



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Maestría en Ingeniería Vial

**OPTIMIZACIÓN DE LA PLANIFICACIÓN PARA EL MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS  
FLEXIBLES A TRAVÉS DE LA RELACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO  
(PCI) Y COSTO EN GUATEMALA**

**Ing. Eduardo Enrique Camus Waessle**

Asesorado por el Msc. Ing. Ricardo Federico Bolaños Bendlfield

Guatemala, enero de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**OPTIMIZACIÓN DE LA PLANIFICACIÓN PARA EL MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS  
FLEXIBLES A TRAVÉS DE LA RELACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO  
(PCI) Y COSTO EN GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ING. EDUARDO ENRIQUE CAMUS WAESSLE**  
ASESORADO POR EL MSC. ING. RICARDO FEDERICO BOLAÑOS  
BENDLFELD

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**MAESTRO EN ARTES EN INGENIERÍA VIAL**

GUATEMALA, ENERO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE DEFENSA**

DECANA	Mtra. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
DIRECTOR	Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Armando Fuentes Roca
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Carlos Arnoldo Morales Rosales
SECRETARIO	Mtro. Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **OPTIMIZACIÓN DE LA PLANIFICACIÓN PARA EL MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES A TRAVÉS DE LA RELACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI) Y COSTO EN GUATEMALA**

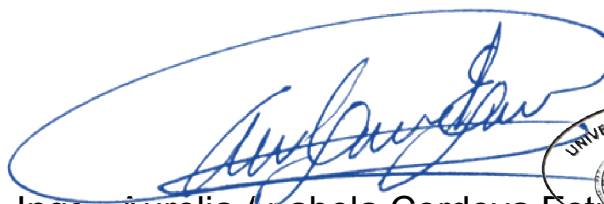
Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 3 de noviembre de 2020.


**Ing. Enrique Eduardo Camus Waessle**

LNG.DECANATO.OI.091.2023

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **OPTIMIZACIÓN DE LA PLANIFICACIÓN PARA EL MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES A TRAVÉS DE LA RELACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI) Y COSTO EN GUATEMALA**, presentado por: **Ing. Eduardo Enrique Camus Waessle**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Ingeniería vial después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada  
Decana



Guatemala, enero de 2023

AACE/gaoc



**Guatemala, enero de 2023**

LNG.EEP.OI.091.2023

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

**“OPTIMIZACIÓN DE LA PLANIFICACIÓN PARA EL MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES A TRAVÉS DE LA RELACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI) Y COSTO EN GUATEMALA”**

presentado por **Ing. Eduardo Enrique Camus Waessle** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Ingeniería vial** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

**Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí**

**Director**

**Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería**





Guatemala, 5 de julio de 2022

MSc. Ing Edgar Álvarez Cotí  
Director, Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Presente

Por este medio informamos a usted, que se ha revisado y APROBADO la tesis presentada graduación titulado: **“OPTIMIZACION DE LA PLANIFICACION PARA EL MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES A TRAVÉS DE LA RELACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO (PCI) Y COSTO EN GUATEMALA”** del estudiante Eduardo Enrique Camus Waessle, quien se identifica con numero de carné 200570006, del programa de Maestría en Ingeniería Vial.

Con base en la evaluación realizada, se hace constar que se ha evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014.

Por lo anterior, se entrega con la presente, la hoja de evaluación aprobada por el Revisor y toda la documentación administrativa de respaldo, para su aprobación correspondiente por parte de la Escuela de Estudios de Postgrado.

Sin otro particular

Vo. Bo. Msc. Ing. Armando Fuentes Roca  
Coordinador Área Ingeniería Vial  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería


Guatemala, 17 junio del 2022

Maestro  
Edgar Darío Álvarez Cotí  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
USAC – Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Mtro. Álvarez:

En mi calidad como Asesor del Ingeniero Civil **Eduardo Enrique Camus Waessle** quien se identifica con el Carnet 200570006 y Registro Académico 999002267 procedo a dar mi aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado: **“OPTIMIZACIÓN DE LA PLANIFICACIÓN PARA EL MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES A TRAVÉS DE LA RELACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI) Y COSTO EN GUATEMALA”** quien se encuentra en el programa de Maestría en Artes en Ingeniería Vial de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos.

Atentamente,

  
Msc. Ing. Ricardo Federico Bolaños Bendfeldt.  
Asesor  
Colegiado No. 1629

**Federico Bolaños Bendfeldt**  
**INGENIERO CIVIL**  
**COLEGIADO 1629**



Guatemala, 17 junio del 2,022

Maestro  
Edgar Darío Álvarez Coti  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
USAC – Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Mtro. Álvarez:

En mi calidad como Asesor del Ingeniero Civil **Eduardo Enrique Camus Waessle** quien se identifica con el Carnet 200570006 y Registro Académico 999002267 procedo a dar mi aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado: **“OPTIMIZACIÓN DE LA PLANIFICACIÓN PARA EL MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES A TRAVÉS DE LA RELACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI) Y COSTO EN GUATEMALA”** quien se encuentra en el programa de Maestría en Artes en Ingeniería Vial de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos.

Atentamente,



Msc. Ing. Ricardo Federico Bolaños Bendfeldt.  
Asesor  
Colegiado No. 1629

**Federico Bolaños Bendfeldt**  
**INGENIERO CIVIL**  
**COLEGIADO 1629**

## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Dios**

Con infinito agradecimiento.

### **Mis padres**

Juan Firmo Camus (q. e. p. d.) y Elfrida Teodolinda Waessle de Camus, porque su amor será siempre mi inspiración.

