminución de su capacidad funcional ya que hay un incremento en la irregularidad, ruido y un riesgo para los vehículos y ocupantes que lo transiten. En consecuencia, es necesario evaluar periódicamente el estado de la carretera para garantizar el cumplimiento de las funciones básicas y estructurales del pavimento.

En el ámbito de la gestión de una carretera, se le denomina evaluación técnica al proceso que implica la recopilación de datos, la evaluación de la infraestructura a través de un indicador y la predicción de la condición futura de la carretera mediante un modelo de comportamiento. En Nicaragua dicha gestión es llevada a cabo por el Fondo de Mantenimiento Vial, mediante estudios de deflectometría y perfilometría láser, obteniendo los indicadores de capacidad estructural y funcional respectivamente.

2.2.1. Base teórica de la perfilometría láser

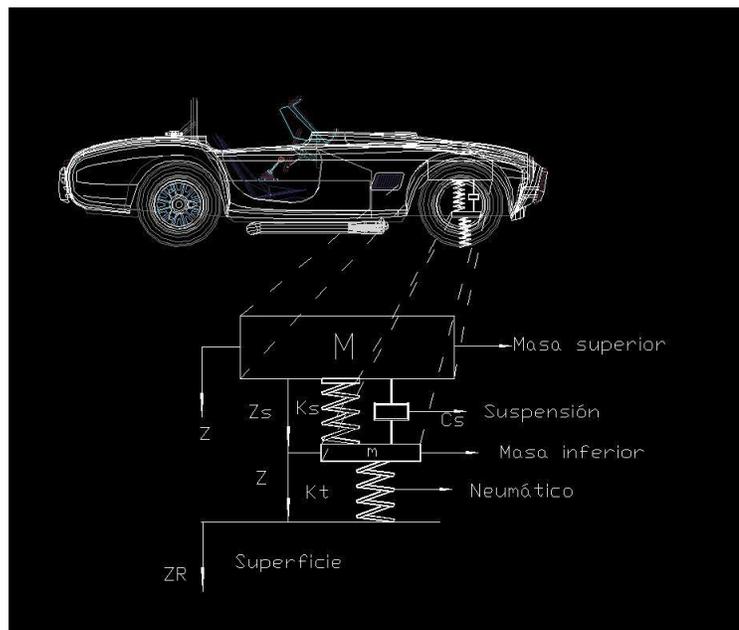
A como se menciona anteriormente la perfilometría láser es un estudio que evalúa la condición funcional del pavimento, el indicador obtenido es el denominado IRI o bien, Índice de Rugosidad Internacional (International roughness index), este índice está relacionado con la calidad de manejo que proporciona el pavimento, es también un indicador de las condiciones de seguridad del pavimento, se utiliza

en el cálculo de los costos de operación vehicular y en algunos métodos de proyecto de pavimentos.

La rugosidad se define de acuerdo con ASTM E867 como "La desviación de una superficie plana verdadera con dimensiones características que afectan la dinámica del vehículo y la calidad de marcha" (ASTM, 1995). Las unidades de medida es metros/kilómetro (pulgadas/milla). 0

Se puede definir también como la acumulación del desplazamiento vertical del perfil longitudinal de una vía y un plano horizontal, simulado matemáticamente por medio de un modelo matemático denominado "cuarto de carro", en donde un cuarto de vehículo constituido por una llanta, dos resortes, un amortiguador y dos masas (una sostenida y otra suspendida) transita la vía a una velocidad de 80 km/h, a como se observa en la siguiente figura.

Figura 25: Modelo cuarto de carro



Fuente: («Figura-1-Modelo-de-cuarto-de-carro.png (850x614)», s. f.)

Este indicador nace a partir de una investigación por el Banco Mundial en el año 1982, en el que define que "el IRI se calcula como la razón del movimiento relativo acumulado por la suspensión del vehículo patrón, (que representa la cuarta parte

de un vehículo de cuatro ruedas) dividido por la distancia recorrida por dicho vehículo, a una velocidad de 80 km/h”.

Según Michel S. Janoff en su libro “Pavement Roughness and Rideability Field Evaluation” “los pavimentos con una menor regularidad inicial tienen niveles más bajos de regularidad, niveles más bajos de agrietamiento y costos anuales medios de mantenimiento más bajos para los siguientes 10 años”.

Los valores altos de IRI significan menor nivel de vida del pavimento, costos de operación más altos, mayor consumo de combustible y mayor concentración de cargas dinámicas.

Para la medición del IRI, según el boletín técnico presentado por el Banco mundial en el año 1986, existen 4 clases de medición:

- Clase 1: Perfiles de precisión

Son los más exactos, el perfil longitudinal se debe medir en intervalos no mayores a 250 mm y la precisión en la elevación debe ser de 0.5 mm en pavimentos muy lisos, pudiéndose aumentar en pavimentos rugosos.

- Clase 2: Otros métodos perfilométricos

Son todos los otros equipos que no cumplen con los requerimientos de precisión y exactitud requeridos en la clase 1. Estos métodos de medición y hardware son calibrados por métodos independientes.

- Clase 3: IRI estimado a partir de ecuaciones de correlación

El IRI se estima a partir de ecuaciones de correlación. Este sistema de obtención del IRI fue muy practicado en los años 80 y 90, por medio de los equipos de respuesta dinámica.

- Clase 4: Evaluación subjetiva y equipos no calibrados

El IRI se obtiene a partir de una evaluación subjetiva (experiencia y evaluación visual) o mediciones no calibradas. Aplica para casos en donde no se exija mucha exactitud en el resultado del IRI.

El uso de equipos para la medición del parámetro IRI ha sido diverso tanto en el tiempo como en diferentes partes del mundo. Sin embargo, en el contexto mundial, el uso de equipos clase 1 como los perfilómetros láser, según el Banco mundial, ha sido difundido y es el de mayor uso en países desarrollados, mientras que en países en vías de desarrollo y subdesarrollados como el nuestro, se encuentra en proceso de acoplamiento. Específicamente en América latina, países como Chile y Colombia son los pioneros en el uso de equipos dinámicos como los perfilómetros láser para la medición del parámetro IRI.

Actualmente el perfilómetro láser es el más reconocido y empleado a nivel mundial y su uso es ampliamente aceptado por las diferentes agencias viales. El perfilómetro empleado se presenta en la figura 26 y corresponde a un Hawkeye series 1000, clasificado como el de máxima precisión en su tipo, de acuerdo al estándar ASTM E 950-94. Este equipo mide en el sentido de circulación en forma continua y sin interrumpir el tránsito.

Figura 26. Equipo Perfilómetro Láser Hawkeye 1000



Fuente: Elaboración propia.

Su operación se realiza en conjunto con el sistema de posicionamiento kilométrico, permitiendo a la persona que lo está utilizando, definir los intervalos de muestreo y ubicando a su vez cualquier tipo de evento o singularidad que se detecte durante la campaña de medición en terreno mientras proporciona imágenes totalmente unidas de vídeo (fotogramas).

El fondo de Mantenimiento Vial (FOMAV), ha normado estándares de IRI para nombrar el estado del pavimento según el IRI obtenido a como se detalla en la tabla 12.

Tabla 12: Clasificación de la condición del pavimento de Concreto Hidráulico en Nicaragua según IRI.

Condición	IRI (m/km)
Muy bueno	<2.8
Bueno	2.8 – 3.5
Regular	3.6 – 4.3
Malo	>4.3

Fuente: Departamento de planificación del FOMAV, 2023.

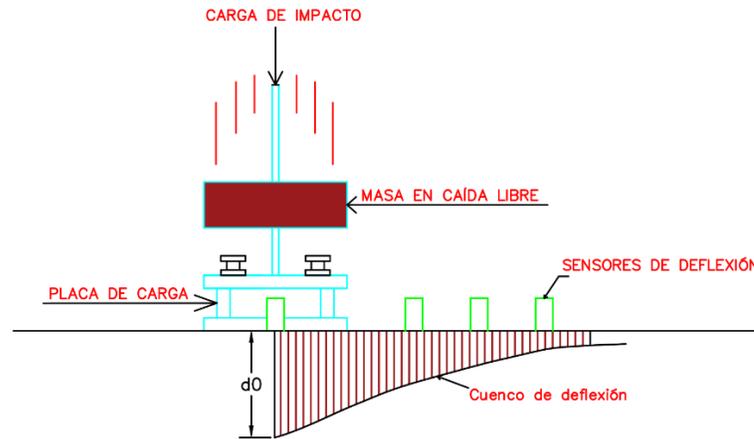
2.2.2. Base teórica de la deflectometría

La deflexión de un pavimento se define como el valor que representa la respuesta estructural ante la aplicación de una carga vertical externa. También se define como el desplazamiento vertical del paquete estructural de un pavimento ante la aplicación de una carga; generalmente, la carga es producida por el tránsito vehicular. Cuando se aplica una carga en la superficie no solo se desplaza el punto bajo su aplicación, produciendo una deflexión máxima (d_0), sino que también se desplaza una zona alrededor del eje de aplicación de la carga, que se denomina cuenco de deflexión a como se observa en la figura 27.

La deflexión permite ser correlacionada con la capacidad estructural de un pavimento, de manera que, si la deflexión es alta en un modelo estructural, la capacidad estructural del modelo de pavimento es débil o deficiente, y lo contrario,

si la deflexión es baja, quiere decir que el modelo estructural del pavimento tiene buena capacidad.

Figura 27. Cuenca de Deflexiones por aplicación de carga dinámica



Fuente: Elaboración propia

Las deflexiones se miden en centésimos de milímetro y proporciona información valiosa sobre la resistencia del pavimento ante el tráfico vehicular.

La deflectometría mide la deformación o hundimiento de la superficie del pavimento cuando se aplica un peso estándar de forma controlada sobre dicha superficie (deflexiones) por medio de “ensayos no destructivos, que simulan el comportamiento ante el paso de vehículos pesados”. (Instituto mexicano del transporte, 2004), y pueden ser empleados en pavimentos flexibles, rígidos o en una mezcla de ambos, incluso en cualquier capa de pavimento en construcción.

El Falling Weight Deflectometer (FWD) es un deflectómetro de Impacto que registra la fuerza del golpe, la temperatura del aire, la temperatura superficial del pavimento y las máximas deformaciones registradas mediante un grupo de sensores de deformación (geófonos), con las cuales se puede llevar a cabo la caracterización y evaluación estructural del pavimento.

Este equipo está compuesto por diferentes elementos, entre los principales está:

Placa de carga: Capaz de distribuir uniformemente la carga en la superficie del pavimento, este tiene 300 mm de diámetro.

Figura 28: Placa de carga de equipo Falling Weight



Fuente: Elaboración propia

Sensores de deflexión: Deben ser capaces de medir el desplazamiento vertical máximo del pavimento. Deben ir montados de manera que se minimice la rotación angular con respecto a su plano de medida para el máximo movimiento esperado. El número y la separación de los sensores son opcionales y dependerán del objetivo del ensayo y de las características de las capas del pavimento.

Figura 29: Sensores de Deflexión



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13: Tabla de distribución de los geófonos del deflectómetro de impacto FWD.

[Desfases de geófonos (mm)]								
D1	D2	D3	D4	D5	D6	D8	D9	D10
0	200	300	450	600	900	1500	1800	-400

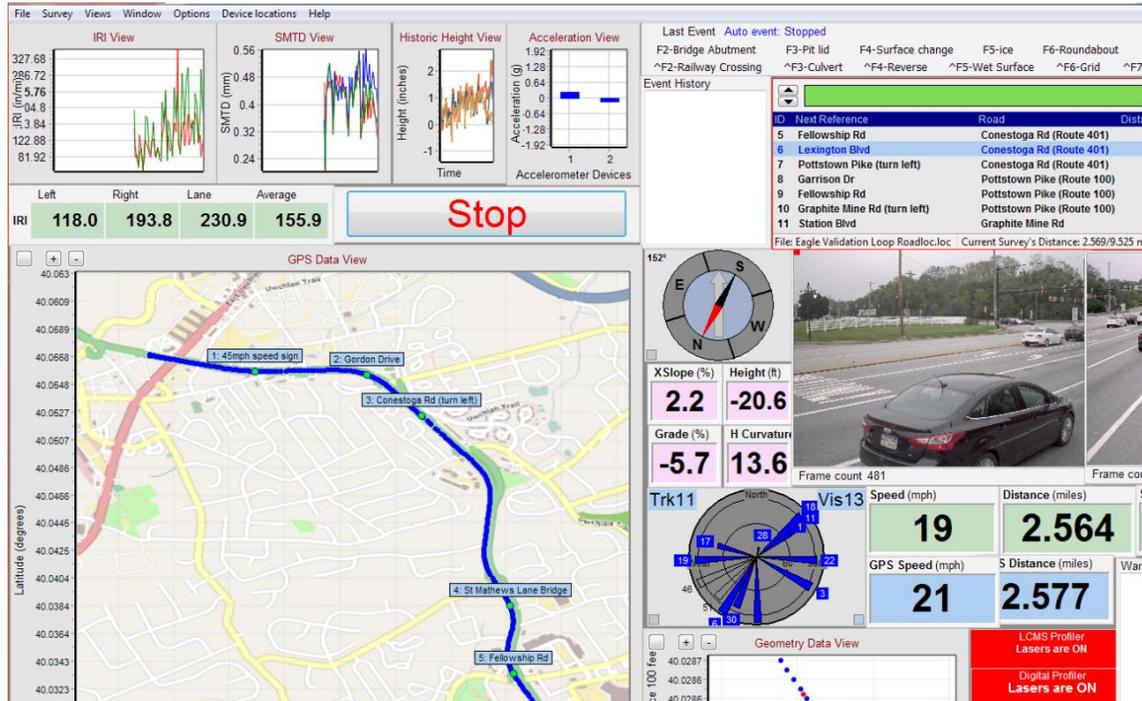
Fuente: Elaboración propia

La tabla 13, muestra el espaciamiento de los geófonos al momento de realizar el ensayo deflectométrico, de acuerdo al ministerio de transporte y comunicaciones (MTC) de Perú en su resolución directoral N° 09-2014-MTC/14, es importante

destacar que el último geófono se posiciona en el lado opuesto en comparación con los demás. Esta práctica se lleva a cabo cuando se realiza un análisis en pavimentos rígidos con el propósito de examinar y evaluar las juntas en estos pavimentos.

Sistema de almacenamiento y procesamiento de datos: Los datos de carga y deflexión se deben registrar y guardar en un computador personal. Información de apoyo como, por ejemplo, la temperatura del aire, la temperatura de la superficie del pavimento, la distancia entre medidas y la identificación o referencia de cada punto de medida, se registran en el software Primax Versión 4.3 Build 2.

Figura 30: Sistema de almacenamiento y procesamiento de datos.



Fuente: Manual de Uso Hawkeye 1000 (2005)

Celda de carga: Para medir la carga aplicada en cada impacto. Se debe ubicar de manera que se minimice la masa entre la celda de carga y el pavimento. La celda de carga se debe colocar de manera que no interfiera la lectura de las mediciones de deflexión bajo el centro de la placa de carga. La celda debe ser resistente al agua y a las sacudidas provocadas por los impactos durante el ensayo y/o el traslado del equipo.

La carga de calibración fue de 40 kN, para la evaluación, cada ensayo constó de 4 golpes al pavimento, dos de asentamiento, y dos de carga para evaluación de las deflexiones. Todo esto según orientaciones del departamento de Planificación del Fondo de Mantenimiento Vial.

Figura 31: Celda de Carga



Fuente: Elaboración propia.

2.3. Mantenimiento de Pavimento Rígido

Uno de los pasos más importante del proceso de selección del tratamiento correctivo, preventivo o de reparación es analizar en conjunto toda la información de la evaluación del pavimento para determinar las causas de todos los deterioros observados y deficiencias identificadas y así identificar las técnicas de mantenimiento adecuados. En la tabla 14 se encuentran las técnicas adecuadas por cada tipo de deterioro en pavimentos rígidos.

Tabla 14. Tipos de mantenimiento según deterioro

Deterioro	Causas posibles	Mantenimiento adecuado
Levantamiento / pandeo	Cuando la expansión del concreto no puede disipar suficiente presión, ocurre un movimiento hacia arriba de los bordes de la losa .	Reparación de losas en todo el espesor, en una franja del ancho de la losa que comprenda longitudinalmente toda la zona afectada. Reconstruir la junta de contracción (Sello de juntas y grietas), cuando corresponda.

Deterioro	Causas posibles	Mantenimiento adecuado
Fisura de esquina	Sobrecarga en las esquinas o deficiente transmisión de cargas entre juntas.	Para severidad baja: Sellado de juntas y grietas. Inyección de lechada. Para severidades altas: Reparación de losas en todo el espesor.
Losa dividida	Losa sobrecargada. Fatiga del concreto.	En severidad baja: Sellado de juntas. En severidades media y alta: Reparación de losas en todo el espesor.
Fisura de durabilidad	Se debe a la expansión que el ciclo congelamiento-deshielo produce en el agregado grueso, el cual, con el tiempo, fractura el concreto en forma gradual.	Reparación de losas en espesores parciales o en espesor total dependiendo de su profundidad. Este tipo de deterioro debido a su origen en el ciclo congelamiento deshielo, no es visto en nuestro país por ser tropical.
Escalonamiento	Diferencia entre el asentamiento o erosión. Asentamientos diferenciales de la subrasante.	Levantamiento localizado de losas o Reparación de losas en espesor total.
Daño en el sello de la junta	Pérdida de adherencia con los bordes de las losas (Falla cohesiva). Levantamiento del material de sello por efecto del tránsito y movimientos de las losas. Escasez o ausencia del material de sello. Material de sello inadecuado. Crecimiento de plantas en juntas.	Limpieza y Sellado de juntas y grietas.
Losa dividida	Losa sobrecargada. Fatiga del concreto.	En severidad baja: Sellado de juntas. En severidades media y alta: Reparación de losas en todo el espesor.
Fisura de durabilidad	Se debe a la expansión que el ciclo congelamiento-deshielo produce en el agregado grueso, el cual, con el tiempo, fractura el concreto en forma gradual.	Reparación de losas en espesores parciales o en espesor total dependiendo de su profundidad. Este tipo de deterioro debido a su origen en el ciclo congelamiento deshielo,

Deterioro	Causas posibles	Mantenimiento adecuado
		no es visto en nuestro país por ser tropical.
Escalonamiento	Diferencia entre el asentamiento o erosión. Asentamientos diferenciales de la subrasante.	Levantamiento localizado de losas o Reparación de losas en espesor total.
Daño en el sello de la junta	Pérdida de adherencia con los bordes de las losas (Falla cohesiva). Levantamiento del material de sello por efecto del tránsito y movimientos de las losas. Escasez o ausencia del material de sello. Material de sello inadecuado. Crecimiento de plantas en juntas.	Limpieza y Sellado de juntas y grietas.
Desnivel carril-berma	Diferencia entre el asentamiento o erosión. Asentamientos diferenciales de la subrasante.	Levantamiento localizado de losas o Reparación de losas en espesor total.
Fisuras lineales	Asentamiento de la base y/o la subrasante. Repetición de cargas pesadas (fatiga del concreto). Gradientes de tensiones originados por cambios de temperatura y humedad.	Sellado de juntas y grietas o reparación de losas en todo el espesor, dependerá de la severidad.
Parches grandes	El pavimento original ha sido removido y reemplazado por otro material de relleno.	Reparación de losas en espesores parciales o en todo el espesor de acuerdo con la condición identificada.
Parches pequeños	Retracción de fraguado del concreto del bache que lo despega del concreto antiguo.	Reparación de losas en espesores parciales o en todo el espesor de acuerdo con la condición identificada.
Agregado pulido	Aplicaciones repetidas de cargas del tránsito, particularmente cuando el concreto es de calidad pobre y favorece la exposición de los mismos.	Reparación de losas en espesores parciales.
Popouts	Debido a la acción sucesiva del congelamiento y	Reparación de losas en espesores parciales.