### **Mis hijos**

Lucas y Luciano Camus, por ser dos ángeles de mi vida.

### **Mis hermanos**

Luis, Gustavo y Juan Camus, por todo el apoyo que me brindaron.

### **Mis tíos**

Silvio, Walter, Marta, Juan Adolfo, Carlos Waessle, por ser una guía y apoyo en mi carrera.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser una importante influencia en mi carrera.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por el apoyo recibido en mi incorporación.
<b>Mis amigos de la Facultad</b>	Víctor Barrios, Hernán Monroy, Pablo Girón, Martha Luna y Dulce España.
<b>Gerente Gisystems</b>	Ing. Gabriel Darío Berditchevsky, por apoyar siempre el conocimiento y la superación personal.
<b>Compañeros</b>	Ing. Jorge Juárez e Ing. Paulo Ozaeta, por su ayuda y por ser unos grandes amigos.
<b>Asesor</b>	Ing. Federico Bolaños, por su gran apoyo y asesoría para la realización de este trabajo.
<b>Compañera de vida</b>	Lcda. Carolina Elizabeth Solís, por estar ahí y apoyarme siempre.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
LISTA DE SÍMBOLOS .....	V
GLOSARIO .....	VII
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO .....	XIX
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XXI
OBJETIVOS.....	XXIII
INTRODUCCIÓN .....	XXV
ANTECEDENTES.....	XXVII
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Generalidades .....	1
1.2. Fase 1: evaluación del PCI de pavimentos flexibles mecánicos .....	2
1.2.1. Determinación de las unidades de muestreo.....	4
1.2.2. Selección de unidades de muestreo adicionales .....	6
1.2.3. Evaluación de la condición del pavimento. ....	6
1.2.4. Cálculo del valor deducido, deducido corregido y PCI.....	7
1.3. Fase 2: evaluación de las reparaciones a ejecutar.....	12
1.4. Fase 3: evaluación de los costos de las reparaciones a ejecutar y elaboración del modelo matemático.....	15
1.4.1. Costos de las reparaciones a ejecutar.....	15
2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	17

2.1.	Elaboración del modelo matemático entre el PCI y el costo de mantenimiento.....	17
2.1.1.	Determinación del índice de condición del pavimento.....	19
2.1.2.	Consideraciones generales .....	24
2.1.3.	Determinación de las reparaciones a realizar .....	26
2.1.4.	Determinación del costo final de las reparaciones a realizar.....	58
2.1.5.	Determinación del modelo matemático .....	68
3.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	75
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	77
	CONCLUSIONES.....	81
	RECOMENDACIONES .....	83
	REFERENCIAS .....	85

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Gráfica para la determinación del valor deducido del daño.....	7
2.	Gráfica para la determinación del valor deducido corregido.....	10
3.	Relación entre condición de pavimento y tipos de tratamiento.....	13
4.	Levantamiento de daños en rutas del departamento de Guatemala .....	18
5.	Levantamiento de daños en rutas del departamento de Totonicapán ....	19
6.	Aplicativo móvil para levantamiento en campo de los daños .....	20
7.	Gráfico para determinar el valor deducido del daño bache .....	23
8.	Mapa de ubicación de los tramos considerados.....	25
9.	Curva de deterioro del pavimento .....	57
10.	Grafica de relación costo-PCI.....	69
11.	Grafica de relación costo-PCI (curva polinómica grado 2) .....	70
12.	Grafica de relación costo-PCI (curva polinómica grado 3) .....	70
13.	Grafica de relación costo-PCI (curva polinómica grado 4) .....	71
14.	Grafica de relación costo-PCI (curva polinómica grado 6) .....	71
15.	Grafica de relación costo-PCI ( $Q/m^2$ - km) .....	78

### TABLAS

I.	Escala estándar de clasificación PCI .....	3
II.	Ejemplo de determinación de $m_i$ y el PCI de una muestra .....	9
III.	Formato de presentación de resultados del cálculo del PCI.....	22
IV.	Tramos analizados para la determinación del PCI .....	24

V.	Tipos de daños y trabajos de reparación requeridos de acuerdo a su severidad .....	26
VI.	Reparaciones a realizar para un PCI = 98 .....	29
VII.	Reparaciones a realizar para un PCI = 95 .....	30
VIII.	Reparaciones a realizar para un PCI = 91 .....	31
IX.	Reparaciones a realizar para un PCI = 90 .....	32
X.	Reparaciones a realizar para un PCI = 88 .....	34
XI.	Reparaciones a realizar para un PCI = 87 .....	36
XII.	Reparaciones a realizar para un PCI = 80 .....	37
XIII.	Reparaciones a realizar para un PCI = 71 .....	39
XIV.	Reparaciones a ejecutar para un PCI = 60 .....	41
XV.	Reparaciones a ejecutar para un PCI = 50 .....	43
XVI.	Reparaciones a ejecutar para un PCI = 40 .....	46
XVII.	Reparaciones a ejecutar para un PCI = 30 .....	52
XVIII.	Ejemplo de precio unitario .....	58
XIX.	Precios unitarios .....	60
XX.	Ejemplo de determinación de costo de un tramo con PCI=30 .....	61
XXI.	Costo de los trabajos a ejecutar de acuerdo al valor de PCI .....	67
XXII.	Cuadro resumen de los valores $R^2$ .....	72
XXIII.	Cuadro comparativo... ..	73

## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
gal	Galón
PCI	Índice de condición del pavimento
kg	Kilogramo
km	Kilómetro
m	Metro
m <sup>2</sup>	Metro cuadrado
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
mm	Milímetro





## **GLOSARIO**

<b>Ahuellamiento</b>	Depresión en la superficie del pavimento provocada por las huellas de las ruedas.
<b>Bache</b>	Desintegración total de la superficie de rodadura que puede extenderse a otras capas del pavimento, formando una cavidad de bordes y profundidades irregulares.
<b>Berma</b>	Espacio llano, cornisa, o barrera elevada que separa dos zonas, se utilizan para el control de la erosión y sedimentación mediante la reducción del índice de escorrentía superficial.
<b>Calzada</b>	Zona de la carretera destinada a la circulación de vehículos, con ancho suficiente para acomodar un cierto número de carriles para el movimiento de los mismos, excluyendo los hombros laterales.
<b>Cantidad o densidad del deterioro</b>	Es la relación de los daños medidos y la superficie de la muestra.
<b>Capa base</b>	Capa de espesor diseñado, constituyente de la estructura del pavimento, destinada fundamentalmente a distribuir y transmitir las cargas

originadas por el tránsito, a las capas subyacentes y sobre la cual se coloca la carpeta de rodadura.

<b>Capa subbase</b>	Capa de material especificado de espesor establecido según el valor soporte de la subrasante para sostener la capa de base superior.
<b>Carpeta asfáltica</b>	Sustancia de color negro que constituye la fracción más pesada del petróleo crudo y que se utiliza mezclada con arena o gravilla para pavimentar caminos.
<b>Carpeta de rodadura</b>	Parte superior de un pavimento, por lo general de pavimento bituminoso o rígido, que sostiene directamente la circulación vehicular.
<b>Clase de daño</b>	Es un catálogo de deterioros de los pavimentos flexibles.
<b>Coeficiente de determinación</b>	Valor usado en el contexto de un modelo estadístico cuyo principal propósito es predecir futuros resultados o probar una hipótesis determinando la calidad del modelo para replicar los resultados, y la proporción de variación de los resultados que puede explicarse por el modelo.
<b>Corrugación</b>	Serie de ondulaciones, en la carpeta de rodadura, constituidas por cimas y depresiones muy próximas que ocurren a intervalos bastante regulares,

usualmente a menos de 3.0 m a lo largo del pavimento.

**Daños por fisuras**

Hendiduras o aberturas no controladas que se presentan en el pavimento y afectan únicamente la superficie.

**Daños por grietas**

Hendiduras o aberturas no controladas que se presentan en el pavimento y afectan a todo el espesor de la capa estructural.

**Desintegración de bordes**

Destrucción progresiva de los bordes del pavimento por la acción del tránsito que se produce especialmente en pistas con hombros no pavimentados, en las que existe una significativa porción de vehículos que acceden del hombro al pavimento o en el sentido contrario.

**Desplazamiento**

Distorsiones de la superficie del pavimento por desplazamiento de la mezcla asfáltica, a veces acompañados por levantamientos de material o por desplazamiento de la capa asfáltica sobre la superficie subyacente, generalmente acompañada de un levantamiento hacia el eje de la carretera.

**Escarificado**

Movimiento de todo el material entre la superficie original y la parte superior del suelo que esté formada por un material aceptable para construcción.

<b>Estabilización de base con cemento</b>	Técnica cuyo fin es modificar las características de una base granular mediante la incorporación de cemento y agua, mejorando sus propiedades mecánicas a medida que el cemento se hidrata.
<b>Excavación no clasificada de préstamo</b>	Excavación de materiales provenientes de áreas ubicadas fuera de los límites de construcción o bancos de préstamo de un proyecto que se realiza cuando el material de los cortes no es suficiente para completar los rellenos y terraplenes de conformidad con los planos.
<b>Exudación</b>	Consiste en el afloramiento de un material bituminoso de la mezcla asfáltica a la superficie del pavimento, formando una película continua de ligante, creando una superficie brillante, reflectante, resbaladiza y pegajosa durante el tiempo cálido.
<b>Falla estructural</b>	Daño que comprometen la integridad del pavimento reduciendo su habilidad para soportar la carga.
<b>Falla funcional</b>	Daño que se relaciona principalmente con la calidad de la superficie de un pavimento, y afecta negativamente la serviciabilidad (confort y costo de operación del usuario) y la seguridad de circulación.
<b>Falla superficial</b>	Daños que afectan únicamente la superficie de la carpeta de rodadura de un pavimento reduciendo su

serviciabilidad, pero sin detrimento de su capacidad de carga.

**Fresado**

Operación de remoción de la capa superior de la superficie del pavimento para proporcionar una superficie uniforme de conformidad con las elevaciones y pendientes longitudinales y transversales establecidas en la sección típica.

**Grieta longitudinal**

Fracturación que se extiende a través de la superficie del pavimento, paralelamente al eje de la carretera, puede localizarse en las huellas de canalización de tránsito, en el eje o en los bordes del pavimento.

**Grietas de reflexión de junta**

Grietas que consisten en la propagación ascendente de las juntas del pavimento de concreto hacia la superficie asfáltica que se presentan en pavimentos mixtos constituidos por una superficie asfáltica sobre un pavimento de concreto con juntas.

**Grietas en bloque**

Serie de grietas interconectadas, en un pavimento flexible, que forman piezas aproximadamente rectangulares, de diámetro promedio mayor de 30 cm, con un área variable de 0,10 a 9,0 m<sup>2</sup>.

**Grietas parabólicas**

Serie de grietas en forma de media luna (o más precisamente de cuarto creciente) que apuntan en la dirección de las fuerzas de tracción de las ruedas sobre el pavimento.