Deterioro	Causas posibles	Mantenimiento adecuado
	deshielo combinados con la presencia de agregados expansivos.	
Bombeo	Esto se origina por la deflexión de la losa debida a las cargas, cuando una carga pasa sobre las juntas, el agua es primero forzada bajo la losa delantera y luego hacia atrás bajo la losa trasera.	Evaluar previamente el sistema de drenaje superficial o subdrenajes, para lo cual, y si corresponde, se deberán tomar las medidas correctivas necesarias para evitar afectaciones en la estructura del pavimento. Localizar el origen del agua infiltrada; si es por las mismas juntas y grietas, se resellan mediante la actividad de Sello de juntas y grietas.
Punzonamiento	Espesor de losa inadecuado. Pérdida de apoyo en la fundación. Problemas constructivos.	Reparación de losas en todo el espesor, en una franja del ancho de la losa que comprenda longitudinalmente toda la zona afectada. Reconstruir la junta de contracción (Sello de juntas y grietas), cuando corresponda).
Cruce de vía férrea	Inadecuado mantenimiento.	Corrección de los bordes mediante reparación de losas en espesores parciales.
Descascaramiento	Concreto sobre acabado. Construcción inadecuada. Agregados pobres.	En severidades bajas evaluar el área afectada para definir la intervención a realizar. En severidades altas reparación de losas en espesores parciales.
Fisuras por contracción	Se forman durante el curado del concreto. Dado que el agua que se encuentra en la superficie se evapora a un ritmo diferente del concreto subyacente, se genera una tasa diferencial de contracción que produce tensiones que se alivian por la formación de estas grietas.	Evaluar el área afectada para definir la intervención a realizar.
Descascaramiento de esquina	Excesivas tensiones en las juntas ocasionadas por las cargas del tránsito y/o por	Para severidad baja: Sellado de juntas y grietas.

Deterioro	Causas posibles	Mantenimiento adecuado
	infiltración de materiales incompresibles. Debilidad del concreto en la proximidad de la junta .	En severidades medio y alto: Reparación de losas en espesores parciales o en espesor total dependiendo de su profundidad.
Descascaramiento de junta	Excesivas tensiones en las juntas ocasionadas por las cargas del tránsito y/o por infiltración de materiales incompresibles. Debilidad del concreto en la proximidad de la junta .	Para severidad baja: Sellado de juntas y grietas. En severidades medio y alto: Reparación de losas en espesores parciales o en espesor total dependiendo de su profundidad.

Fuente: (Comité de Pavimentos ICCG , 2014)



CAPITULO III
ANALISIS E
INTERPRETACION DE
RESULTADOS

Capítulo 3 . Análisis e Interpretación de Resultados

3.1. Cálculo del Índice de Condición del Pavimento (PCI)

El procedimiento para la evaluación del pavimento utilizando la metodología PCI, se resume en 3 etapas:

1. Definición de Unidades de Muestreo: Selección de las unidades de muestra (red o proyecto).
2. Análisis en Campo: Inventario de deterioros, nivel de severidad, y medida o extensión del daño.
3. Determinación del PCI: Es el cálculo de gabinete para cada unidad de muestra, puede ser manual o computarizado y se basa en los valores deducidos (VD) de cada daño, de acuerdo con la cantidad y severidad reportada en el análisis de campo.

3.1.1 Definición de Unidades de Muestra (UM)

El tipo de evaluación para este caso en particular es a nivel de proyecto, siendo el tramo de 33 kilómetros, tipo de pavimento rígido, de concreto hidráulico. Las características de la sección de carretera son: Tramo de construcción uniforme en toda el área, superficie de rodadura uniforme a como se aprecia en la figura 32, y losas cortas todas con dimensiones de 1.8 m x 1.8 m.

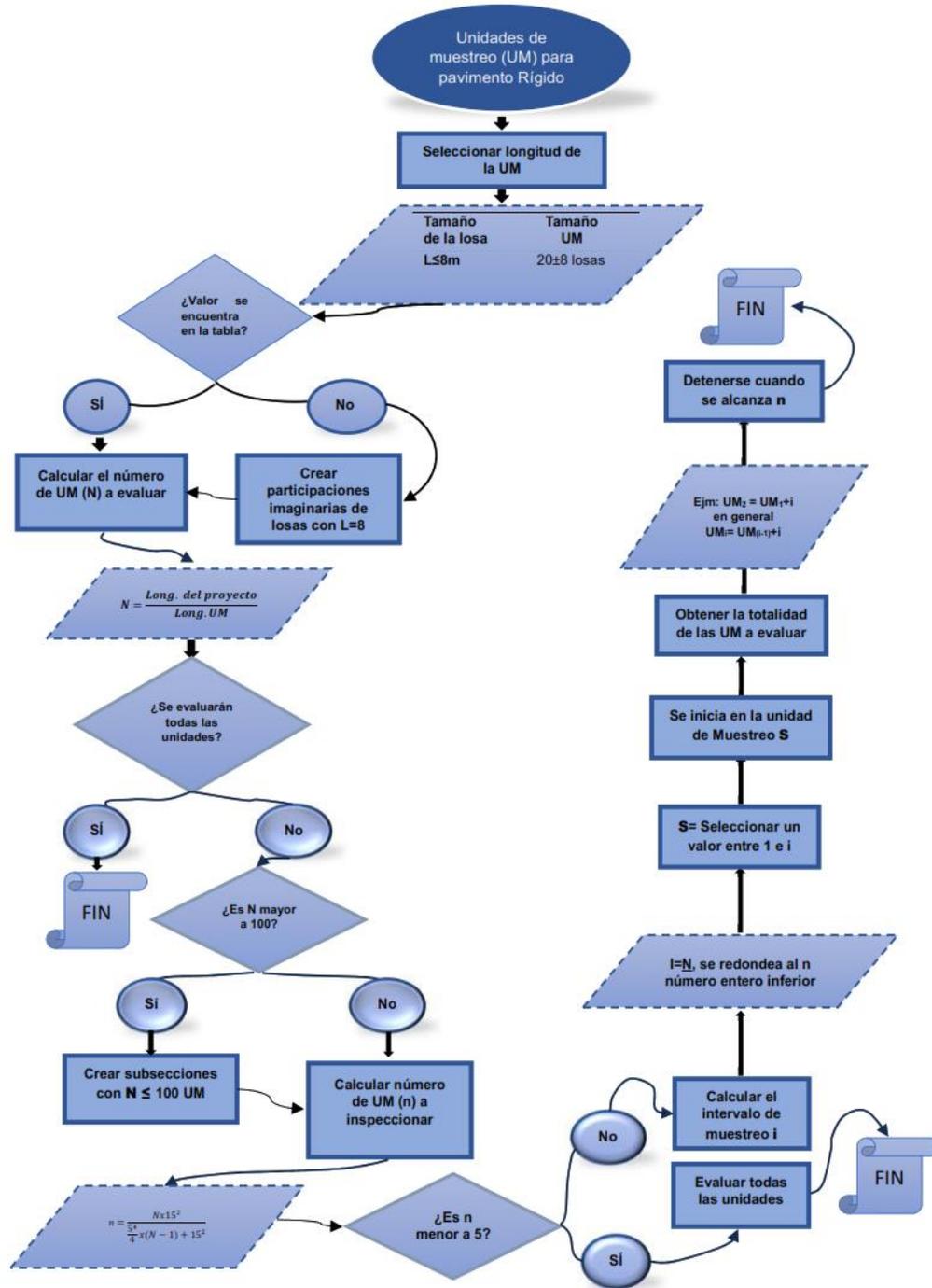
Figura 32: Carretera Malacatoya - El Papayal (Est. 62+000)



Fuente: Elaboración propia

Todo el procedimiento que se presenta detallado en las próximas páginas del documento, se encuentra resumido en el siguiente esquema:

Figura 33: Esquema de Definición de Unidades de Muestra



Fuente: (Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (Lanamme UCR), 2021)

Teniendo entonces una longitud de unidad de muestra de 32.5 metros, equivalente a 0.0325 kilómetros.

El inicio del tramo está ubicado en la estación 58+160, así como el fin está en la estación 91+280, por lo tanto, la longitud total del tramo es de 33.120 kilómetros, conociendo estos datos, se procedió a calcular el número total de unidades de muestreo con la siguiente ecuación tomada del manual PCI (ASTM D6433):

Ecuación 1: Número total de unidades de muestreo (N)

$$N = \frac{\text{Long. Proyecto}}{\text{Long. UM}}$$

$$N = \frac{33.12 \text{ km}}{0.0325 \text{ km}} = \mathbf{1019 \text{ unidades de muestreo.}}$$

Esto significa que se tiene la longitud total del tramo, 33.12 kilómetros en 1019 partes iguales, de 32.5 metros de largo. Como el número total de unidades de muestras es mayor a 100, no se deben evaluar todas las UM (Unidades de Muestra), para determinar las unidades mínimas de muestreo suficientes para la evaluación se hizo uso de la siguiente fórmula (Manual PCI, ASTM D6433 p.18):

Ecuación 2: Unidades mínimas de muestreo (n)

$$n = \frac{N * \sigma^2}{\frac{e^2}{4} * (N - 1) + \sigma^2}$$

Donde:

e= Error admisible en el estimativo PCI de la sección (e=5%)

σ = Desviación estándar del PCI entre las unidades (pavimento de concreto $\sigma = 15$)

Por lo tanto:

$$n = \frac{1019 * 15^2}{\frac{5^2}{4} * (1019 - 1) + 15^2} = 34.805 = \mathbf{35 \text{ unidades de muestras.}}$$

Por tanto, según la metodología, basta con evaluar 35 unidades de muestra (UM) para tener una visión global del Índice de Condición del Pavimento (PCI).

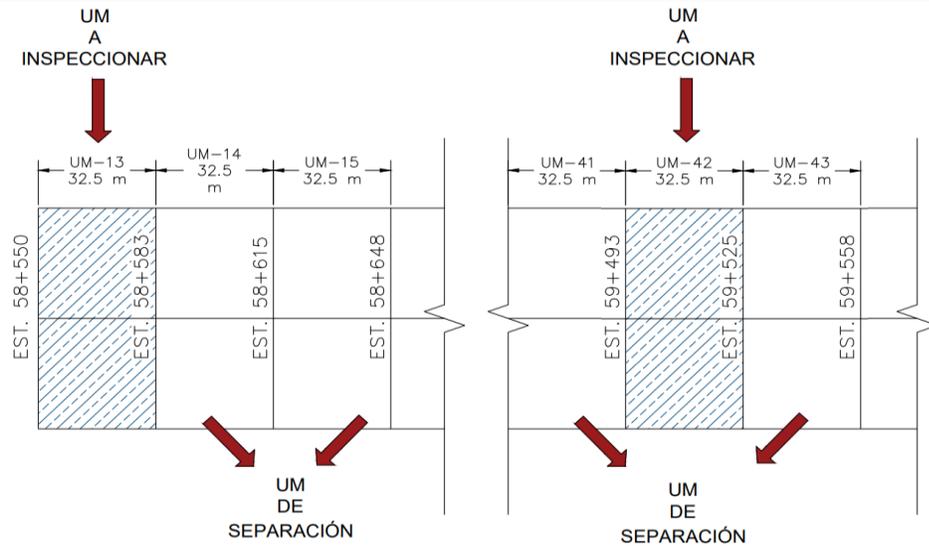
Para seleccionar las unidades ya teniendo el total y el mínimo de UM, según el Manual PCI ASTM D6433, se calculó el intervalo de muestreo que indica la separación que debe existir entre las unidades que se van a inspeccionar y las que no. Su valor se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación:

Ecuación 3: Intervalo de muestreo (i)

$$i = \frac{N}{n} = \frac{1019}{35} = 29.11 \approx 29$$

Como el valor del intervalo de muestreo es 29, significa que cada 29 UM se tomará una UM para inspeccionar, obteniendo la siguiente secuencia:

Figura 36: Esquema de Línea de Unidades de Muestra



Fuente: Elaboración propia

Por objeto de abreviación, la numeración de unidades de unidades de muestra se nombró con las siglas “UM” acompañada de guión y número que le pertenece a cada una, por tanto en el esquema se aprecia el inicio de unidades de muestra a inspeccionar en la UM-13, siguiendo la recomendación de la norma ASTM D6433 de “elegir la primera unidad de muestreo al azar, estando entre el rango $1 < i$, para esta evaluación fue el número 13, que se encuentra entre 1 y 29 (i), también se observa que después de la UM-13 la siguiente UM a inspeccionar es la UM-42, ya que la separación entre ellas es de 29 UM, y así sucesivamente, hasta llegar a

inspeccionar 35 unidades de muestra. La información detallada de cada unidad de muestra a inspeccionar se muestra en la tabla 12.

Tabla 15: Distribución kilométrica de unidades de muestra a inspeccionar

N°	UM	Punto inicial km	Punto final km	N°	UM	Punto inicial km	Punto final km	N°	UM	Punto inicial km	Punto final km
1	13	58+550	58+583	13	361	69+860	69+893	25	709	81+170	81+203
2	42	59+493	59+525	14	390	70+803	70+835	26	738	82+113	82+145
3	71	60+435	60+468	15	419	71+745	71+778	27	767	83+055	83+088
4	100	61+378	61+410	16	448	72+688	72+720	28	796	83+998	84+030
5	129	62+320	62+353	17	477	73+630	73+663	29	825	84+940	84+973
6	158	63+263	63+295	18	506	74+573	74+605	30	854	85+883	85+915
7	187	64+205	64+238	19	535	75+515	75+548	31	883	86+825	86+858
8	216	65+148	65+180	20	564	76+458	76+490	32	912	87+768	87+800
9	245	66+090	66+123	21	593	77+400	77+433	33	941	88+710	88+743
10	274	67+033	67+065	22	622	78+343	78+375	34	970	89+653	89+685
11	303	67+975	68+008	23	651	79+285	79+318	35	999	90+595	90+628
12	332	68+918	68+950	24	680	80+228	80+260	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

3.1.2. Análisis en Campo

El procedimiento de auscultación varía de acuerdo con el tipo de superficie del pavimento, por tanto, se realizó el inventario de deterioros según el catálogo de daños para pavimentos rígidos especificado en el capítulo 1 página 19, anotando las severidades de los daños por cada unidad de muestra, el detalle de este inventario se encuentra en la tabla 15 página 59.

El equipo de Auscultación Vial que se utilizó fue:

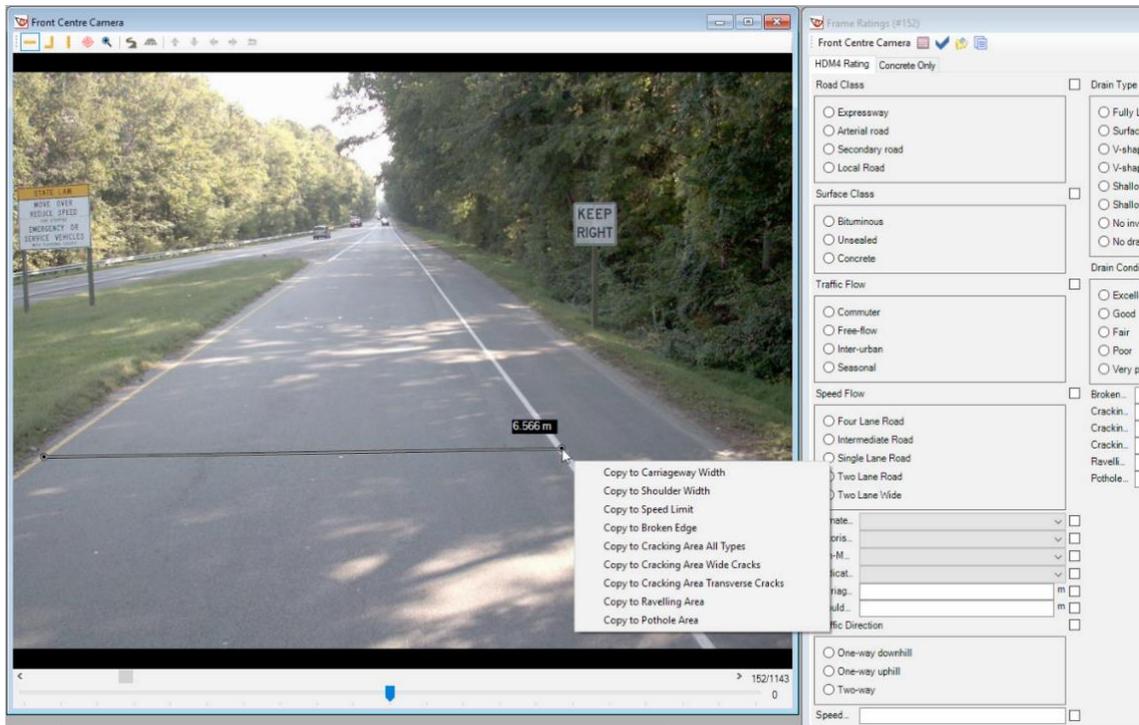
1. Equipo Hawkeye 1000, perfilómetro láser equipado con 3 cámaras integradas, que toman fotogramas cada 5 metros.
2. Cinta Métrica
3. Libreta de campo

Por medio de las cámaras integradas se logró la inspección de la totalidad del tramo, el Fondo de Mantenimiento Vial realiza la inspección de toda la red vial con

este sistema, por medio del programa “Hawkeye Processing Toolkit” y con calibraciones periódicas, es posible tomar las medidas con un % de error del 1%.