<b>Grietas piel de cocodrilo</b>	Serie de grietas interconectadas, en un pavimento flexible, formando pequeños polígonos irregulares de ángulos agudos, generalmente con un diámetro promedio menor a 30 centímetros.
<b>Grietas transversales</b>	Fracturación de longitud variable que se extiende a través de la superficie del pavimento, formando un ángulo aproximadamente recto con el eje de la carretera.
<b>Hinchamiento</b>	Abultamiento o levantamiento localizado en la superficie del pavimento, generalmente en la forma de una onda que distorsiona el perfil de la carretera.
<b>Hombro</b>	Área de la carretera, contiguo y paralela a la carpeta o superficie de rodadura, que sirve de confinamiento a la capa de base y de zona de estacionamiento accidental de vehículos.
<b>Hundimiento</b>	Depresión o descenso de la superficie del pavimento en un área localizada debido a asentamientos de la fundación, deficiencias durante la construcción o falta de un continuo mantenimiento a los drenajes.
<b>Lechada asfáltica (<i>slurry seal</i>)</b>	Mezcla de agregados pétreos, emulsión asfáltica, agua y aditivos, que proporcionan una mezcla homogénea, que puede ser aplicada sobre un pavimento como un tratamiento de sellado con el fin de impermeabilizarla; proporcionando una textura

	resistente, antideslizante y adherida firmemente sobre la superficie.
<b>Mantenimiento periódico</b>	Abarca las obras que se repiten en periodos de más de un año, para mantener la vía a un nivel de servicio de regular a buen estado.
<b>Mantenimiento preventivo</b>	Consiste en actividades y obras de mantenimiento destinadas a prevenir fallas en la vía, antes de que ocurran.
<b>Modelo estadístico</b>	Ecuación matemática que reproduce los fenómenos observados de la forma más exacta posible tomando en consideración los datos suministrados y la influencia que el azar tiene en estas observaciones.
<b>Parche</b>	Área donde el pavimento original ha sido removido y reemplazado, ya sea con material similar o diferente, para reparar el pavimento existente.
<b>Parcheo</b>	Trabajo que consiste en reconstruir localmente la capa de rodadura en los pequeños deterioros que empiezan a formarse cuya degradación puntual así lo requiera y en general todos aquellos deterioros locales cuya evolución posterior pueda afectar la transitabilidad.
<b>Parcheo <i>full depth</i></b>	Trabajos de reparación que implican la reposición de la carpeta asfáltica en su totalidad y la base existente con el objeto de devolver la sustentación estructural



original de la carretera y para proporcionar el confort y la seguridad esperada.

***Pavement Condition Index***

El índice de condición del pavimento o PCI por sus siglas en inglés, es un índice numérico entre 0 y 100 que se utiliza para determinar la condición de un pavimento en función de la clase de daños que presenta, su cantidad o densidad y la severidad del mismo.

**Pavimento**

Estructura integral de las diferentes capas colocadas sobre la subrasante, destinadas a soportar el tránsito vehicular.

**Pavimento flexible**

Pavimento constituido por una o más capas asfálticas (carpetas o tratamientos superficiales) apoyadas sobre capas de base y subbase conformadas por materiales granulares, materiales corregidos o estabilizados con diversos agentes.

**Pavimentos rígidos**

Se integran por una capa (losa) de concreto de cemento portland que se apoya en una capa de base, constituida por grava; esta capa descansa en una capa de suelo compactado, llamada subrasante. La resistencia estructural depende principalmente de la losa de concreto.

<b>Pulimento de agregados</b>	Daño del pavimento que afecta la resistencia al deslizamiento y se presenta por la ausencia de agregados angulares o con caras planas.
<b>Rasante</b>	Trazo horizontal que determina el nivel superior que se proyecta mantener a lo largo de la carretera.
<b>Reciclado en frío</b>	Recuperación y reutilización de mezclas asfálticas en vías de bajo y mediano tráfico que se caracteriza por la utilización de una base asfáltica en frío, la cual debe ser protegida por un sello asfáltico, una lechada asfáltica o una capa de mezcla.
<b>Reconstrucción</b>	Trabajo que consiste en la remoción de capas y el reemplazo parcial o total del pavimento que se realizan cuando los daños son irreversibles.
<b>Rehabilitación</b>	Mejoramiento funcional o estructural del pavimento, que da lugar a una extensión de su vida de servicio, como provisión de una superficie de rodadura más cómoda y segura y a reducciones en los costos de operación.
<b>Riego de imprimación</b>	Aplicación de riego por aspersión de un producto asfáltico sobre una base previamente tratada, según sea necesario.
<b>Riego de liga</b>	Trabajo que consiste en la preparación y tratamiento de una superficie ya existente, bituminosa o de

concreto hidráulico, con material asfáltico con el objetivo de ligar la superficie existente y la nueva capa de rodadura.

**Sello superficial**

Tratamiento superficial consistente en la aplicación de una o varias capas de un ligante asfáltico sobre una superficie, complementada por una o varias extensiones de un agregado de granulometría definida.

**Severidad**

Es la condición o el estado avanzado de una de un daño en el pavimento flexible.

**Sobrecarpeta**

Colocación de una carpeta de mezcla asfáltica en frío, concreto asfáltico en caliente o concreto hidráulico, sobre una capa bituminosa de rodadura existente, la cual tiene un alto grado de deterioro que impide realizar labores de mantenimiento rutinario sobre la misma.

**Subrasante**

Capa de terreno de una carretera, que soporta la estructura del pavimento y que se extiende hasta una profundidad en que no le afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto.

**Tratamiento superficial**

Recubrimiento asfáltico delgado con espesor inferior a 40 milímetros, cuyas funciones principales son impermeabilizar la superficie evitando la filtración de agua pluvial a las capas del pavimento, ayudar a

recuperar y conservar la serviciabilidad de los pavimentos que presentan deterioros, mejorar la rugosidad de éstos, incrementar el confort y la seguridad de los usuarios.

**Valor deducido**

Factor de ponderación que indica en qué grado afecta a la condición del pavimento cada combinación de deterioro, nivel de severidad y densidad (cantidad).

**Valor deducido  
corregido**

Valor que representa a los valores deducidos de todas las muestras analizadas de un tramo específico, el cual es obtenido mediante un proceso iterativo.

**Vida útil**

Duración estimada que un objeto puede tener cumpliendo correctamente con la función para el cual ha sido creado.



## RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

La presente investigación plantea un modelo matemático que permite, a través del índice de condición del pavimento (PCI), determinar el costo del mantenimiento de un tramo carretero específico; esto proporcionará a las instituciones responsables de la conservación de la red vial, tener a priori un monto de inversión que será necesario invertir.

La conservación vial, se define como el conjunto de actividades que se ejecutan y las que se orientan a garantizar la vida útil de la red vial del país (Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda, 2020).

De allí la importancia de tener una herramienta con una base técnica que permita a las autoridades que manejan la planificación del mantenimiento, conocer con cierta precisión el costo que tendrá un determinado tramo carretero.

Dada esta problemática, surgió el interés de correlacionar el costo que significa devolver la transitabilidad adecuada a un tramo carretero con el daño que este presenta, pero a través de un método normado.

Un método muy utilizado para dimensionar la condición del pavimento es la determinación del índice de condición del pavimento, que es la metodología descrita en la norma ASTM D6433-18, la cual da una medida del estado en que se encuentra la carretera luego de su puesta en funcionamiento; este es un índice numérico que pondera desde cero (0) a cien (100) el estado de la condición de la superficie de rodadura de un pavimento, donde cero (0) es una carretera totalmente dañada y cien (100) una en óptimas condiciones.

Para llegar al modelo matemático que obtenido en este estudio se examinaron doce tramos con distintos PCI, a los cuales se les analizó y cuantifico los daños que presentan; paralelamente se elaboraron los precios unitarios con el propósito de que éstos permitan determinar el costo de las reparaciones.

Con estos dos datos, cantidades y precios unitarios, se determinó el costo que es necesario invertir en el mantenimiento de la rodadura de cada uno de los tramos estudiados, es decir, solo se tomó en cuenta los trabajos que son necesarios para reparar los daños enunciados en las normas, sin tener en cuenta trabajos adicionales como la reparación de drenajes o la construcción de muros, entre otros.

Posteriormente, con los datos obtenidos, se graficaron los resultados, determinando así el modelo matemático que se presenta.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

- Contexto general

Una carretera debe permitir que los vehículos transiten de manera cómoda y segura; por lo que requiere un mantenimiento adecuado, ya que la irregularidad superficial induce a vibraciones en los vehículos, provocando fatiga e inseguridad en los usuarios, y por ende un deterioro operacional de los automóviles.

Entre los componentes de un sistema de gestión de mantenimiento es importante contar con una base de datos del estado en que se encuentran las carreteras para brindar un buen nivel de servicio.

El uso de índices para medir la condición de los pavimentos de concreto asfáltico permite tener parámetros confiables que pueden ser utilizados por la institución que rige la conservación de las carreteras para determinar el tipo de mantenimiento a realizar y su costo, ayudando a que la inversión sea la más beneficiosa tanto para el estado como para los usuarios.

En Guatemala, la institución a cargo de la conservación de las carreteras es la Unidad Ejecutora de Conservación Vial (Covial), pero a lo largo tiempo se ha podido observar que la planificación se ha visto afectada por diversas razones, entre las que se pueden mencionar la injerencia política en las decisiones, restricciones presupuestarias que no permiten que se ejecuten todos los trabajos necesarios, el levantamiento superficial de los daños sin una base técnica que permita medir adecuadamente la condición de la carretera y la falta de una base de datos actualizada del estado de las carreteras, entre otros.



Las causas planteadas, permiten suponer que la institución no posee una herramienta o sistema técnico adecuado para la planificación, lo que provoca que la inversión en el mantenimiento de los pavimentos flexibles sea mala o insuficiente.

Una inadecuada planificación del mantenimiento provoca que la vida útil de los pavimentos sea reducida y que la inversión para recuperación de los mismos sea mayor, incluso antes de llegar a la edad diseñada, entre otras consecuencias, lo que afecta a la población en la zona de influencia de la carretera.

De acuerdo a lo indicado anteriormente se plantea las siguientes preguntas:

- Pregunta principal de la investigación

¿Es posible formular una metodología o herramienta técnica que permita determinar el costo de mantenimiento de un tramo carretero, con base a su PCI?

- Preguntas específicas
  - ¿Cómo se determinará el PCI de los tramos y bajo qué norma se realizará el estudio?
  - ¿Cuántas carreteras serán analizadas?
  - ¿Cómo se determinarán las reparaciones y los costos de éstas?
  - ¿Cómo se definirá la metodología a seguir?

## OBJETIVOS

- General

Determinar una metodología a través de un modelo matemático que vincule el PCI con el costo necesario para realizar las reparaciones de los daños que se presentan en las carreteras de pavimento flexible.