Dada tal exactitud, se usó este programa, midiendo y clasificando los deterioros fotograma por fotograma.

Figura 37. Programa Hawkeye Processing Toolkit



Fuente: Manual de Usuario Programa Hawkeye Processing Toolkit (2023)

Una vez medidos los deterioros y guardados en la base de datos del programa, se exportaron a un archivo “.txt”. Y se convirtió a una tabla en Excel, el cual se puede ver en la página I de Anexos. Cabe destacar que el uso de este programa, como la información exportada y presentada en este documento fue facilitada por el FOMAV, el único ente regulador de Mantenimiento Vial con este equipo en Nicaragua.

Siguiendo con la metodología, se realizó una inspección visual a las UM seleccionadas, para obtener una mayor certeza de la condición actual del pavimento, así como verificar la presencia de UM adicionales. En esta inspección se encontró una UM adicional, en la estación 73+560 que corresponde a la UM 441 entre las estaciones 73+560 y 73+595.

Esta UM adicional se decidió tomar en cuenta puesto que se encuentra en muy mal estado con deterioros de Losas Divididas severidad alta a como se observa en la figura 38 y se presenta en la tabla 15; cabe mencionar que no es representativo para todo el tramo, pero se consideró importante obtener el resultado particular del PCI en esta UM.

Figura 38. Unidad de Muestra Adicional (UM-441) Estación 73+560



Fuente: Elaboración Propia

Se presentan los datos de campo y memoria fotográfica obtenidos durante la medición de fallas en las UM seleccionadas a inspeccionar. Las UM-13, 42, 71, 100 y todas las que no aparecen en la tabla 16, se inspeccionaron, pero no se encontró deterioro, por tanto, únicamente las UM-359, 446, 475, 591, 707, 794, 852, 881, 939 y 441 presentan daños, que a continuación se detallan:

Tabla 16: Levantamiento de inventario de deterioros en unidades de muestra inspeccionadas

UM	Punto inicial km	Punto final km	Punto Kilométrico	Daño	Losas afectadas	Severidad
359	69+795	69+8275	69+8	Fracturas de Esquina	1	Media
			69+825	Fracturas de Junta	2	Alta
446	72+623	72+655	72+645	Grietas (Long., Transv. o Diagonal)	40	Alta
475	73+565	73+598	73+585	Losa Dividida	39	Alta
591	77+335	77+3675	77+335	Grietas Lineal (Long., Transv. o Diagonal)	2	Media
			77+345	Grietas Lineal (Long., Transv. o Diagonal)	3	Alta
			77+35	Fracturas de Junta	10	Alta
			77+365	Losa Dividida	1	Alta
707	81+105	81+138	81+115	Fracturas de Junta	25	Alta
794	83+933	83+965	83+94	Grietas Esquina	2	Alta
852	85+818	85+850	85+84	Grietas Lineal (Long., Transv. o Diagonal)	10	Media
881	86+760	86+793	86+79	Fracturas de Junta	2	Media
939	88+645	88+678	88+645	Fracturas de Junta	4	Alta
441	73+56	73+595	73+585	Divided Slab	46	Alta

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que el daño más recurrente en el tramo es fractura de juntas, afectando a 43 losas en las unidades de muestra inspeccionadas. En la figura 39 se ilustra este deterioro en la estación 77+350 con severidad alta.

Figura 39. Fracturas de Juntas en Estación 77+350



Fuente: Fotograma Hawkeye Processing Toolkit, facilitado por FOMAV (2023).

Además de fracturas de juntas, se presentaron daños por grietas longitudinales, afectando a 55 losas en las UM que se inspeccionaron, se encontraron de diferentes severidades a como se ilustran en las figuras 40 y 41.

Figura 40. Deterioro Grietas Longitudinales Severidad Media - Est. 77+335



Fuente: Elaboración propia

Figura 41. Fisuras Lineales Severidad Alta en Estación 72+645



Fuente: Elaboración Propia.

Para determinar la severidad se midió el grosor de las grietas a como se observa en la figura 42.

Figura 42. Medición de Grieta Longitudinal Est. 72+645



Fuente: Elaboración Propia

Se puede apreciar que la grieta tiene un ancho promedio mayor a 5 cm, por tanto, la severidad es alta. Otro deterioro presente en el tramo, cuya severidad promedio es Alta, es Losa Dividida, ubicados en las estaciones 73+585 y 77+365.

Figura 43. Deterioro de Losa Dividida en Est. 73+585



ID:	836728917683086 - NIC-39A Emp Victoria de Julio-Malacatoya-El Papaya	Fecha:	30/08/2023 07:36:40
Nº fotogr.:	7388	Sección:	2
Chainage:	73.585km	SubChainage:	9.178km
Cámara:	Centro	GPS (vehículo):	12.17264829, -85.77552029, 48.1
Road Name:	NIC-39A	From:	ROT. MALACATOYA
To:	FIN DEL TRAMO EL PAPAAYAL		



Fuente: Fotograma de Hawkeye Processing Toolkit (FOMAV, 2023)

Figura 44. Losas Divididas Est. 77+365



Fuente: Elaboración Propia.

Los deterioros observados en las figuras 43 y 44, son del tipo Losa Dividida, pues se aprecia que las losas cortas están divididas en más de 2 piezas, este tipo de deterioro es de mayor cuidado y análisis, puesto que es indicador de fallas estructurales en el pavimento, puede ser debido a baja transferencia de carga o bien por erosión y pérdida de compactación en las capas inferiores a la capa de rodamiento. En el tramo completo se observaron losas divididas de menor severidad, por eso no fueron incluidas en Unidades de Muestra adicionales.

3.1.3. Determinación del PCI

Como primer paso en la aplicación de la metodología, se calculó la densidad de cada deterioro, que resulta de la división del área que ocupa cada deterioro entre el área total de la unidad de muestra.

Para la primera unidad de muestra inspeccionada con deterioros, UM-359 se encuentran 2 losas con deterioro fractura de junta severidad alta y 1 con fractura de esquina severidad media, el área en metros que ocupan las losas afectadas respectivamente son:

Área de la fractura de esquina severidad media = 1 losa x 3.24 m² = 3.24 m²

Área de fractura de junta severidad alta = 2 losas x 3.24 m² = 6.48 m²

Por lo que las densidades son:

$$densidad = \frac{\text{Área del deterioro}}{\text{Área total de la UM}} = \frac{3.24 \text{ m}^2}{234 \text{ m}^2} * 100\% = 1.38\%$$

$$\text{densidad} = \frac{\text{Área del deterioro}}{\text{Área total de la UM}} = \frac{6.48 \text{ m}^2}{234 \text{ m}^2} * 100\% = 2.77\%$$

Esto indica que 1.38% de la unidad de muestra 359 tiene fractura de esquina severidad media, y 2.77% presenta fractura de esquina severidad media. A su vez entonces, 4.15% del área total de la UM-359 presenta deterioros considerables. El mismo procedimiento aplicado al resto de unidades de muestra, dió como resultado la siguiente tabla donde se muestran las densidades correspondientes.

Tabla 17: Tabla de cálculo de densidades de deterioro

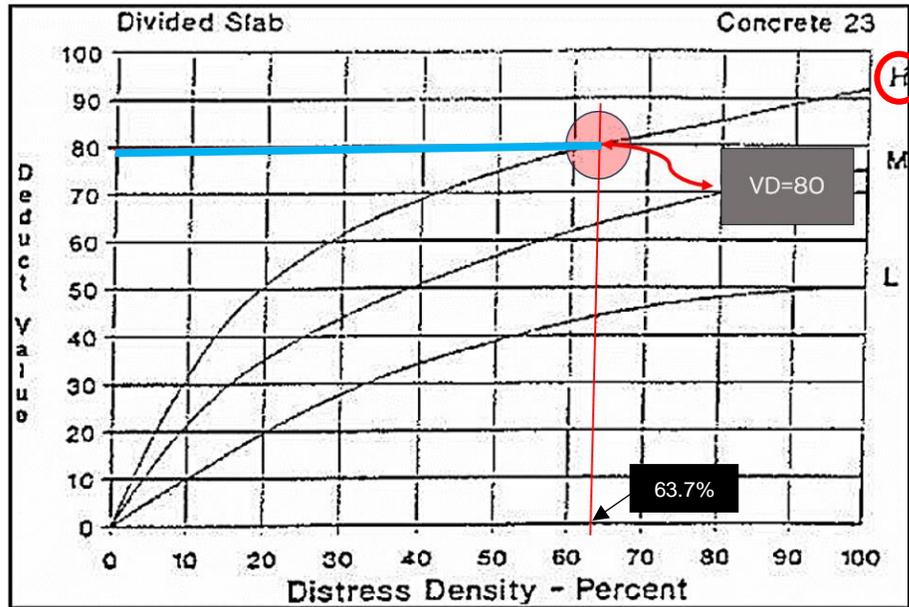
UM	Estación inicial	Estación final	Daño	Losas afectadas	Severidad	Área (m2)	Densidad
359	69+795	69+828	Fracturas de Esquina	1	Media	3.24	1.38%
			Fracturas de Junta	2	Alta	6.48	2.77%
446	72+623	72+655	Grietas Long., Transv. o Diagonal	40	Alta	129.6	55.38%
475	73+565	73+598	Losa Dividida	39	Alta	126.36	54.00%
591	77+335	77+368	Grietas Long., Transv. o Diagonal	2	Media	6.48	2.77%
			Grietas Long., Transv. o Diagonal	3	Alta	9.72	4.15%
			Fracturas de Junta	10	Alta	32.4	13.85%
			Losa Dividida	1	Alta	3.24	1.38%
707	81+105	81+138	Fracturas de Junta	25	Alta	81	34.62%
794	83+933	83+965	Grietas Esquina	2	Alta	6.48	2.77%
852	85+818	85+850	Grietas Long., Transv. o Diagonal	10	Media	32.4	13.85%
881	86+760	86+793	Fracturas de Junta	2	Media	6.48	2.77%
939	88+645	88+678	Fracturas de Junta	4	Alta	12.96	5.54%
441	73+56	73+595	Divided Slab	46	Alta	149.04	63.7%

Fuente: Elaboración propia.

Con la densidad y el criterio de severidad definido, se aproximaron los valores deducidos, con las curvas de valores deducidos para pavimento de concreto hidráulico de la norma ASTM D6433 página 751.

Usando como ejemplo la unidad de muestra adicional, con daño “Losa dividida”, severidad alta se ilustra la técnica correcta para la determinación del valor deducido en la figura 45.

Figura 45. Procedimiento de determinación de valor deducido.



Fuente: Elaboración propia.

La plantilla de valor deducido es de la norma ASTM D6433, la línea roja se traza perpendicularmente con origen en el valor de la densidad de cada UM (para la UM-441 es 63.7%, esta densidad fue obtenida con el mismo procedimiento ejemplificado con la UM-359 en las páginas 61 y 62), hasta intersectar la curva de severidad correspondiente, para esta UM es la curva H (Alta), por tanto, el valor deducido para esta UM es 80.

Este valor deducido “80” es el valor de ponderación que castiga la calificación final de 0 a 100 del PCI. Es decir que esta UM obtendrá un valor de PCI de 20 ($100 - 80 = 20$).

Aplicando la misma técnica a todos los datos se obtiene:

Tabla 18: Presentación de valores deducidos.

UM	Estación inicial	Punto final km	Daño	Severidad	Densidad	Valor deducido
359	69+795	69+8275	Fracturas de Esquina	Media	1.38%	2.00
			Fracturas de Junta	Alta	2.77%	5.00
446	72+623	72+655	Grietas (Long., Transv. o Diagonal)	Alta	55.38%	49.50
475	73+565	73+598	Losa Dividida	Alta	54.00%	79.00
591	77+335	77+3675	Grietas Lineal (Long., Transv. o Diagonal)	Media	2.77%	2.50
			Grietas Lineal (Long., Transv. o Diagonal)	Alta	4.15%	9.00
			Fracturas de Junta	Alta	13.85%	20.00
			Losa Dividida	Alta	1.38%	8.00
707	81+105	81+138	Fracturas de Junta	Alta	34.62%	35.00
794	83+933	83+965	Grietas Esquina	Alta	2.77%	2.50
852	85+818	85+850	Grietas Lineal (Long., Transv. o Diagonal)	Media	13.85%	10.00
881	86+760	86+793	Fracturas de Junta	Media	2.77%	1.00
939	88+645	88+678	Fracturas de Junta	Alta	5.54%	2.00
441	73+56	73+595	Losa Dividida	Alta	63.7%	80.00

Fuente: Elaboración propia.

En casos donde en una misma unidad de muestra tiene dos o más deterioros, se calcula el número de deducciones admisibles (m), ordenando los valores deducidos obtenidos del primer paso en orden descendiente (de mayor a menor), el mayor de estos valores se conoce como mayor valor deducido individual (MVD), y el m se calculó con la siguiente ecuación:

Ecuación 4: Número de deducciones admisibles (m)

$$m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) * (100 - MVD)$$

Fuente: Norma ASTM D6433 p.715

Las únicas UM que tienen más de un valor deducido, son la UM-359 y UM-591. Para la UM-359 los valores deducidos (VD) a comparar son 2 y 5, el MVD (mayor valor deducido es 5, y para la UM-591 cuyos VD a comparar son 2.50, 9, 20 y 8, el MVD es 20.

Por tanto, la Ecuación 4 se aplicaría de la siguiente manera:

$$m_{UM-359} = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) * (100 - 5) = \mathbf{9.72}$$

$$m_{UM-591} = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) * (100 - 20) = \mathbf{8.35}$$

Dando como resultado la siguiente tabla:

Tabla 19: Mayores valores deducidos en muestras con diferentes daños.

UM	Punto inicial km	Punto final km	Mayor Valor deducido MVD	m	VERIFICACIÓN
359	69.795	69.828	5.00	9.72	OK
591	77.335	77.368	20.00	8.35	OK

Fuente: Elaboración propia. *Ok hace referencia a que se pueden usar todos los valores deducidos de la muestra evaluada.

El número de deducciones admisible indica si todos los valores deducidos pueden tomarse para castigar el valor de PCI, como los resultados son mayores a la cantidad de valores deducidos en una misma muestra, entonces se tomarán todos los VD en ambos casos de UM (UM-359 y UM-591).

El siguiente paso en la metodología es el cálculo del MVDC (mayor valor deducido corregido), el cual se determinó solo para las unidades de muestras con más de dos tipos de deterioros y se realizó mediante el siguiente proceso iterativo:

a) Determinar el número de valores deducidos que sean mayores a 2. A este número se le llama q.

b) Determinar el Valor Deducido Total (VDT) sumando todos los valores deducidos individuales.

c) Determinar el Valor Deducido Corregido (VDC) con q y el Valor Deducido Total (VDT) en la curva de corrección (ver página II de la sección Anexos).

d) Cambiar a 2 el menor de los valores deducidos individuales que sea mayor que 2 y se repiten las etapas a), b) y c) hasta que q sea igual a 1.

Las iteraciones se observan en la tabla 17, los datos sombreados en verde representan los datos corregidos, puesto que $q=1$, además VDT es la suma de los valores deducidos por cada unidad de muestra, los cuales están ordenados de mayor a menor.

Cabe mencionar que las unidades 359 y 591 son las únicas UM que presentaban daños de diferentes severidades y denominación.

Tabla 20: Iteraciones para el cálculo del VDTC.

UM	Valor deducido ordenado de mayor a menor	q	VDT	VDC (1)	q (2)	VDT (2)	VDC (2)	q (3)	VDT (3)	VDC (3)	q (4)	VDT (4)	VDC (4)
		Iteración 1			Iteración 2			Iteración 3			Iteración 4		
359	5.00	2	7	7	1	7	8						
	2.00												
591	20.00	4	39.5	21	3	39.00	24	2	33.00	25	1	26.00	26
	9.00												
	8.00												
	2.50												

Fuente: Elaboración propia.

El VDTC para la UM-359 fue corregido con la iteración 2, dando un valor de 8 y en la iteración 4, fue corregido el VDT de la UM-591, resultando un VDTC=26. Este valor será el deducido al PCI ideal de 100, es decir, que es el valor final que indica el puntaje a restar para encontrar el índice de condición del pavimento.

El valor del PCI por unidad de muestra se obtiene restando de 100 el mayor MVDC obtenido. En el caso de las unidades de muestra con solo un valor deducido mayor

a 2 se considera el MVDC como el mismo valor deducido para esa unidad de muestra.

Por lo tanto, los resultados del índice de condición de pavimento por unidad de muestra se pueden observar en la tabla 20, así como el PCI cualitativo, que se encuentra entre bueno y serio, dependiendo de la calificación cuantitativa del PCI y la figura 3 del capítulo I, página 20 donde se observan los rangos del PCI cualitativo por rango del PCI cuantitativo.

Tabla 21: PCI por unidad de muestra evaluada.

UM	Punto inicial km	Punto final km	PCI	PCI CUALITATIVO
359	69.795	69.828	92.00	BUENO
446	72.623	72.655	50.50	POBRE
475	73.565	73.598	21.00	SERIO
591	77.335	77.368	74.00	SATISFACTORIO
707	81.105	81.138	65.00	MALO
794	83.933	83.965	97.50	BUENO
852	85.818	85.850	90.00	BUENO
881	86.760	86.793	99.00	BUENO
939	88.645	88.678	98.00	BUENO
441	73.56	73.595	20.00	SERIO

Fuente: Elaboración propia.

Y por último el valor del PCI por sección de pavimento para la sección “Malacatoya – El Papayal”, está dado por:

Ecuación 5: PCI por sección de pavimento.

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

Fuente: Norma ASTM D6433 p.718

PCIs: PCI total de la sección del pavimento evaluado

PCli: PCI de la unidad de muestreo.

Ai: Área de la unidad de muestreo

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

Por lo tanto:

$$PCI_s = \frac{(92 + 50.50 + 21 + 74 + 65 + 97.5 + 90 + 99 + 98) * 234}{234 * 9}$$

$$PCI_s = 76.33333$$

La calificación cualitativa para el tramo (sección) es **“SATISFACTORIO”**.

3.1.4. Procedimiento del estudio perfilométrico

El departamento de planificación vial del FOMAV realiza este estudio con el perfilómetro Hawkeye 1000 equipado con 3 cámaras de alta definición, que es capaz de recopilar la información del perfil longitudinal (rugosidad y macrotextura) además de tener con precisión las coordenadas y distancia del tramo en estudio.

Usado en conjunto con las herramientas de procesamiento de la central de datos Hawkeye, el operador dispone de una amplia gama de informes del estado y situación de la red. Esta información puede ser exportada para otras aplicaciones tales como HDM-4.

Figura 46: Personal del departamento de Planificación Vial (FOMAV) junto al equipo Perfilómetro Láser Hawkeye 1000.



Fuente: Elaboración propia

Dando inicio al tramo en la estación 58+160 se definió en el programa Hawkeye Toolkit el punto de inicio para comenzar el cadenaje (chainage) de la distancia

total recorrida, ingresando los datos del tramo en estudio, parámetros de estudio como velocidad mínima de 25 km/h. Luego de haber guardado la información preliminar, el software está listo para iniciar a grabar la textura, y rugosidad del pavimento.

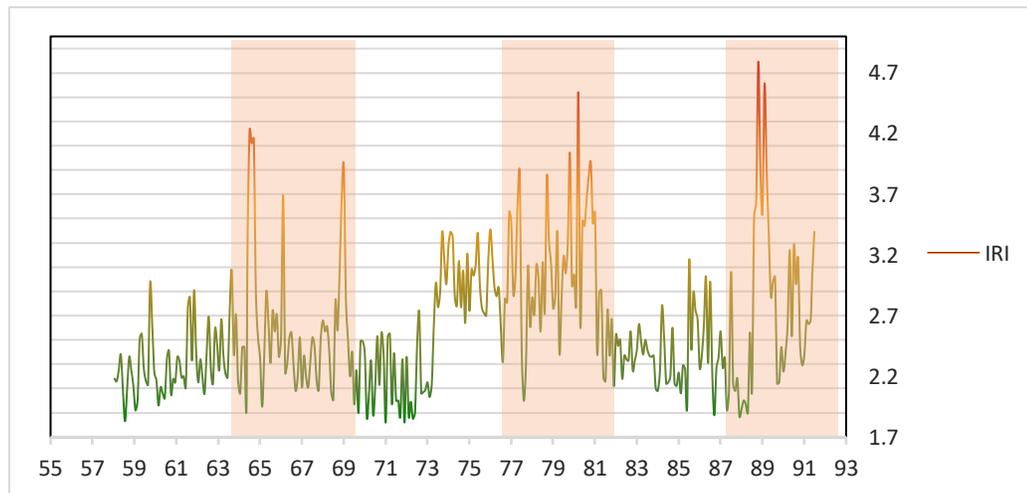
El vehículo inicia su recorrido, y recorre todo el tramo, sin detenerse, a una velocidad de 80 km/hr en promedio, el técnico encargado del perfilómetro, se asegura de depurar los registros que por fuerza mayor (evitar accidentes), se tomaron a baja velocidad.

Una vez terminado el recorrido en la estación 91+483, se procedió a cortar el registro en el Software, y exportar a una memoria USB para posteriormente extraer los resultados de IRI obtenidos.

3.1.5. Interpretación de los niveles de IRI obtenidos

Los IRI obtenidos en todo el recorrido al tramo, se pueden leer en el Anexo IV, página XV. A propósito de interpretar dichos valores, se graficó de la siguiente manera:

Figura 47. IRI por kilómetro



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 47 en el eje de las abscisas se posicionan de menor a mayor los puntos kilométricos del tramo, y en el eje de las ordenadas están los niveles de

IRI que varían entre 1.75 y 5, los niveles entre se observan zonas con IRI altos entre 4.79 y 3.69 lo que indica tramos en condición regular y mala, ubicados en las siguientes estaciones:

- 63+155 - 69+407
- 76+307 - 81+707
- 87+507 - 91+483

Esta identificación de tramos permite ubicar las zonas donde necesita mayor atención de mantenimiento, y así priorizar los activos disponibles.

3.1.6. Procedimiento del estudio deflectométrico

✚ Ensayo al centro de la losa

Las pruebas en el centro del panel se realizaron con la placa de carga situada lo más cerca posible del centro de la losa efectiva.

Los ensayos fueron realizados cada 300 metros por sugerencia directa del departamento de Planificación del Fondo de Mantenimiento Vial, por lo que se hicieron 110 estaciones para realización de ensayo.

Figura 48: Ubicación de la placa de carga en ensayo al centro de la losa.



Fuente: Elaboración propia.

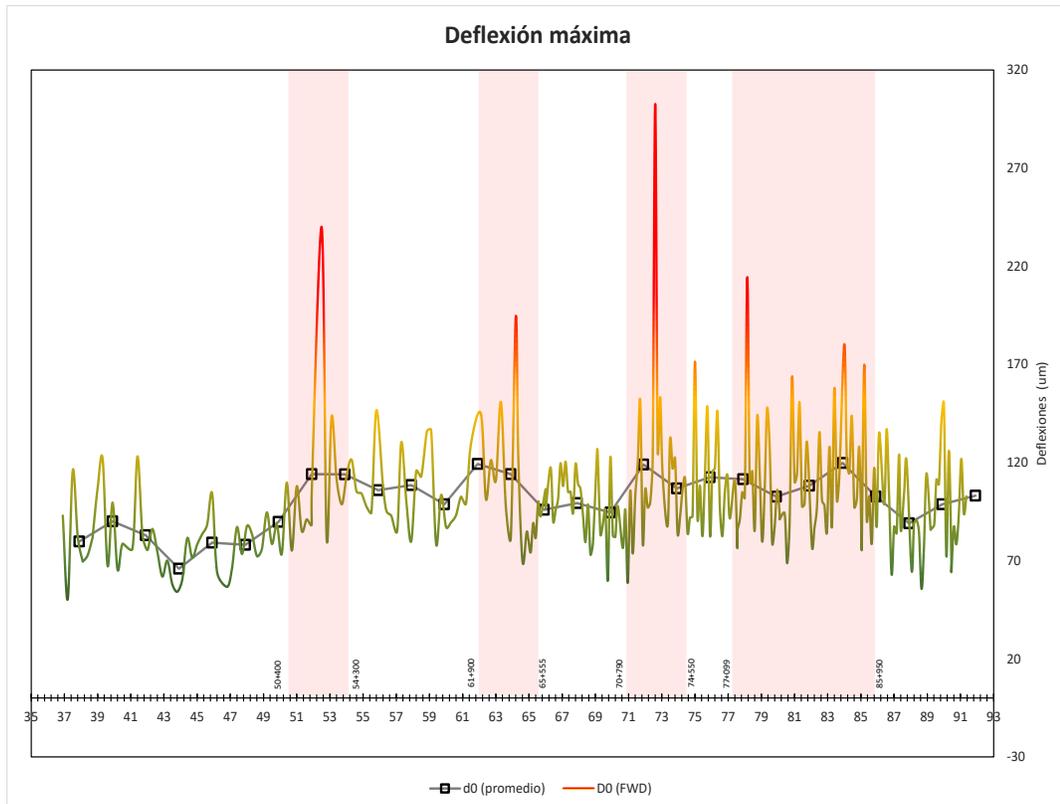
Tabla 22: Clasificación de la condición estructural según D0 (Deflexiones al centro de la losa).

Clasificación de condición estructural	D0 (μm)
Muy Bueno	<100
Bueno	100 – 150
Regular	150 – 200
Malo	>200

Fuente: División de planificación Fondo de Mantenimiento Vial (FOMAV) Informe 2019.

Estos datos fueron clasificados de acuerdo a la tabla de clasificación de la condición estructural según D0 facilitada por el FOMAV, los resultados obtenidos están representados por la siguiente gráfica:

Figura 49. Deflexiones máximas



Fuente: Elaboración propia.

Se pueden observar 4 zonas con deflexiones mayores a 200 μm , clasificando como condición estructural mala según la tabla 12 página 45 del capítulo, donde se muestra la clasificación del estado estructural del pavimento según las deflexiones máximas obtenidas del ensayo al centro de la losa con deflectómetro de Impacto. Las zonas mencionadas se encuentran en las siguientes estaciones:

1. Estación km 50+400 al km 54+300
2. Estación km 61+900 al km 65+555
3. Estación 70+790 al km 74+550
4. Estación 77+099 al km 85+950

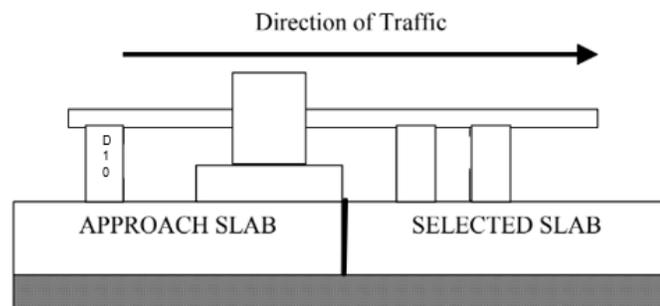
Esto es un indicador de que únicamente en estas zonas puntuales la capacidad de soporte de las losas es mala, baja o inexistente, y que la subrasante está absorbiendo una gran cantidad de cargas, por lo que si actualmente no hay deterioros se presentarán a futuro hundimientos locales, losas divididas y grietas.

Ensayo al borde de la losa

Las pruebas de aproximación de juntas fueron realizadas con la placa de carga tangente a la junta o grieta definiendo el extremo de aproximación de la losa a ensayar, situándose en la losa inmediatamente antes de la losa seleccionada.

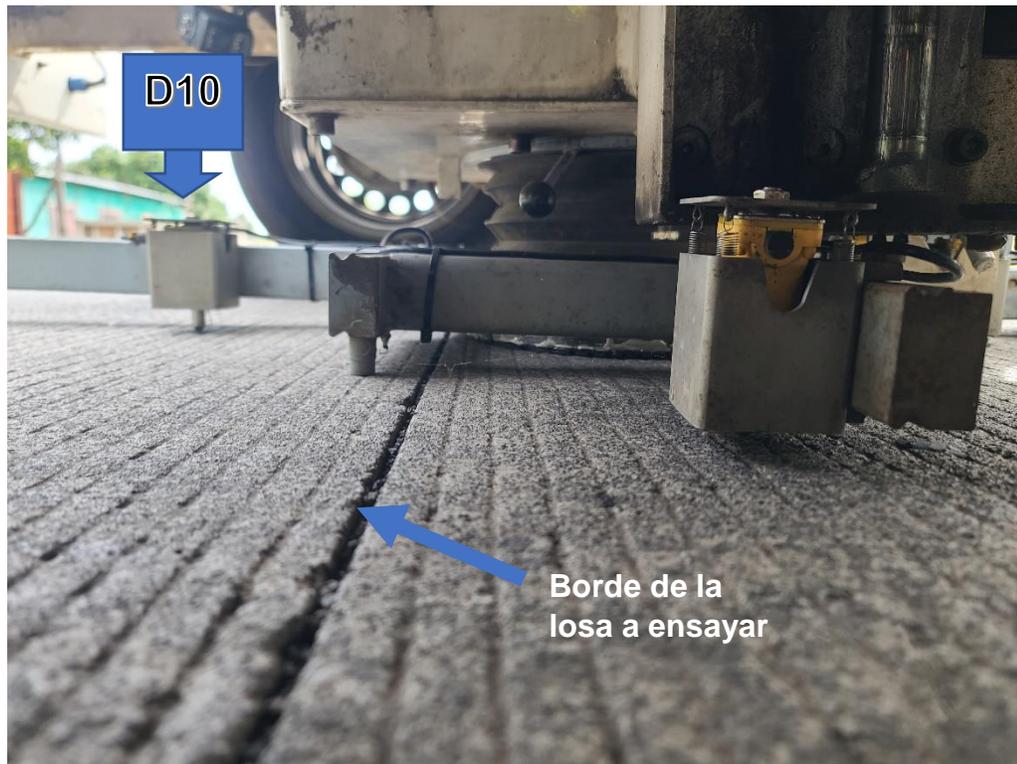
El borde de la placa de carga debe estar a menos de 50 mm (2 pulgadas) de la junta, pero en ningún caso debe tocar la junta, a como se muestra en las figuras 47 y 48.

Figura 50: Ubicación de plato de carga para ensayo en junta.



Fuente: Federal Highway Administration, Manual for Falling Weight Deflectometer Measurements, Diciembre 2006.

Figura 51: Ensayo al borde de la losa según el Manual de ensayos de la Federal Highway en la Estación Inicial del Proyecto 58+200



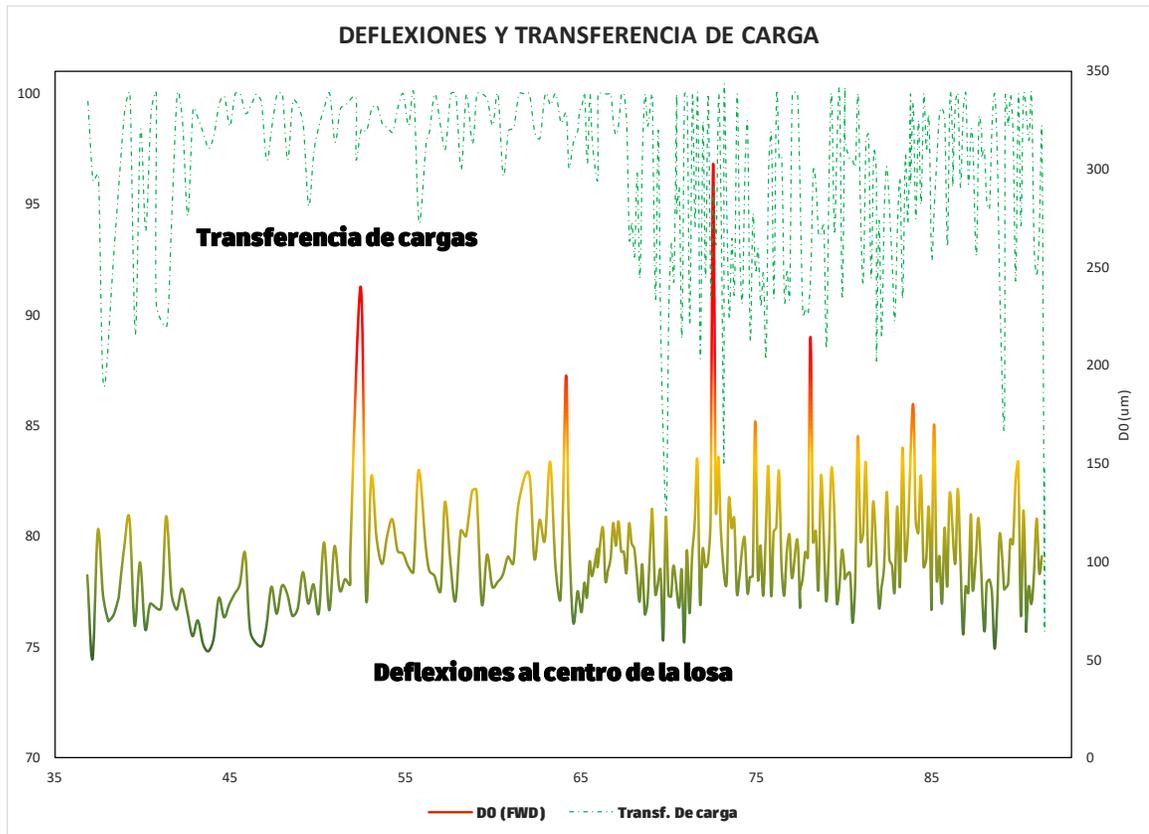
Fuente: Elaboración Propia

La relación entre D3 (300mm) y D10(-400mm) dió como resultado al porcentaje de transferencia de carga o la capacidad que tienen las losas de pavimento rígido de transmitir las fuerzas cortantes con sus losas adyacentes, a como se detallan en la tabla 29, página XXII de la sección de Anexos.

Mientras mejor sea la transferencia de carga, mejor será el comportamiento de las losas del pavimento.

En la figura 52 se presentan los resultados de los dos ensayos realizados con el deflectómetro de impacto, deflexiones máximas (al centro de la losa), y transferencia de carga. Se puede observar que entre el punto kilométrico 70 y 80 coinciden deflexiones máximas muy altas y transferencia de carga baja, esto quiere decir que la condición estructural del pavimento es débil.