- Específicos

- Determinar mediante la norma ASTM D6433-18, el índice de condición del pavimento para conocer el estado actual de una muestra de tramos carreteros pavimentados.
- Analizar el PCI de 12 tramos carreteros de concreto asfáltico, que permitirá conocer el tipo de daño, severidad y densidad y de esta forma plantear qué tipo de intervención se requiere.
- Determinar con base a los resultados obtenidos del PCI y sus reparaciones el costo unitario de los renglones involucrados en el mantenimiento.
- Definir la relación entre el PCI y el costo, que se hará en base a los trabajos a ejecutar y sus costos, lo que permitirá realizar un modelo matemático que vincule el PCI y el costo de mantenimiento.



## INTRODUCCIÓN

La presente investigación tiene la finalidad de brindar una herramienta de cálculo que permita determinar el costo del mantenimiento vial en función del índice de condición del pavimento, basándose en argumentos técnicos y conceptos de reparaciones establecidos por normas propias de Guatemala y de otros países

Debido a que los tramos carreteros presentan diferentes anchos de sección, se determinó en el proceso de investigación que el modelo matemático adecuado, debía permitir obtener valores aproximados de costo por unidad de área y longitud (metro cuadrado/kilómetro).

La investigación se desarrolló de la siguiente manera:

En el capítulo 1, se describe el marco teórico de la investigación, donde se expone la metodología que indica la norma ASTM D6433-18 para realizar el muestreo de daños en campo y posteriormente el procedimiento iterativo que se realiza en gabinete para determinar el PCI del tramo.

Dentro de este capítulo también se abordan los procedimientos que se siguieron para determinar las reparaciones a realizar, de acuerdo a las referencias especializadas, para luego determinar los costos de las reparaciones.

El capítulo 2, comprende el desarrollo de la metodología para la obtención del modelo matemático, el cual se basa en valores estadísticos que permitan que sea lo más representativo posible.

El capítulo 3, comprende el análisis de los resultados, comparando los valores obtenidos con obras de mantenimiento ejecutadas o licitadas anteriormente.

El capítulo 4, comprende la discusión de los resultados y el análisis de factibilidad del uso del modelo matemático.

## **ANTECEDENTES**

A principios de la década de los noventa, la red vial pavimentada del país se encontraba severamente dañada; y, ante la imposibilidad de dar el mantenimiento adecuado y necesario, el gobierno de Guatemala a través del Ministerio de Comunicaciones, Transporte y Obras Públicas y Vivienda, crea el programa de mantenimiento de carreteras por contrato (Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda, 2020).

Posteriormente, el Congreso de la República mediante el Decreto 134-96 “Estableció el FONDO VIAL, creado con los recursos provenientes del impuesto recaudado por consumo de combustible superior, regular y diésel” (Decreto número 134-96, 1996, p. 2).

Con el programa de mantenimiento de las obras por contrato y con los fondos establecidos, el Ministerio se ve en la necesidad de crear una institución que controle los trabajos que se destinan al mantenimiento de la red vial; por lo que en el año 1998, a través del Acuerdo Gubernativo No. 736-98, “Crea y regula la Unidad de Conservación Vial, la que estará bajo la jurisdicción del Ministerio de Comunicaciones y tendrá a su cargo los fondos privativos y cualquier otro que se le asignen de conformidad con la ley” (Acuerdo Gubernativo No. 736-98, 1998, p. 1).

Desde esa fecha a la actualidad, la Unidad Ejecutora de Conservación Vial se encarga del mantenimiento de las carreteras de Guatemala, para lo cual realiza la planificación anual basándose en una cuantificación superficial de los

daños que presentan las carreteras pavimentadas (Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda, 2020).

Es decir que la institución no posee un método con base técnica para la planificación de los trabajos de mantenimiento, ya que no cuentan con una base de datos de los daños funcional y actualizada.

En virtud de que la red pavimentada de Guatemala en su gran mayoría es de concreto asfáltico, el presente estudio de investigación se centró en este tipo de superficie, analizando doce tramos en diferentes regiones del país.

La primera parte del estudio consiste en la determinación del índice de condición del pavimento, el cual constituye “La metodología más completa para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos, flexibles y rígidos, dentro de los modelos de gestión vial disponibles en la actualidad” (Vásquez, 2002, p. 2).

Esta metodología se basa específicamente en la ASTM D 6433-18, la cual fue desarrollada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos y establece los lineamientos a seguir para la determinación del PCI.

La norma indica que el deterioro de la estructura del pavimento está en función de tres factores: clase de daño, severidad y la cantidad o densidad de dicho deterioro; y, con base en estos factores, se determina un índice numérico (PCI) que pondera el estado de la condición de la superficie de rodadura de un pavimento desde cero a cien.

El segundo paso del estudio comprende la determinación del costo de mantenimiento con relación al PCI, utilizando como base las Especificaciones

Técnicas de Covial del año 2020 para poder definir qué tipo de trabajos se deben realizar para reparar los daños que presenta el tramo estudiado.

Una vez determinadas las reparaciones, se procede a la integración de precios unitarios, utilizando como apoyo las publicaciones especializadas para poder integrar los costos que implican el uso y clasificación de la maquinaria, mano de obra e insumos necesarios para la correcta ejecución del trabajo, incluyendo el costo indirecto, utilidad e impuestos.





## **1. MARCO TEÓRICO**

A continuación, se presentan algunas de las definiciones relacionadas con los componentes de un inventario vial mediante el método del índice de condición del pavimento, así como el análisis que debe realizarse para determinar las reparaciones y los costos del mantenimiento de una ruta pavimentada.