Figura 52. Deflexiones y transferencia de carga



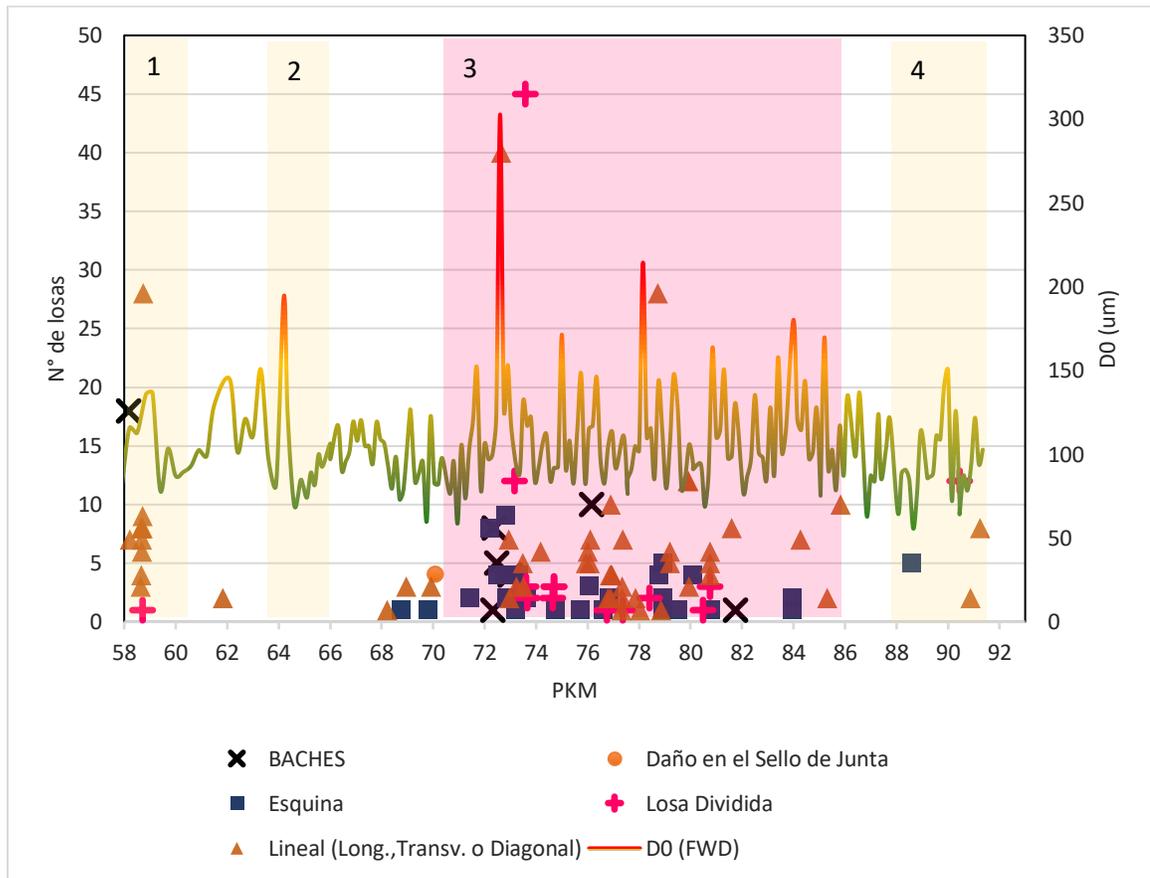
Fuente: Elaboración propia.

3.1.7. Propuesta de mantenimiento vial

Identificación de zonas a dar mantenimiento

A partir de los resultados obtenidos de los estudios perfilométricos y deflectométricos, así como de la inspección visual al tramo, se logró identificar las zonas que necesitan obras de mantenimiento correctivo y preventivo.

Figura 53. Registro de Deflexiones vs Registro de Deterioros



Fuente: Elaboración propia

**Las regiones en rojo, representan las zonas que necesitan mantenimiento correctivo, mientras que las regiones en amarillo las que necesitan mantenimiento preventivo.*

En la figura 53 se realizó con la totalidad de deterioros levantados por el perfilómetro láser Hawkeye 1000 así como la totalidad de deflexiones inventariadas por el deflectómetro de impacto FWD, todos estos datos se encuentran en las tablas 27, 28 y 29 en la sección de anexos p. IV-XXII.

La metodología para reparar daños o bien dar mantenimiento a una carretera, comienza con la evaluación actual del pavimento, y la determinación de cualquier daño observable. Luego se seleccionan los tratamientos adecuados para reparar las deficiencias.

Zona 1 (Est. 58+160 – 60+000)

En el levantamiento de deterioros, se identificaron Baches, y Grietas Longitudinales severidad media, así como un caso de Losa Dividida. Esta zona por la severidad media de los daños, se puede intervenir con mantenimiento periódico – preventivo.

Zona 2 (Est. 62+690 – 64+950)

Según los datos obtenidos del estudio de deflectometría se pueden observar deflexiones entre 150 μm y 180 μm , lo que significa que la condición estructural de las losas cortas del tramo, es regular y con el tiempo podrían presentarse daños como Losas Divididas, o Fisuras Lineales.

Zona 3 (Est. 68+750 – 85+840)

En la figura 53 se pueden observar como la concentración de daños (baches, daños en el sello de Junta, Esquina, Losas Divididas y Fisuras Lineales) y los puntos máximos de deflexiones ($>200\mu\text{m}$) convergen en esta zona. Siendo esta la más crítica del tramo es recomendable tratarla con mantenimiento correctivo.

Zona 4 (88+000 – 91+190)

Al igual que en la zona 4, los daños presentados son daños en las esquinas de las losas y fisuras lineales que coinciden con la zona de deflexiones mayores a

150 μm . El mantenimiento adecuado a esta zona es mantenimiento preventivo, con sello de grietas.

3.2. Alcance del Mantenimiento

Con el levantamiento de deterioros realizado con Hawkeye Processing Toolkit software, se determinó el alcance de obras de Mantenimiento, que a continuación se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 23: Alcances de obra por punto kilométrico.

Estación	Tipo de Daño	Losas afectadas	Severidad	Tipo de mantenimiento	V.R	UM
58+160	Baches Mayores a 0,5m2	18	Alta	Rep. En espesor total	9.448	m ³
72+465	Baches Mayores a 0,5m2	5	Alta	Rep. En espesor total	2.624	m ³
72+985	Baches Mayores a 0,5m2	4	Alta	Rep. En espesor total	2.100	m ³
76+15	Baches Mayores a 0,5m2	10	Alta	Rep. En espesor total	5.249	m ³
81+755	Baches Mayores a 0,5m2	1	Alta	Rep. En espesor total	0.525	m ³
72+33	Baches Menores a 0,5m2	1	Media	Rep. En espesor total	0.525	m ³
72+36	Baches Menores a 0,5m2	8	Media	Rep. En espesor total	4.199	m ³
70+105	Daño en el Sello de Junta	4	Media	Sello de grietas (e=12-20mm)	7.200	m
68+75	Esquina	1	Media	Reparación espesor parcial	0.292	m ³
71+465	Esquina	2	Media	Reparación espesor parcial	0.583	m ³
72+2	Esquina	8	Alta	Reparación espesor parcial	2.333	m ³
72+52	Esquina	4	Media	Reparación espesor parcial	1.166	m ³
72+78	Esquina	4	Alta	Reparación espesor parcial	1.166	m ³
72+805	Esquina	9	Alta	Reparación espesor parcial	2.624	m ³

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24. Alcances de obra por punto kilométrico.

Estación	Tipo de Daño	Losas afectadas	Severidad	Tipo de mantenimiento	V.R	UM
72+875	Esquina	2	Alta	Reparación espesor parcial	0.583	m ³
72+915	Esquina	2	Alta	Reparación espesor parcial	0.583	m ³
73+215	Esquina	1	Alta	Reparación espesor parcial	0.292	m ³
73+235	Esquina	4	Alta	Reparación espesor parcial	1.166	m ³
73+295	Esquina	2	Media	Reparación espesor parcial	0.583	m ³
73+630	Esquina	2	Media	Reparación espesor parcial	0.583	m ³
74+780	Esquina	1	Media	Reparación espesor parcial	0.292	m ³
75+72	Esquina	1	Alta	Reparación espesor parcial	0.292	m ³
76+635	Esquina	1	Media	Reparación espesor parcial	0.292	m ³
78+770	Esquina	4	Media	Reparación espesor parcial	1.166	m ³
78+930	Esquina	5	Alta	Reparación espesor parcial	1.458	m ³
78+940	Esquina	2	Media	Reparación espesor parcial	0.583	m ³
80+105	Esquina	4	Alta	Reparación espesor parcial	1.166	m ³
80+775	Esquina	1	Media	Reparación espesor parcial	0.292	m ³
83+940	Esquina	2	Alta	Reparación espesor parcial	0.583	m ³
83+985	Esquina	1	Media	Reparación espesor parcial	0.292	m ³
69+800	Fracturas de Esquina	1	Media	Reparación espesor parcial	0.292	m ³
73+345	Fracturas de Esquina	4	Media	Reparación espesor parcial	1.166	m ³
76+070	Fracturas de Esquina	3	Alta	Reparación espesor parcial	0.875	m ³
76+855	Fracturas de Esquina	2	Alta	Reparación espesor parcial	0.583	m ³
78+950	Fracturas de Esquina	1	Alta	Reparación espesor parcial	0.292	m ³
79+515	Fracturas de Esquina	1	Media	Reparación espesor parcial	0.292	m ³
88+610	Fracturas de Esquina	5	Media	Reparación espesor parcial	1.458	m ³
68+000	Fracturas de Junta	5	Media	Reparación espesor parcial	1.458	m ³

Tabla 25. Alcances de obra por punto kilométrico.

Estación	Tipo de Daño	Losas afectadas	Severidad	Tipo de mantenimiento	V.R	UM
68+100	Fracturas de Junta	5	Media	Reparación espesor parcial	1.458	m ³
68+525	Fracturas de Junta	6	Media	Reparación espesor parcial	1.75	m ³
68+82	Fracturas de Junta	6	Media	Reparación espesor parcial	1.75	m ³
68+93	Fracturas de Junta	2	Alta	Reparación espesor parcial	0.583	m ³
68+955	Fracturas de Junta	2	Alta	Reparación espesor parcial	0.583	m ³
68+965	Fracturas de Junta	7	Alta	Reparación espesor parcial	2.041	m ³
68+98	Fracturas de Junta	5	Alta	Reparación espesor parcial	1.458	m ³
69+36	Fracturas de Junta	2	Media	Reparación espesor parcial	0.583	m ³
69+365	Fracturas de Junta	3	Media	Reparación espesor parcial	0.875	m ³
69+495	Fracturas de Junta	3	Media	Reparación espesor parcial	0.875	m ³
69+825	Fracturas de Junta	2	Alta	Reparación espesor parcial	0.583	m ³
69+85	Fracturas de Junta	3	Alta	Reparación espesor parcial	0.875	m ³
69+91	Fracturas de Junta	2	Alta	Reparación espesor parcial	0.583	m ³
71+385	Fracturas de Junta	1	Media	Reparación espesor parcial	0.292	m ³
71+425	Fracturas de Junta	6	Media	Reparación espesor parcial	1.75	m ³
72+22	Fracturas de Junta	15	Alta	Reparación espesor parcial	4.374	m ³
72+235	Fracturas de Junta	8	Alta	Reparación espesor parcial	2.333	m ³
72+245	Fracturas de Junta	8	Alta	Reparación espesor parcial	2.333	m ³
72+255	Fracturas de Junta	8	Alta	Reparación espesor parcial	2.333	m ³
72+265	Fracturas de Junta	20	Alta	Reparación espesor parcial	5.832	m ³
72+335	Fracturas de Junta	3	Alta	Reparación espesor parcial	0.875	m ³
72+375	Fracturas de Junta	2	Alta	Reparación espesor parcial	0.583	m ³
72+395	Fracturas de Junta	6	Media	Reparación espesor parcial	1.75	m ³

Tabla 26. Alcances de obra por punto kilométrico.

Estación	Tipo de Daño	Losas afectadas	Severidad	Tipo de mantenimiento	V.R	UM
72+43	Fracturas de Junta	5	Media	Reparación espesor parcial	1.458	m ³
72+44	Fracturas de Junta	6	Media	Reparación espesor parcial	1.75	m ³
72+475	Fracturas de Junta	2	Alta	Reparación espesor parcial	0.583	m ³
72+55	Fracturas de Junta	4	Media	Reparación espesor parcial	1.166	m ³
72+685	Fracturas de Junta	10	Media	Reparación espesor parcial	2.916	m ³
72+765	Fracturas de Junta	2	Media	Reparación espesor parcial	0.583	m ³
72+79	Fracturas de Junta	4	Alta	Reparación espesor parcial	1.166	m ³
72+855	Fracturas de Junta	4	Media	Reparación espesor parcial	1.166	m ³
72+92	Fracturas de Junta	1	Alta	Reparación espesor parcial	0.292	m ³
72+925	Fracturas de Junta	2	Alta	Reparación espesor parcial	0.583	m ³
73	Fracturas de Junta	2	Alta	Reparación espesor parcial	0.583	m ³
73+02	Fracturas de Junta	3	Alta	Reparación espesor parcial	0.875	m ³
73+075	Fracturas de Junta	8	Media	Reparación espesor parcial	2.333	m ³
73+1	Fracturas de Junta	4	Alta	Reparación espesor parcial	1.166	m ³
73+11	Fracturas de Junta	7	Alta	Reparación espesor parcial	2.041	m ³
73+13	Fracturas de Junta	5	Alta	Reparación espesor parcial	1.458	m ³
73+145	Fracturas de Junta	10	Alta	Reparación espesor parcial	2.916	m ³
73+195	Fracturas de Junta	7	Alta	Reparación espesor parcial	2.041	m ³
73+205	Fracturas de Junta	2	Alta	Reparación espesor parcial	0.583	m ³
73+22	Fracturas de Junta	1	Alta	Reparación espesor parcial	0.292	m ³
73+24	Fracturas de Junta	5	Alta	Reparación espesor parcial	1.458	m ³
73+245	Fracturas de Junta	4	Media	Reparación espesor parcial	1.166	m ³

Tabla 27. Alcances de obra por punto kilométrico.

Estación	Tipo de Daño	Losas afectadas	Severidad	Tipo de mantenimiento	V.R	UM
73+82	Fracturas de Junta	3	Media	Reparación espesor parcial	0.875	m ³
73+86	Fracturas de Junta	26	Alta	Reparación espesor parcial	7.582	m ³
73+975	Fracturas de Junta	14	Alta	Reparación espesor parcial	4.082	m ³
74+085	Fracturas de Junta	10	Alta	Reparación espesor parcial	2.916	m ³
74+12	Fracturas de Junta	5	Media	Reparación espesor parcial	1.458	m ³
74+14	Fracturas de Junta	7	Media	Reparación espesor parcial	2.041	m ³
74+165	Fracturas de Junta	2	Baja	Reparación espesor parcial	0.583	m ³
74+195	Fracturas de Junta	6	Media	Reparación espesor parcial	1.75	m ³
74+225	Fracturas de Junta	8	Alta	Reparación espesor parcial	2.333	m ³
74+255	Fracturas de Junta	3	Alta	Reparación espesor parcial	0.875	m ³
74+27	Fracturas de Junta	4	Media	Reparación espesor parcial	1.166	m ³
74+29	Fracturas de Junta	4	Alta	Reparación espesor parcial	1.166	m ³
74+355	Fracturas de Junta	6	Alta	Reparación espesor parcial	1.75	m ³
74+415	Fracturas de Junta	3	Alta	Reparación espesor parcial	0.875	m ³
74+435	Fracturas de Junta	2	Media	Reparación espesor parcial	0.583	m ³
74+5	Fracturas de Junta	2	Media	Reparación espesor parcial	0.583	m ³
75+615	Fracturas de Junta	3	Media	Reparación espesor parcial	0.875	m ³
75+735	Fracturas de Junta	2	Alta	Reparación espesor parcial	0.583	m ³
75+935	Fracturas de Junta	28	Alta	Reparación espesor parcial	8.165	m ³
75+975	Fracturas de Junta	5	Media	Reparación espesor parcial	1.458	m ³
76+055	Fracturas de Junta	7	Media	Reparación espesor parcial	2.041	m ³
76+09	Fracturas de Junta	5	Media	Reparación espesor parcial	1.458	m ³

Tabla 28. Alcances de obra por punto kilométrico.

Estación	Tipo de Daño	Losas afectadas	Severidad	Tipo de mantenimiento	V.R	UM
76+2	Fracturas de Junta	31	Alta	Reparación espesor parcial	9.04	m ³
76+595	Fracturas de Junta	2	Media	Reparación espesor parcial	0.583	m ³
76+705	Fracturas de Junta	16	Alta	Reparación espesor parcial	4.666	m ³
76+75	Fracturas de Junta	5	Alta	Reparación espesor parcial	1.458	m ³
76+77	Fracturas de Junta	10	Alta	Reparación espesor parcial	2.916	m ³
76+825	Fracturas de Junta	3	Media	Reparación espesor parcial	0.875	m ³
76+85	Fracturas de Junta	5	Alta	Reparación espesor parcial	1.458	m ³
76+86	Fracturas de Junta	13	Alta	Reparación espesor parcial	3.791	m ³
76+87	Fracturas de Junta	14	Alta	Reparación espesor parcial	4.082	m ³
77+055	Fracturas de Junta	16	Alta	Reparación espesor parcial	4.666	m ³
77+245	Fracturas de Junta	3	Media	Reparación espesor parcial	0.875	m ³
77+26	Fracturas de Junta	2	Media	Reparación espesor parcial	0.583	m ³
77+285	Fracturas de Junta	4	Media	Reparación espesor parcial	1.166	m ³
77+35	Fracturas de Junta	10	Alta	Reparación espesor parcial	2.916	m ³
77+44	Fracturas de Junta	12	Alta	Reparación espesor parcial	3.499	m ³
77+85	Fracturas de Junta	3	Media	Reparación espesor parcial	0.875	m ³
77+875	Fracturas de Junta	9	Alta	Reparación espesor parcial	2.624	m ³
77+94	Fracturas de Junta	6	Media	Reparación espesor parcial	1.75	m ³
78+235	Fracturas de Junta	46	Alta	Reparación espesor parcial	13.414	m ³
78+565	Fracturas de Junta	5	Media	Reparación espesor parcial	1.458	m ³
78+62	Fracturas de Junta	16	Alta	Reparación espesor parcial	4.666	m ³
78+745	Fracturas de Junta	5	Alta	Reparación espesor parcial	1.458	m ³

78+785	Fracturas de Junta	2	Media	Reparación espesor parcial	0.583	m ³
--------	--------------------	---	-------	----------------------------	-------	----------------

Tabla 29. Alcances de obra por punto kilométrico.

Estación	Tipo de Daño	Losas afectadas	Severidad	Tipo de mantenimiento	V.R	UM
78+88	Fracturas de Junta	8	Alta	Reparación espesor parcial	2.333	m ³
79+04	Fracturas de Junta	19	Alta	Reparación espesor parcial	5.54	m ³
79+925	Fracturas de Junta	7	Alta	Reparación espesor parcial	2.041	m ³
80+095	Fracturas de Junta	10	Alta	Reparación espesor parcial	2.916	m ³
80+15	Fracturas de Junta	4	Alta	Reparación espesor parcial	1.166	m ³
80+705	Fracturas de Junta	9	Media	Reparación espesor parcial	2.624	m ³
80+75	Fracturas de Junta	3	Alta	Reparación espesor parcial	0.875	m ³
81+115	Fracturas de Junta	25	Alta	Reparación espesor parcial	7.29	m ³
81+2	Fracturas de Junta	6	Alta	Reparación espesor parcial	1.75	m ³
81+225	Fracturas de Junta	3	Media	Reparación espesor parcial	0.875	m ³
81+23	Fracturas de Junta	6	Media	Reparación espesor parcial	1.75	m ³
81+26	Fracturas de Junta	2	Media	Reparación espesor parcial	0.583	m ³
81+6	Fracturas de Junta	4	Media	Reparación espesor parcial	1.166	m ³
86+79	Fracturas de Junta	2	Media	Reparación espesor parcial	0.583	m ³
87+475	Fracturas de Junta	4	Alta	Reparación espesor parcial	1.166	m ³
88+615	Fracturas de Junta	4	Media	Reparación espesor parcial	1.166	m ³
88+645	Fracturas de Junta	4	Alta	Reparación espesor parcial	1.166	m ³
88+68	Fracturas de Junta	7	Media	Reparación espesor parcial	2.041	m ³
89	Fracturas de Junta	10	Media	Reparación espesor parcial	2.916	m ³
89+39	Fracturas de Junta	10	Alta	Reparación espesor parcial	2.916	m ³
90+42	Fracturas de Junta	2	Media	Reparación espesor parcial	0.583	m ³

90+425	Fracturas de Junta	2	Media	Reparación espesor parcial	0.583	m ³
90+48	Fracturas de Junta	3	Alta	Reparación espesor parcial	0.875	m ³

Tabla 30. Alcances de obra por punto kilométrico.

Estación	Tipo de Daño	Losas afectadas	Severidad	Tipo de mantenimiento	V.R	UM
91+23	Fracturas de Junta	2	Media	Reparación espesor parcial	0.583	m ³
58+72	Grietas - PR55 - Losa Dividida	1	Alta	Rep. De losa	0.583	m ³
73+17	Grietas - PR55 - Losa Dividida	12	Alta	Rep. De losa	6.998	m ³
73+585	Grietas - PR55 - Losa Dividida	45	Alta	Rep. De losa	26.244	m ³
73+615	Grietas - PR55 - Losa Dividida	3	Media	Rep. De losa	1.75	m ³
73+665	Grietas - PR55 - Losa Dividida	2	Media	Rep. De losa	1.166	m ³
74+65	Grietas - PR55 - Losa Dividida	2	Alta	Rep. De losa	1.166	m ³
74+685	Grietas - PR55 - Losa Dividida	3	Alta	Rep. De losa	1.75	m ³
74+705	Grietas - PR55 - Losa Dividida	3	Media	Rep. De losa	1.75	m ³
76+755	Grietas - PR55 - Losa Dividida	1	Alta	Rep. De losa	0.583	m ³
77+365	Grietas - PR55 - Losa Dividida	1	Alta	Rep. De losa	0.583	m ³
78+41	Grietas - PR55 - Losa Dividida	2	Alta	Rep. De losa	1.166	m ³
80+49	Grietas - PR55 - Losa Dividida	1	Media	Rep. De losa	0.583	m ³
80+755	Grietas - PR55 - Losa Dividida	3	Media	Rep. De losa	1.75	m ³
90+465	Grietas - PR55 - Losa Dividida	12	Alta	Rep. De losa	6.998	m ³
58+23	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	7	Alta	Sello de grietas (e=20-30mm)	12.6	m
58+65	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	3	Alta	Sello de grietas (e=20-30mm)	5.4	m
58+655	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	4	Alta	Sello de grietas (e=20-30mm)	7.2	m
58+665	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	8	Alta	Sello de grietas (e=20-30mm)	14.4	m
58+675	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	8	Alta	Sello de grietas (e=20-30mm)	14.4	m

58+685	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	6	Media	Sello de grietas (e=12-20mm)	10.8	m
58+7	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	7	Alta	Sello de grietas (e=20-30mm)	12.6	m
58+71	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	9	Alta	Sello de grietas (e=20-30mm)	16.2	m

Tabla 31. Alcances de obra por punto kilométrico.

Estación	Tipo de Daño	Losas afectadas	Severidad	Tipo de mantenimiento	V.R	UM
77+335	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	2	Media	Sello de grietas (e=12-20mm)	3.6	m
77+345	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	3	Alta	Sello de grietas (e=20-30mm)	5.4	m
77+37	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	7	Alta	Sello de grietas (e=20-30mm)	12.6	m
77+87	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	2	Media	Sello de grietas (e=12-20mm)	3.6	m
78+025	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	1	Alta	Sello de grietas (e=20-30mm)	1.8	m
78+72	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	28	Media	Sello de grietas (e=12-20mm)	50.4	m
78+84	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	1	Alta	Sello de grietas (e=20-30mm)	1.8	m
79+205	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	5	Media	Sello de grietas (e=12-20mm)	9	m
79+21	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	6	Media	Sello de grietas (e=12-20mm)	10.8	m
79+895	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	12	Alta	Sello de grietas (e=20-30mm)	21.6	m
79+91	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	12	Alta	Sello de grietas (e=20-30mm)	21.6	m
79+93	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	3	Media	Sello de grietas (e=12-20mm)	5.4	m
80+745	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	4	Alta	Sello de grietas (e=20-30mm)	7.2	m
80+76	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	6	Media	Sello de grietas (e=12-20mm)	10.8	m
80+765	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	5	Media	Sello de grietas (e=12-20mm)	9	m
81+61	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	8	Media	Sello de grietas (e=12-20mm)	14.4	m
84+275	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	7	Alta	Sello de grietas (e=20-30mm)	12.6	m
85+315	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	2	Media	Sello de grietas (e=12-20mm)	3.6	m
85+84	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	10	Media	Sello de grietas (e=12-20mm)	18	m

90+875	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	2	Media	Sello de grietas (e=12-20mm)	3.6	m
91+25	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	8	Media	Sello de grietas (e=12-20mm)	14.4	m

Fuente: Elaboración propia.

Las actividades reflejadas en estas tablas son obras de mantenimiento que se encuentran descritas por la “Guía de Mantenimiento ICGG” de Guatemala Año 2007.

Tabla 32: Costos Unitarios de Obras de Mantenimiento en Concreto Hidráulico.

Obra de Mantenimiento	Costo Unitario (C\$)
Sello de grietas (e=12-20mm)	450
Reparación espesor parcial	38,500
Rep. De losa	38,500
Rep. En espesor total	38,500
Sello de grietas (e<12mm)	350
Sello de grietas (e=20-30mm)	550

Fuente: Departamento de Planificación FOMAV (2024)

Aplicando los costos unitarios a las cantidades de actividades de mantenimiento correctivo - preventivo, el monto se desglosa de la siguiente manera:

Tabla 33: Costo de Actividades de Mantenimiento Correctivo-Preventivo

Obra de Mantenimiento	Alcance	UM	Costo Unitario (C\$)	Monto Total (C\$)
Sello de grietas (e=12-20mm)	277.2	m	450	124,740
Reparación espesor parcial	272.06	m ³	30,800	8,379,448
Rep. De losa	53.07	m ³	38,500	2,043,195
Rep. En espesor total	24.67	m ³	38,500	949,795
Sello de grietas (e<12mm)	3.6	m	350	1,260

Sello de grietas (e=20-30mm)	358.2	m	550	197,010
			Monto Total=	C\$ 11,695,448

Fuente: Elaboración propia.

Con fines académicos el Fondo de Mantenimiento Vial facilitó los costos para mantenimiento periódico rutinario, el cual sería para todo el tramo una vez al año.

Tabla 34: Costos Unitarios de Obras de Mantenimiento Periódico

Obra de Mantenimiento	Costo Unitario por Km
Señalización Horizontal (Pintura de líneas en el pavimento)	23,000 C\$
Mantenimiento Rutinario Anual (Incluye: Limpieza de cunetas y corte de malezas)	1,500 \$

Fuente: Departamento de Planificación del Fondo de Mantenimiento Vial (2024)

Aplicando los costos unitarios a la distancia total del tramo en estudio (33.09 km):

Tabla 35: Costos Totales de Obras de Mantenimiento Periódico - Rutinario

Obra de Mantenimiento	Costo Unitario por Km	Costo Total
Señalización Horizontal (Pintura de líneas en el pavimento)	23,000 C\$	761,070 C\$
Mantenimiento Rutinario Anual (Incluye: Limpieza de cunetas y corte de malezas)	1,500 \$	49,635 \$

Fuente: Elaboración Propia

Por tanto, llevar a cabo las obras de mantenimiento tanto preventivas – correctivas, como periódico- rutinarias, significarían una inversión de C\$ 12,456,518 córdobas, y \$ 49,635 dólares americanos.

CONCLUSIONES

- ✚ Se aplicó la metodología PCI para la determinación del índice de condición del pavimento rígido del tramo Malacatoya – El Papayal, empleando el catálogo de daños de la norma ASTM D6433, dando como resultado el Índice de condición del Pavimento un valor de 76.33, clasificando como un pavimento en estado “Satisfactorio”.
- ✚ Se realizaron estudios de deflectometría de impacto con FWD (Falling Weight Deflectometer) y perfilometría láser con perfilómetro ARRB (Hawkeye 1000), con los resultados obtenidos se logró evaluar la transferencia de carga e IRI respectivamente en las losas cortas del tramo Malacatoya – El Papayal, teniendo en promedio un 96.42% de transferencia de carga y Índice de Rugosidad Internacional promedio de 2.59 lo cual indica un muy buen estado del pavimento.
- ✚ Se encontraron zonas puntuales en mal estado, con transferencias de cargas de hasta el 75%, lo que indica zonas débiles que con el tiempo podrían generarse deterioros graves como losas divididas, grietas longitudinales de severidad media-alta.
- ✚ Se propuso plan de mantenimiento vial para las zonas identificadas con alcances de obras y tipos de actividades según deterioros en el tramo Malacatoya – El Papayal, el cual aproximando costos, por costos unitarios facilitados por el FOMAV, el mantenimiento correctivo significa una inversión de C\$ 11,695,448 córdobas, mientras que el mantenimiento periódico rutinario, C\$ 761,070 córdobas y \$ 49,635 dólares americanos.

RECOMENDACIONES

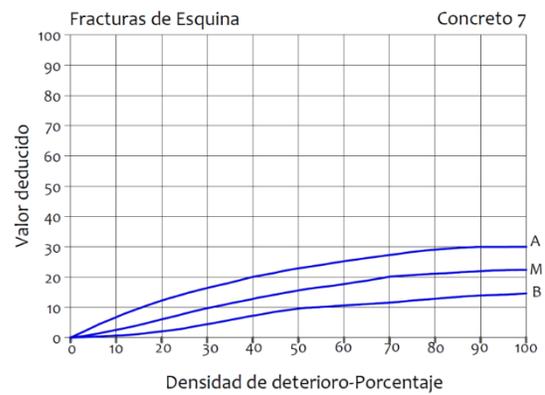
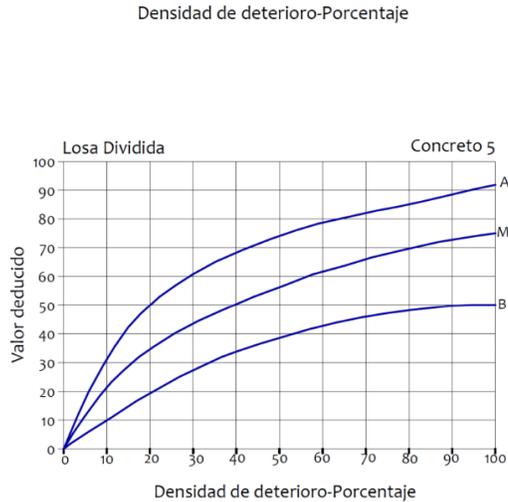
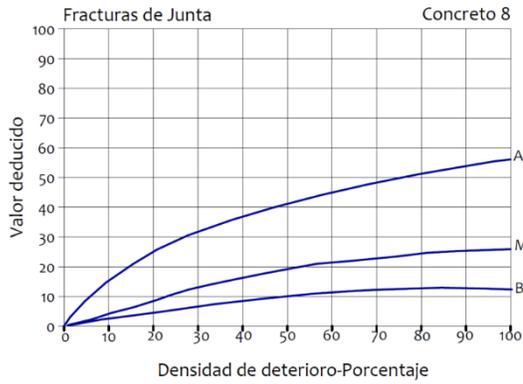
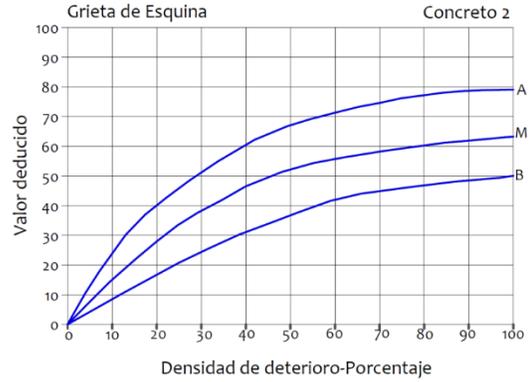
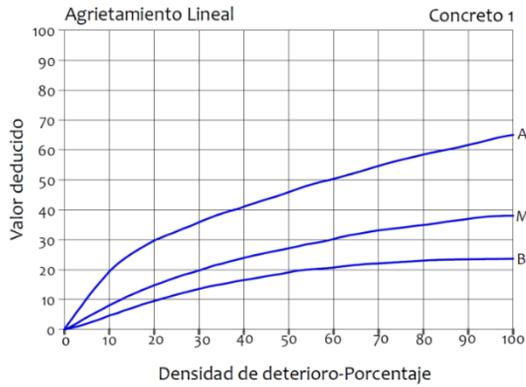
- ✚ Mantenimiento preventivo: Abordar los problemas identificados antes de que se conviertan en deterioros mayores. Esto puede incluir actividades como sellado de grietas, parcheo superficial, y reforzamiento de juntas, entre otros.
- ✚ Gestión eficiente de activos: Utilizando la información del PCI para priorizar las inversiones en mantenimiento vial de manera eficiente, centrándose en los tramos con puntajes más bajos (zonas identificadas en el capítulo 1, Tabla 16, página 34), para maximizar el impacto de los recursos disponibles.
- ✚ Monitoreo continuo: Realizar inspecciones periódicas del pavimento utilizando la metodología PCI para detectar y evaluar cualquier cambio en la condición del pavimento a lo largo del tiempo, lo que permite ajustar las estrategias de mantenimiento según sea necesario.
- ✚ Implementación de técnicas de rehabilitación adecuadas: Cuando se detecten deterioros significativos que afecten la funcionalidad y seguridad del pavimento, aplicar técnicas de rehabilitación apropiadas según las condiciones específicas del tramo y el tipo de pavimento.

BIBLIOGRAFÍA

- Colombia, M. d. (Junio de 2001). *Ministerio de transporte de Colombia*. Obtenido de Ministerio de transporte de Colombia: mintransporte.gov.co
- Geiger, D. R. (2005). *Pavement Preservation Definitions*. Washington DC: Federal Highway Administration.
- Instituto mexicano del transporte. (2004). *Instituto mexicano del transporte*. Obtenido de Instituto mexicano del transporte: <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt252.pdf>
- Ministerio de obras publicas y transporte . (2016). *Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica* . San José.
- Ministerio de obras públicas y transportes. (2016). *Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica* . San José, Costa Rica.
- Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). (2008). *Manual Para La Revisión De Diseño de Pavimentos*. Nicaragua.
- MTI. (2022). *Anuario de Aforos de Tránsito*. Managua.
- Rodríguez Morera, J. D. (2018). La auscultación de pavimentos a nivel de red y su importancia en la gestión de carreteras. *Revista Infraestructura Vial / LanammeUCR*, 20-26.
- Sabogal, F. S. (1984). *Pavimentos*. Colombia: Universidad La Gran Colombia.
- SIECA. (2010). *Manual Centroamericano de mantenimiento de carreteras* . Centroamerica .
- SIECA. (2011). *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geometrico de Carreteras*. España: aacid.
- Smith , K., Harrington, D., Pierce, L., Ram, P., & Smith, K. (2014). *Concrete Pavement Preservation Guide*. Washington DC: FHWA.
- Universidad Mayor de San Simon . (2015). *Manual Completo Dlseño de Pavimento* . Bolivia .

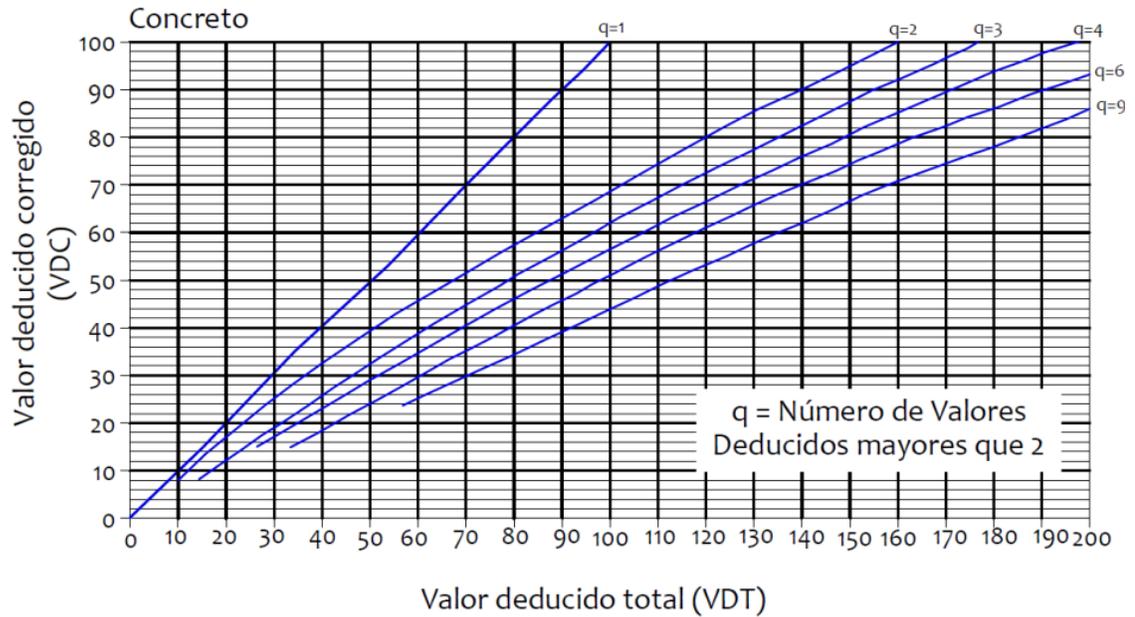
ANEXOS

ANEXO I. GRÁFICOS PARA CALCULO DE VALOR DEDUCIDO DEL INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)



Fuente: Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica, MOP 2016).