### **1.1. Generalidades**

Un pavimento flexible es una estructura compuesta por una serie de capas sobrepuestas, donde su capa final es de concreto asfáltico cuya superficie permite el rodamiento de los vehículos, admitiendo pequeñas deformaciones de las capas inferiores sin que su estructura se rompa (Pineda, 2015).

“Este tipo de estructura permite la mayor magnitud de deformación total en el punto de una carga de nueve mil libras con un rango promedio de entre cuarenta y ciento cincuenta centésimas de centímetro” (Méndez, 2019, p. 11).

“El pavimento flexible resulta más económico, en su construcción inicial, tiene un período de vida de entre 10 y 15 años, pero tiene la desventaja de requerir mantenimiento rutinario y periódico para cumplir con su vida útil” (Pineda, 2015, p. 15).

Un pavimento flexible se define como un conjunto de capas, denominado paquete estructural, el cual se compone de una carpeta de rodadura, la que es de concreto asfáltico, una base de material granular y una subbase, las que se

apoyan sobre una capa subrasante que debe cumplir con determinados requisitos.

Una de las principales funciones del pavimento es brindar una superficie de rodamiento uniforme, resistente a la acción del tránsito, al intemperismo y otros agentes perjudiciales, así como transmitir adecuadamente a la subrasante los esfuerzos producidos por las cargas impuestas por el tránsito (Pineda, 2015).

“En este sentido es importante tener presente que su estructura sufrirá - con el tiempo-daño y deterioro aun cuando sea adecuadamente diseñado y construido de acuerdo con todas las especificaciones y normas de calidad” (Jugo, 2005, p. 2).

Existen diversas metodologías para medir y cuantificar los daños en un pavimento flexible, desde una forma empírica, es decir que el análisis y su cuantificación se realizan de acuerdo a la experiencia de la persona que realiza el estudio o de una forma técnica siguiendo los lineamientos de una norma.

La evaluación de los daños en el pavimento se regirá por la norma ASTM D 6433, la cual que establece la metodología a seguir para la determinación del índice de condición del pavimento.

## **1.2. Fase 1: evaluación del PCI de pavimentos flexibles mecánicos**

La metodología del PCI tiene como objetivo evaluar y calificar los daños que se presentan en los pavimentos que sirven de superficie de rodadura en una carretera.

Según Vásquez (2002), “El índice de condición de un pavimento flexible está en función del tipo de daño, su severidad y la densidad del deterioro; y es un índice numérico que varía desde cero hasta cien” (p. 2).

En la tabla I se presenta la escala de clasificación de los pavimentos de acuerdo al valor del índice de condición del pavimento.

Tabla I. **Escala estándar de clasificación PCI**

PCI	Clasificación
100	Excelente
85	Muy Bueno
70	Bueno
55	Regular
40	Malo
25	Muy Malo
10	Fallado

Fuente: Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales (2020). *Procedimiento Estándar para la Inspección del Índice de Condición del Pavimento en Caminos y Estacionamientos*.

Según Panta (2017), mediante la inspección visual del tramo a evaluar se determina un inventario de fallas de acuerdo a los lineamientos que establece la norma, determinando la clase, severidad y cantidad de daño que presenta el sector evaluado.

Las fallas pueden ser de carácter superficial o estructural dependiendo del grado de severidad y evolución.

La norma ASTM D6433-18 describe los procedimientos para el registro de daños en pavimentos flexibles, los cuales se describen a continuación.

### **1.2.1. Determinación de las unidades de muestreo**

Cada tramo evaluado se divide en segmentos o unidades de muestra, cuyas dimensiones varían de conformidad con los tipos de vía y de la superficie de rodadura.

La norma ASTM D6433-18 (2020) establece cada unidad de muestra con un área dentro de un rango de  $230 \text{ m}^2 \pm 93 \text{ m}^2$ , y el número de unidades de muestreo se calcula de acuerdo a la ecuación 1:

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

En donde:

- n: número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.
- N: número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento.
- e: error admisible en el estimativo de PCI de la sección (e= 5 %).
- $\sigma$ : desviación estándar del PCI entre las unidades.

Por ejemplo, para determinar el número de unidades de muestreo de una carretera de 2.50 kilómetros, se deben establecer las dimensiones del área a analizar, por lo general una longitud de 40.00 metros multiplicado por el ancho de la carretera (6.0, 6.60 o 7.20 metros), se cumpliría con lo que la norma establece para el área de análisis ( $230 \text{ m}^2 \pm 93 \text{ m}^2$ ); y si además se asume una desviación estándar de 10, el número de unidades de muestreo será:

- $N = 2500.00 \text{ m} / 40.00 \text{ m} = 62.5.$
- $e = 5 \text{ \%}.$
- $\sigma = 10.$
- $n = 12.9$  que se aproxima al entero más próximo, por lo tanto,  $n = 13.$

Una vez determinado el número de muestras que se deben evaluar, la ubicación de la primera muestra se determina al azar y las demás se encuentran una distancia dada por la ecuación 2.

$$i = \frac{N}{n} \text{ (Ec. 2)}$$

En donde:

- $n$ : número mínimo de unidades para evaluar.
- $N$ : número total de unidades de muestreo disponible.
- $i$ : intervalo de muestreo, se redondea al número entero inferior.

El inicio se selecciona al azar entre la unidad de muestreo 1 y el intervalo del muestreo  $i$ ; por lo que siguiendo con el ejemplo anterior el valor de  $i$  será:

$$i = 62.5/13 = 4.8$$

El número mínimo de unidades se debe aproximar al entero menor, por lo que  $i = 4$ , es decir que la segunda muestra que se toma se encuentra a 160 m de la primera y así sucesivamente hasta alcanzar las 13 muestras obtenidas en el cálculo.