ANEXO II. Curva de corrección para cálculo de Valor Deducido Total (VDT)



Fuente: Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica, MOP 2016).

ANEXO III. Información Cruda extraída de base de datos FOMAV

Tabla 36. Tabla de información de deterioros exportados

PKM _km_	Sub PKM _km_	Foto_ grama	Latitud _grados_	Longitud _grados_	Tipo_de _Daño	Dimension (Losas)	Severidad
58.16	21.405	4303	12.1980368	-85.8538806	Baches Mayores a 0,5m2	18	Alta
72.465	8.058	7164	12.1702323	-85.7854213	Baches Mayores a 0,5m2	5	Alta
72.985	8.578	7268	12.1711218	-85.7807851	Baches Mayores a 0,5m2	4	Alta
76.15	11.743	7901	12.1734645	-85.7521974	Baches Mayores a 0,5m2	10	Alta
81.755	17.348	9022	12.1886143	-85.7071314	Baches Mayores a 0,5m2	1	Alta
72.33	7.923	7137	12.1699721	-85.7866223	Baches Menores a 0,5m2	1	Media
72.36	7.953	7143	12.1700383	-85.7863549	Baches Menores a 0,5m2	8	Media
70.105	5.698	6692	12.1624506	-85.8053075	Daño en el Sello de Junta	4	Media
68.75	4.343	6421	12.1609149	-85.8172482	Esquina	1	Media
71.465	7.058	6964	12.1673604	-85.7939716	Esquina	2	Media
72.2	7.793	7111	12.1696849	-85.7877702	Esquina	8	Alta
72.52	8.113	7175	12.1703144	-85.7849332	Esquina	4	Media
72.78	8.373	7227	12.1706943	-85.7826031	Esquina	4	Alta
72.805	8.398	7232	12.1707441	-85.7823759	Esquina	9	Alta
72.875	8.468	7246	12.1708601	-85.7817403	Esquina	2	Alta
72.915	8.508	7254	12.1709372	-85.7813873	Esquina	2	Alta
73.215	8.808	7314	12.1717712	-85.7787966	Esquina	1	Alta
73.235	8.828	7318	12.1718324	-85.7786261	Esquina	4	Alta
73.295	8.888	7330	12.1720106	-85.7781009	Esquina	2	Media
73.63	9.223	7397	12.1727166	-85.775117	Esquina	2	Media
74.78	10.373	7627	12.1731444	-85.7646701	Esquina	1	Media

PKM _km_	Sub PKM _km_	Foto_ grama	Latitud _grados_	Longitud _grados_	Tipo_de _Daño	Dimension (Losas)	Severidad
75.72	11.313	7815	12.1730197	-85.7561029	Esquina	1	Alta
76.635	12.228	7998	12.1743639	-85.747841	Esquina	1	Media
78.77	14.363	8425	12.1824752	-85.7311749	Esquina	4	Media
78.93	14.523	8457	12.1839038	-85.7310624	Esquina	5	Alta
78.94	14.533	8459	12.1839873	-85.7310272	Esquina	2	Media
80.105	15.698	8692	12.189256	-85.7221009	Esquina	4	Alta
80.775	16.368	8826	12.1892262	-85.7160249	Esquina	1	Media
83.94	19.533	9459	12.195088	-85.6897955	Esquina	2	Alta
83.985	19.578	9468	12.1953389	-85.6894777	Esquina	1	Media
69.8	5.393	6631	12.1614613	-85.8078443	Fracturas de Esquina	1	Media
73.345	8.938	7340	12.1721639	-85.7776679	Fracturas de Esquina	4	Media
76.07	11.663	7885	12.1733648	-85.752912	Fracturas de Esquina	3	Alta
76.855	12.448	8042	12.1748798	-85.7459073	Fracturas de Esquina	2	Alta
78.95	14.543	8461	12.1840712	-85.7309869	Fracturas de Esquina	1	Alta
79.515	15.108	8574	12.1866217	-85.7266842	Fracturas de Esquina	1	Media
88.61	24.203	10393	12.2190717	-85.663842	Fracturas de Esquina	5	Media
68	3.593	6271	12.1572204	-85.8228431	Fracturas de Junta	5	Media
68.01	3.603	6273	12.1572784	-85.8227718	Fracturas de Junta	8	Media
68.1	3.693	6291	12.1578053	-85.8221517	Fracturas de Junta	5	Media
68.525	4.118	6376	12.16028	-85.8191768	Fracturas de Junta	6	Media
68.82	4.413	6435	12.1610006	-85.8166051	Fracturas de Junta	6	Media
68.93	4.523	6457	12.1609732	-85.8156053	Fracturas de Junta	2	Alta
68.955	4.548	6462	12.1609651	-85.8153789	Fracturas de Junta	2	Alta
68.965	4.558	6464	12.160964	-85.8152892	Fracturas de Junta	7	Alta
68.98	4.573	6467	12.1609636	-85.8151565	Fracturas de Junta	5	Alta

PKM _km_	Sub PKM _km_	Foto_ grama	Latitud _grados_	Longitud _grados_	Tipo_de _Daño	Dimension (Losas)	Severidad
69.36	4.953	6543	12.1615355	-85.811799	Fracturas de Junta	2	Media
69.365	4.958	6544	12.1615513	-85.8117558	Fracturas de Junta	3	Media
69.495	5.088	6570	12.1618135	-85.810596	Fracturas de Junta	3	Media
69.825	5.418	6636	12.1614639	-85.8076151	Fracturas de Junta	2	Alta
69.85	5.443	6641	12.1614824	-85.8073873	Fracturas de Junta	3	Alta
69.91	5.503	6653	12.1616156	-85.8068584	Fracturas de Junta	2	Alta
71.385	6.978	6948	12.1669585	-85.7945656	Fracturas de Junta	1	Media
71.425	7.018	6956	12.1671439	-85.7942651	Fracturas de Junta	6	Media
72.22	7.813	7115	12.1697335	-85.7875956	Fracturas de Junta	15	Alta
72.235	7.828	7118	12.1697694	-85.7874605	Fracturas de Junta	8	Alta
72.245	7.838	7120	12.1697922	-85.7873729	Fracturas de Junta	8	Alta
72.255	7.848	7122	12.1698156	-85.7872853	Fracturas de Junta	8	Alta
72.265	7.858	7124	12.1698392	-85.7871975	Fracturas de Junta	20	Alta
72.335	7.928	7138	12.1699818	-85.7865784	Fracturas de Junta	3	Alta
72.375	7.968	7146	12.1700677	-85.7862218	Fracturas de Junta	2	Alta
72.395	7.988	7150	12.1701068	-85.7860439	Fracturas de Junta	6	Media
72.415	8.008	7154	12.1701436	-85.7858649	Fracturas de Junta	7	Alta
72.43	8.023	7157	12.1701699	-85.7857316	Fracturas de Junta	5	Media
72.44	8.033	7159	12.1701863	-85.7856443	Fracturas de Junta	6	Media
72.475	8.068	7166	12.1702491	-85.7853323	Fracturas de Junta	2	Alta
72.55	8.143	7181	12.1703649	-85.7846625	Fracturas de Junta	4	Media
72.685	8.278	7208	12.170552	-85.7834452	Fracturas de Junta	10	Media
72.765	8.358	7224	12.1706658	-85.7827374	Fracturas de Junta	2	Media

PKM _km_	Sub PKM _km_	Foto_ grama	Latitud _grados_	Longitud _grados_	Tipo_de _Daño	Dimension (Losas)	Severidad
72.79	8.383	7229	12.1707153	-85.7825145	Fracturas de Junta	4	Alta
72.855	8.448	7242	12.1708266	-85.7819191	Fracturas de Junta	4	Media
72.92	8.513	7255	12.1709476	-85.7813431	Fracturas de Junta	1	Alta
72.925	8.518	7256	12.1709585	-85.7813005	Fracturas de Junta	2	Alta
73	8.593	7271	12.1711639	-85.7806576	Fracturas de Junta	2	Alta
73.02	8.613	7275	12.1712176	-85.780484	Fracturas de Junta	3	Alta
73.075	8.668	7286	12.1713695	-85.7800001	Fracturas de Junta	8	Media
73.1	8.693	7291	12.1714409	-85.7797828	Fracturas de Junta	4	Alta
73.11	8.703	7293	12.1714657	-85.7796996	Fracturas de Junta	7	Alta
73.13	8.723	7297	12.1715224	-85.7795259	Fracturas de Junta	5	Alta
73.145	8.738	7300	12.1715659	-85.7793978	Fracturas de Junta	10	Alta
73.195	8.788	7310	12.171712	-85.7789688	Fracturas de Junta	7	Alta
73.205	8.798	7312	12.171743	-85.7788822	Fracturas de Junta	2	Alta
73.22	8.813	7315	12.171786	-85.7787539	Fracturas de Junta	1	Alta
73.24	8.833	7319	12.171846	-85.7785832	Fracturas de Junta	5	Alta
73.245	8.838	7320	12.1718596	-85.7785403	Fracturas de Junta	4	Media
73.26	8.853	7323	12.1719047	-85.7784095	Fracturas de Junta	3	Media
73.69	9.283	7409	12.1727739	-85.7745698	Fracturas de Junta	37	Alta
73.82	9.413	7435	12.1728238	-85.7733946	Fracturas de Junta	3	Media
73.86	9.453	7443	12.1728223	-85.7730309	Fracturas de Junta	26	Alta
73.975	9.568	7466	12.1728353	-85.7719912	Fracturas de Junta	14	Alta
74.085	9.678	7488	12.1728289	-85.7709786	Fracturas de Junta	10	Alta
74.12	9.713	7495	12.1728318	-85.7706519	Fracturas de Junta	5	Media

PKM _km_	Sub PKM _km_	Foto_ grama	Latitud _grados_	Longitud _grados_	Tipo_de _Daño	Dimension (Losas)	Severidad
74.14	9.733	7499	12.172829	-85.7704688	Fracturas de Junta	7	Media
74.165	9.758	7504	12.1728342	-85.7702398	Fracturas de Junta	2	Baja
74.195	9.788	7510	12.1728374	-85.769963	Fracturas de Junta	6	Media
74.225	9.818	7516	12.1728455	-85.7696936	Fracturas de Junta	8	Alta
74.255	9.848	7522	12.1728598	-85.769428	Fracturas de Junta	3	Alta
74.27	9.863	7525	12.1728689	-85.7692951	Fracturas de Junta	4	Media
74.29	9.883	7529	12.17288	-85.7691155	Fracturas de Junta	4	Alta
74.355	9.948	7542	12.1729338	-85.7685222	Fracturas de Junta	6	Alta
74.415	10.008	7554	12.1729909	-85.7679769	Fracturas de Junta	3	Alta
74.435	10.028	7558	12.1730067	-85.7677947	Fracturas de Junta	2	Media
74.5	10.093	7571	12.1730532	-85.7672035	Fracturas de Junta	2	Media
75.615	11.208	7794	12.1729956	-85.7570424	Fracturas de Junta	3	Media
75.735	11.328	7818	12.1730325	-85.7559675	Fracturas de Junta	2	Alta
75.935	11.528	7858	12.1732152	-85.7541371	Fracturas de Junta	28	Alta
75.975	11.568	7866	12.1732554	-85.7537724	Fracturas de Junta	5	Media
76.055	11.648	7882	12.1733463	-85.7530477	Fracturas de Junta	7	Media
76.09	11.683	7889	12.1733855	-85.7527283	Fracturas de Junta	5	Media
76.135	11.728	7898	12.1734442	-85.7523307	Fracturas de Junta	10	Alta
76.175	11.768	7906	12.1734988	-85.751973	Fracturas de Junta	7	Media
76.2	11.793	7911	12.1735357	-85.7517415	Fracturas de Junta	31	Alta
76.595	12.188	7990	12.1742738	-85.7481943	Fracturas de Junta	2	Media
76.705	12.298	8012	12.1745373	-85.7472366	Fracturas de Junta	16	Alta
76.75	12.343	8021	12.174642	-85.7468364	Fracturas de Junta	5	Alta

PKM _km_	Sub PKM _km_	Foto_ grama	Latitud _grados_	Longitud _grados_	Tipo_de _Daño	Dimension (Losas)	Severidad
76.77	12.363	8025	12.1746841	-85.7466566	Fracturas de Junta	10	Alta
76.825	12.418	8036	12.1748091	-85.7461678	Fracturas de Junta	3	Media
76.85	12.443	8041	12.1748683	-85.7459507	Fracturas de Junta	5	Alta
76.86	12.453	8043	12.1748908	-85.7458634	Fracturas de Junta	13	Alta
76.87	12.463	8045	12.1749128	-85.7457754	Fracturas de Junta	14	Alta
77.055	12.648	8082	12.1750757	-85.7441011	Fracturas de Junta	16	Alta
77.245	12.838	8120	12.1754	-85.7424275	Fracturas de Junta	3	Media
77.26	12.853	8123	12.1754889	-85.7423256	Fracturas de Junta	2	Media
77.285	12.878	8128	12.1756514	-85.7421653	Fracturas de Junta	4	Media
77.35	12.943	8141	12.1761185	-85.7417486	Fracturas de Junta	10	Alta
77.44	13.033	8159	12.1765447	-85.7410984	Fracturas de Junta	12	Alta
77.85	13.443	8241	12.178064	-85.7377264	Fracturas de Junta	3	Media
77.875	13.468	8246	12.1781702	-85.7375245	Fracturas de Junta	9	Alta
77.94	13.533	8259	12.1784965	-85.7370305	Fracturas de Junta	6	Media
78.235	13.828	8318	12.1799067	-85.7347383	Fracturas de Junta	46	Alta
78.565	14.158	8384	12.1810328	-85.7319507	Fracturas de Junta	5	Media
78.62	14.213	8395	12.1812453	-85.7315033	Fracturas de Junta	16	Alta
78.745	14.338	8420	12.1822496	-85.7311369	Fracturas de Junta	5	Alta
78.785	14.378	8428	12.1826131	-85.7311936	Fracturas de Junta	2	Media
78.85	14.443	8441	12.1831992	-85.7312247	Fracturas de Junta	2	Alta
78.88	14.473	8447	12.1834667	-85.7311934	Fracturas de Junta	8	Alta
79.04	14.633	8479	12.1846965	-85.7305082	Fracturas de Junta	19	Alta
79.925	15.518	8656	12.1886301	-85.7236636	Fracturas de Junta	7	Alta

PKM _km_	Sub PKM _km_	Foto_ grama	Latitud _grados_	Longitud _grados_	Tipo_de _Daño	Dimension (Losas)	Severidad
80.095	15.688	8690	12.1892261	-85.7221956	Fracturas de Junta	10	Alta
80.15	15.743	8701	12.1892361	-85.7216822	Fracturas de Junta	4	Alta
80.705	16.298	8812	12.1892333	-85.7166709	Fracturas de Junta	9	Media
80.75	16.343	8821	12.1892285	-85.7162492	Fracturas de Junta	3	Alta
81.115	16.708	8894	12.1891772	-85.7129402	Fracturas de Junta	25	Alta
81.2	16.793	8911	12.1891342	-85.7121663	Fracturas de Junta	6	Alta
81.225	16.818	8916	12.1890974	-85.7119329	Fracturas de Junta	3	Media
81.23	16.823	8917	12.1890899	-85.7118861	Fracturas de Junta	6	Media
81.26	16.853	8923	12.1890383	-85.7116127	Fracturas de Junta	2	Media
81.6	17.193	8991	12.1887123	-85.7085424	Fracturas de Junta	4	Media
86.79	22.383	10029	12.2046096	-85.6706633	Fracturas de Junta	2	Media
87.475	23.068	10166	12.2105032	-85.6688666	Fracturas de Junta	4	Alta
88.615	24.208	10394	12.2190948	-85.6638037	Fracturas de Junta	4	Media
88.645	24.238	10400	12.2192256	-85.663559	Fracturas de Junta	4	Alta
88.68	24.273	10407	12.2193751	-85.6632723	Fracturas de Junta	7	Media
89	24.593	10471	12.2203605	-85.660499	Fracturas de Junta	10	Media
89.39	24.983	10549	12.2220595	-85.657412	Fracturas de Junta	10	Alta
90.42	26.013	10755	12.2301523	-85.6533178	Fracturas de Junta	2	Media
90.425	26.018	10756	12.2301774	-85.653281	Fracturas de Junta	2	Media
90.48	26.073	10767	12.230526	-85.6529404	Fracturas de Junta	3	Alta
91.09	26.683	10889	12.2302398	-85.6478476	Fracturas de Junta	2	Media
91.23	26.823	10917	12.2305904	-85.6466272	Fracturas de Junta	2	Media

PKM _km_	Sub PKM _km_	Foto_ grama	Latitud _grados_	Longitud _grados_	Tipo_de _Daño	Dimension (Losas)	Severidad
58.72	21.965	4415	12.1938788	-85.8511133	Grietas - PR55 - Losa Dividida	1	Alta
73.17	8.763	7305	12.1716358	-85.7791836	Grietas - PR55 - Losa Dividida	12	Alta
73.585	9.178	7388	12.1726483	-85.7755203	Grietas - PR55 - Losa Dividida	45	Alta
73.615	9.208	7394	12.1726943	-85.7752511	Grietas - PR55 - Losa Dividida	3	Media
73.665	9.258	7404	12.1727522	-85.7747987	Grietas - PR55 - Losa Dividida	2	Media
74.65	10.243	7601	12.1731581	-85.7658326	Grietas - PR55 - Losa Dividida	2	Alta
74.685	10.278	7608	12.1731623	-85.7655095	Grietas - PR55 - Losa Dividida	3	Alta
74.705	10.298	7612	12.1731637	-85.7653299	Grietas - PR55 - Losa Dividida	3	Media
76.755	12.348	8022	12.1746533	-85.7467917	Grietas - PR55 - Losa Dividida	1	Alta
77.365	12.958	8144	12.1762095	-85.7416544	Grietas - PR55 - Losa Dividida	1	Alta
78.41	14.003	8353	12.1805327	-85.733296	Grietas - PR55 - Losa Dividida	2	Alta
80.49	16.083	8769	12.1892589	-85.7186294	Grietas - PR55 - Losa Dividida	1	Media
80.755	16.348	8822	12.1892286	-85.7162031	Grietas - PR55 - Losa Dividida	3	Media
90.465	26.058	10764	12.2304115	-85.6530215	Grietas - PR55 - Losa Dividida	12	Alta
58.23	21.475	4317	12.1974143	-85.8537254	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	7	Alta

PKM _km_	Sub PKM _km_	Foto_ grama	Latitud _grados_	Longitud _grados_	Tipo_de _Daño	Dimension (Losas)	Severidad
58.65	21.895	4401	12.1943563	-85.8515487	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	3	Alta
58.655	21.9	4402	12.194323	-85.8515171	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	4	Alta
58.665	21.91	4404	12.1942522	-85.8514568	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	8	Alta
58.675	21.92	4406	12.1941861	-85.851395	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	8	Alta
58.685	21.93	4408	12.1941162	-85.85133	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	6	Media
58.7	21.945	4411	12.1940165	-85.8512345	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	7	Alta
58.71	21.955	4413	12.1939473	-85.851173	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	9	Alta
58.725	21.97	4416	12.1938455	-85.851084	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	8	Alta
58.745	21.99	4420	12.1937148	-85.8509645	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	28	Alta
61.82	25.065	5035	12.1680686	-85.8530659	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	2	Baja
68.215	3.808	6314	12.1584861	-85.8213526	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	1	Media
68.945	4.538	6460	12.1609678	-85.8154685	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	3	Media
69.915	5.508	6654	12.1616326	-85.8068153	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	3	Media
72.645	8.238	7200	12.1704984	-85.7838033	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	40	Alta
72.93	8.523	7257	12.1709695	-85.7812582	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	7	Media

PKM _km_	Sub PKM _km_	Foto_ grama	Latitud _grados_	Longitud _grados_	Tipo_de _Daño	Dimension (Losas)	Severidad
72.965	8.558	7264	12.1710658	-85.7809556	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	2	Media
73.225	8.818	7316	12.1718018	-85.7787114	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	3	Media
73.475	9.068	7366	12.1724536	-85.77651	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	5	Alta
73.52	9.113	7375	12.1725359	-85.7761063	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	3	Alta
74.18	9.773	7507	12.1728372	-85.7701036	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	6	Media
75.945	11.538	7860	12.1732243	-85.754044	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	5	Media
76.005	11.598	7872	12.1732915	-85.7535013	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	6	Alta
76.08	11.673	7887	12.1733752	-85.7528201	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	5	Media
76.115	11.708	7894	12.1734145	-85.7525042	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	7	Media
76.81	12.403	8033	12.1747718	-85.7463004	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	2	Media
76.885	12.478	8048	12.1749462	-85.7456436	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	4	Media
76.895	12.488	8050	12.1749697	-85.7455518	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	2	Alta
76.905	12.498	8052	12.1749897	-85.7454624	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	10	Alta
76.92	12.513	8055	12.1750161	-85.7453276	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	4	Media
76.93	12.523	8057	12.1750316	-85.7452365	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	4	Media

PKM _km_	Sub PKM _km_	Foto_ grama	Latitud _grados_	Longitud _grados_	Tipo_de _Daño	Dimension (Losas)	Severidad
76.955	12.548	8062	12.1750613	-85.7450118	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	4	Alta
77.33	12.923	8137	12.1759896	-85.7418613	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	1	Media
77.335	12.928	8138	12.1760242	-85.7418326	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	2	Media
77.345	12.938	8140	12.1760871	-85.7417784	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	3	Alta
77.37	12.963	8145	12.1762349	-85.7416197	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	7	Alta
77.87	13.463	8245	12.1781473	-85.7375645	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	2	Media
78.025	13.618	8276	12.1789626	-85.7364037	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	1	Alta
78.72	14.313	8415	12.1820262	-85.7311241	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	28	Media
78.84	14.433	8439	12.1831107	-85.7312326	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	1	Alta
79.205	14.798	8512	12.1856325	-85.7293413	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	5	Media
79.21	14.803	8513	12.1856549	-85.7293004	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	6	Media
79.895	15.488	8650	12.1885177	-85.7239118	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	12	Alta
79.91	15.503	8653	12.1885774	-85.7237899	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	12	Alta
79.93	15.523	8657	12.1886471	-85.7236213	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	3	Media
80.745	16.338	8820	12.189228	-85.7162964	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	4	Alta

PKM _km_	Sub PKM _km_	Foto_ grama	Latitud _grados_	Longitud _grados_	Tipo_de _Daño	Dimension (Losas)	Severidad
80.76	16.353	8823	12.189228	-85.7161587	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	6	Media
80.765	16.358	8824	12.1892274	-85.7161142	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	5	Media
81.61	17.203	8993	12.1887066	-85.7084514	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	8	Media
84.275	19.868	9526	12.1968038	-85.687274	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	7	Alta
85.315	20.908	9734	12.1967119	-85.6778162	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	2	Media
85.84	21.433	9839	12.1964047	-85.6731393	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	10	Media
90.875	26.468	10846	12.2306538	-85.649737	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	2	Media
91.25	26.843	10921	12.2306957	-85.6464751	Lineal (Long.,Transv. o Diagonal)	8	Media

Fuente: Exportado de Hawkeye Processing Toolkit (FOMAV, 2023).

ANEXO IV. Índice de Regularidad Internacional cada 5 metros en todo el tramo.

Tabla 37. Interpretación por los niveles de IRI obtenidos.

Estación	Promedio de IRI	Estación	Promedio de IRI
58+055	2.18	60+455	2.02
58+155	2.16	60+555	2.34
58+255	2.25	60+655	2.41
58+355	2.38	60+755	2.05
58+455	2.09	60+855	2.18
58+555	1.83	60+955	2.15
58+655	2.09	61+055	2.36
58+755	2.36	61+155	2.33
58+855	2.25	61+255	2.19
58+955	2.12	61+355	2.2
59+055	1.92	61+455	2.11
59+155	2	61+555	2.76
59+255	2.51	61+655	2.85
59+355	2.55	61+755	2.33
59+455	2.26	61+855	2.91
59+555	2.16	61+955	2.39
59+655	2.13	62+055	2.15
59+755	2.97	62+155	2.34
59+855	2.62	62+255	2.19
59+955	2.23	62+355	2.06
60+055	2.17	62+455	2.4
60+155	1.96	62+555	2.69
60+255	2.11	62+655	2.26
63+055	2.25	65+707	2.57

Estación	Promedio de IRI	Estación	Promedio de IRI
63+155	2.67	65+807	2.71
63+255	2.37	65+907	2.36
63+355	2.22	66+007	2.51
63+455	2.19	66+107	3.69
63+555	2.74	66+207	2.23
63+655	3.07	66+307	2.31
63+755	2.38	66+407	2.52
63+855	2.71	66+507	2.56
63+955	2.16	66+607	2.29
64+055	2.06	66+707	2.08
64+155	2.44	66+807	2.2
64+255	2.44	66+907	2.52
64+355	1.92	67+007	2.11
64+407	3.28	67+107	2.37
64+507	4.23	67+207	2.19
64+607	4.12	67+307	2.11
64+707	4.16	67+407	2.32
64+807	2.89	67+507	2.52
64+907	2.52	67+607	2.45
65+007	2.35	67+707	2.17
65+107	1.95	67+807	2.09
65+207	2.38	67+907	2.52
65+307	2.9	68+007	2.66
65+407	2.64	68+107	2.57
65+507	2.31	68+207	2.61
65+607	2.74	68+307	2.42
68+407	2.07	71+107	2.53
68+507	2.01	71+207	2.55

Estación	Promedio de IRI	Estación	Promedio de IRI
68+607	2.82	71+307	1.97
68+707	2.58	71+407	2.39
68+807	3.07	71+507	2
68+907	3.67	71+607	2
69+007	3.93	71+707	1.87
69+107	2.84	71+807	2.34
69+207	2.5	71+907	1.82
69+307	2.2	72+007	2.36
69+407	2.4	72+107	1.87
69+507	1.97	72+207	1.99
69+607	2.25	72+307	1.85
69+707	1.9	72+407	1.9
69+807	2.49	72+507	2.46
69+907	2.49	72+607	2.73
70+007	2.4	72+707	2.06
70+107	1.86	72+807	2.07
70+207	2.05	72+907	2.09
70+307	2.33	73+007	2.15
70+407	1.88	73+107	2.03
70+507	2.12	73+207	2.13
70+607	2.53	73+307	2.62
70+707	2.13	73+407	2.97
70+807	2.56	73+507	2.77
70+907	2.38	73+607	2.89
71+007	1.82	73+707	3.39
73+807	3.16	76+507	2.61
73+907	2.96	76+607	2.32
74+007	3.28	76+707	2.84

Estación	Promedio de IRI	Estación	Promedio de IRI
74+107	3.39	76+807	2.81
74+207	3.35	76+907	3.55
74+307	2.86	77+007	3.47
74+407	2.78	77+107	2.87
74+507	3.15	77+207	3.03
74+607	2.77	77+307	3.62
74+707	3.07	77+407	3.88
74+807	2.64	77+507	2.4
74+907	3.21	77+607	2
75+007	2.74	77+707	2.29
75+107	3.08	77+807	3.11
75+207	3.03	77+907	2.61
75+307	3.12	78+007	2.85
75+407	3.38	78+107	2.71
75+507	2.95	78+207	3.12
75+607	2.76	78+307	3.01
75+707	2.72	78+407	2.57
75+807	2.7	78+507	3.14
75+907	3.15	78+607	2.73
76+007	3.41	78+707	3.85
76+107	3.17	78+807	3.32
76+207	2.93	78+907	3.13
76+307	2.86	79+007	2.76
76+407	2.93	79+107	2.86
79+207	3.39	81+907	2.12
79+307	2.39	82+007	2.54
79+407	2.84	82+107	2.45
79+507	3.19	82+207	2.5

Estación	Promedio de IRI	Estación	Promedio de IRI
79+607	3.05	82+307	2.18
79+707	3.31	82+407	2.37
79+807	4.04	82+507	2.34
79+907	2.95	82+607	2.33
80+007	3.04	82+707	2.57
80+107	2.79	82+807	2.25
80+207	4.54	82+907	2.33
80+307	2.62	83+007	2.42
80+407	3.48	83+107	2.63
80+507	3.44	83+207	2.49
80+607	3.66	83+307	2.38
80+707	3.85	83+407	2.5
80+807	3.96	83+507	2.42
80+907	3.46	83+607	2.37
81+007	3.55	83+707	2.36
81+107	2.39	83+807	2.37
81+207	2.89	83+907	2.1
81+307	2.91	84+007	2.08
81+407	2.19	84+107	2.24
81+507	2.16	84+207	2.78
81+607	2.75	84+307	2.52
81+707	2.37	84+407	2.14
81+807	2.67	84+507	2.15
84+607	2.2	87+307	1.92
84+707	2.6	87+407	2.08
84+807	2.14	87+507	3.06
84+907	2.12	87+607	2.13
85+007	2.23	87+707	2.08

Estación	Promedio de IRI	Estación	Promedio de IRI
85+107	2.06	87+807	2.18
85+207	2.29	87+907	1.87
85+307	2.26	88+007	1.93
85+407	1.95	88+107	2
85+507	3.16	88+207	1.97
85+607	2.42	88+307	1.9
85+707	2.89	88+407	2.56
85+807	2.74	88+507	2.08
85+907	2.67	88+607	3.51
86+007	2.27	88+707	3.64
86+107	2.37	88+807	4.79
86+207	2.62	88+907	3.9
86+307	3.02	89+007	3.55
86+407	2.31	89+107	4.61
86+507	2.98	89+207	3.89
86+607	2.23	89+307	3.37
86+707	1.88	89+407	2.86
86+807	2.27	89+507	2.98
86+907	2.35	89+607	3.02
87+007	2.57	89+707	2.14
87+107	2.27	89+807	2.15
87+207	2.35	89+907	2.44
90+007	2.24	90+807	2.44
90+107	2.39	90+907	2.29
90+207	2.63	91+007	2.38
90+307	3.24	91+107	2.66
90+407	2.53	91+207	2.63
90+507	3.28	91+307	2.66

Estación	Promedio de IRI	Estación	Promedio de IRI
90+607	2.96	91+383	3.03
90+707	3.17	91+483	3.39

Fuente: Elaboración propia

ANEXO V. Resultados de ensayo de transferencia de carga cada 300 metros en todo el tramo

Tabla 38: Porcentaje de transferencia de carga por estación.

Punto kilometrico	% TRANSF. CARGA	Punto kilometrico	% TRANSF. CARGA	Punto kilometrico	% TRANSF. CARGA
58.2012195	96.56%	67.5011505	100.00%	73.4993097	89.84%
58.5010354	99.98%	67.6502531	98.65%	73.6518638	93.47%
58.8496318	97.74%	67.8018868	93.41%	73.8006213	91.08%
59.100092	100.00%	67.9479982	94.22%	73.9491486	100.00%
59.4019788	100.00%	68.1015877	92.68%	74.1017027	92.91%
59.7011045	99.75%	68.2495398	96.42%	74.2486194	90.59%
60.0006903	98.58%	68.4028992	91.66%	74.4014036	96.65%
60.3016567	100.00%	68.5506213	97.41%	74.5497009	98.54%
60.6007823	96.32%	68.7001841	100.00%	74.6990336	88.85%
60.9003682	98.32%	68.8487115	98.55%	74.8508974	94.55%
61.2008744	98.47%	69.1044639	100.00%	75.0003451	91.93%
61.5002301	100.00%	69.1482973	97.67%	75.1484123	92.99%
61.8005062	100.00%	69.3006213	90.72%	75.2997009	90.38%
61.8005062	100.00%	69.4506443	98.36%	75.4492637	91.87%
62.0997469	100.00%	69.6010124	88.90%	75.6008974	88.10%
62.4010584	98.27%	69.9002531	81.17%	75.7485044	96.59%
62.6997239	98.01%	70.0490106	90.28%	75.9060055	98.20%
63.0006903	100.00%	70.2004142	93.25%	76.0494708	90.75%
63.3022319	99.50%	70.3481362	91.63%	76.2002991	100.00%
63.6017027	100.00%	70.5005752	100.00%	76.3490566	97.04%
63.9017487	98.69%	70.5005752	94.65%	76.4997699	97.11%
64.2014496	99.12%	70.6494478	95.72%	76.6478371	90.68%
64.3503221	96.67%	70.8010815	89.00%	76.8010815	92.08%
64.6044639	97.81%	70.9468477	100.00%	76.9509894	90.80%
64.8511275	98.34%	71.1006673	100.00%	77.1006673	100.00%
64.9494938	99.18%	71.2482743	89.57%	77.4012885	100.00%
65.1010124	99.48%	71.4001381	100.00%	77.7021399	89.95%
65.2490796	100.00%	71.5497009	93.98%	77.8508974	90.31%
65.4018638	96.85%	71.7012195	100.00%	78.0017257	90.08%
65.5495858	100.00%	71.8511275	88.03%	78.1502531	91.85%
65.6978831	97.73%	72.0003451	98.73%	78.2994708	96.63%
66.0006903	96.13%	72.1487575	91.68%	78.4498389	95.86%
66.0097791	100.00%	72.3008514	100.00%	78.6005522	93.60%

Punto kilometrico	% TRANSF. CARGA	Punto kilometrico	% TRANSF. CARGA	Punto kilometrico	% TRANSF. CARGA
66.3011965	100.00%	72.4511045	90.94%	78.749885	93.69%
66.4514496	100.00%	72.602393	95.79%	78.900023	94.13%
66.6012425	100.00%	72.7485044	93.27%	79.0490106	88.49%
66.7506903	100.00%	72.9018638	100.00%	79.200069	96.37%
66.8989876	98.63%	73.0494708	93.86%	79.3414634	100.00%
67.0493557	98.15%	73.2005292	83.29%	79.5010354	93.68%
67.199954	98.71%	73.2005292	100.00%	79.650023	97.69%
67.3507823	100.00%	73.3485964	95.25%	79.7993557	100.00%
79.9496088	90.72%	83.9997699	99.60%	87.8995628	97.10%
80.0991717	100.00%	84.1491026	94.35%	88.0508514	97.51%
80.1021629	97.96%	84.2993557	98.82%	88.2005292	95.07%
80.4011735	97.02%	84.4490336	95.00%	88.3531983	94.82%
80.5502761	96.98%	84.6013576	100.00%	88.4987345	98.64%
80.7007593	96.73%	84.7504602	97.42%	88.6504832	100.00%
80.8497469	100.00%	84.8991026	98.95%	88.8006213	97.15%
81.0040267	94.35%	85.050046	92.59%	88.950069	90.82%
81.1493327	91.46%	85.2007593	94.92%	89.2005292	85.01%
81.3017717	97.84%	85.3495168	97.09%	89.25	99.85%
81.4502991	98.17%	85.5002301	99.14%	89.4205016	98.53%
81.6005522	91.66%	85.6492177	99.37%	89.5492407	100.00%
81.749885	97.49%	85.8015416	98.83%	89.7002991	98.19%
81.8995628	96.28%	85.9491486	93.09%	89.8492867	91.56%
81.8995628	87.93%	86.1006673	100.00%	89.999885	100.00%
82.0494708	94.29%	86.2514956	97.60%	90.1507133	94.04%
82.1982283	88.98%	86.2514956	95.82%	90.3008514	100.00%
82.3490566	94.81%	86.4003682	99.56%	90.599977	97.90%
82.5014956	96.67%	86.5501611	100.00%	90.7504602	100.00%
82.8001611	92.31%	86.6979982	95.78%	90.9011735	92.98%
82.9488035	89.75%	86.8492867	99.19%	91.0502761	91.76%
83.1020479	94.00%	87.0012655	100.00%	91.1994938	93.81%
83.2497699	96.09%	87.1507133	95.94%	91.3490566	98.10%
83.4007133	90.74%	87.2993557	98.43%	91.4955131	75.70%
83.5498159	97.27%	87.3992177	97.89%	91.4955131	83.03%
83.7004142	94.17%	87.6008974	92.68%		
83.8484814	100.00%	87.7494248	98.95%		
83.8484814	95.94%	87.8995628	98.39%		

Fuente: Elaboración propia.