### **1.2.2. Selección de unidades de muestreo adicionales**

Al momento de realizar el registro y evaluación de los daños de las muestras, puede que exista un sector en mal estado que no pertenezca a las muestras preestablecidas, por lo que se deberán registrar los daños y se considerará como una unidad de muestreo adicional.

### **1.2.3. Evaluación de la condición del pavimento.**

Según Vásquez (2002), “El procedimiento varía de acuerdo con el tipo de superficie del pavimento que se inspecciona” (p. 6). Por lo que es necesario que el registro de los daños se realice de acuerdo a lo establecido en la norma para tener un PCI confiable.

La evaluación de la condición del pavimento incluye los aspectos siguientes:

- Equipo: “Odómetro manual para medir las longitudes y las áreas de los daños; regla y cinta métrica para establecer las profundidades de los ahuellamientos o depresiones; formato para el registro de daños del PCI” (Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales, 2020, p. 2).
- Procedimiento: en primer lugar y una vez ubicado en el sitio del muestreo se verifica que el área se encuentre dentro los límites establecidos por la norma, concluida esta fase, se procede a medir los daños, registrándolos en un formato previamente establecido, donde se anotará por separado cada uno de los daños de acuerdo a su severidad y cantidad (Vásquez, 2002).

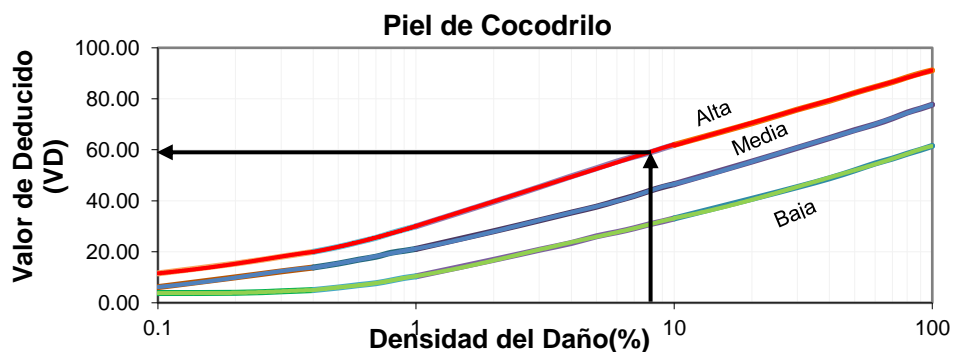
#### 1.2.4. Cálculo del valor deducido, deducido corregido y PCI

Una vez realizado el levantamiento de los daños se comienza con el cálculo del valor deducido de cada daño, el cual depende de la densidad y severidad registradas y se realiza en un post proceso, el que se detalla a continuación.

Se cuantifica y totaliza la cantidad de daño por el tipo y nivel de severidad, según sea éste, ya sea en área o en longitud; el total se divide en el área total de la unidad de muestreo obteniéndose una densidad del daño (Vázquez, 2002).

El valor deducido se calcula utilizando los gráficos para cada tipo de daño incluido en la norma ASTM D6433-18, como el que se muestra en la figura 1.

Figura 1. Gráfica para la determinación del valor deducido del daño



Fuente: Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales (2020). *Procedimiento Estándar para la Inspección del Índice de Condición del Pavimento en Caminos y Estacionamientos*.

Se ingresa con el valor de la densidad (abscisas) hasta encontrarse con la curva de severidad analizada (H, M o L) y, el valor obtenido del eje de las



ordenadas es el valor deducido del daño; es decir si tenemos una densidad de daño 20 % de piel de cocodrilo, el valor deducido es 70.

Este procedimiento se realiza para todos los daños medidos en cada una de las muestras.

Una vez obtenidos todos los valores deducidos de la muestra, se procede a calcular el valor deducido corregido, para lo cual se debe determinar el número máximo admisible de valores deducidos, ( $m_i$ ), utilizando la ecuación 3.

$$m_i = 1.00 + \frac{9}{98}(100 - HDV_i) \text{ (Ec. 3)}$$

En donde:

- $m_i$ : número máximo admisible de valores deducidos, incluyendo fracción, para la unidad de muestreo  $i$ .
- $HDV_i$ : el mayor valor deducido individual para la unidad de muestreo  $i$ .

Para el caso en que el número de valores individuales deducido sea mayor al valor de  $m_i$ , se toman todos los valores que coinciden con la parte entera del y al valor siguiente se lo reduce multiplicando por la parte fraccionaria; en caso contrario se utilizan todos los que se tengan.

Una vez concluido el paso anterior, se inicia el cálculo del máximo valor deducido corregido (CDV), para lo cual se deben ordenar los valores deducidos en una tabla, de mayor a menor y de izquierda a derecha, sumando todos los valores deducidos mayores a 2 y determinando así el valor de  $q$ ; que se utilizará para determinar el valor deducido corregido (Vázquez, 2002).

El siguiente paso es reducir a 2 el último de los valores deducidos individuales que sea mayor que 2, y se repite el proceso hasta que el valor de q sea igual a 1.

Por ejemplo, en la tabla II, tenemos que el mayor valor deducido (VD) es 37.09, entonces el  $m_i = 1.00 + 9/98 * (100 - 37.09) = 6.8$ , por lo que se toman 6 muestras de los 8 totales, y a la muestra 7 se aplica una reducción de 0.8, como se puede apreciar en el ejemplo.

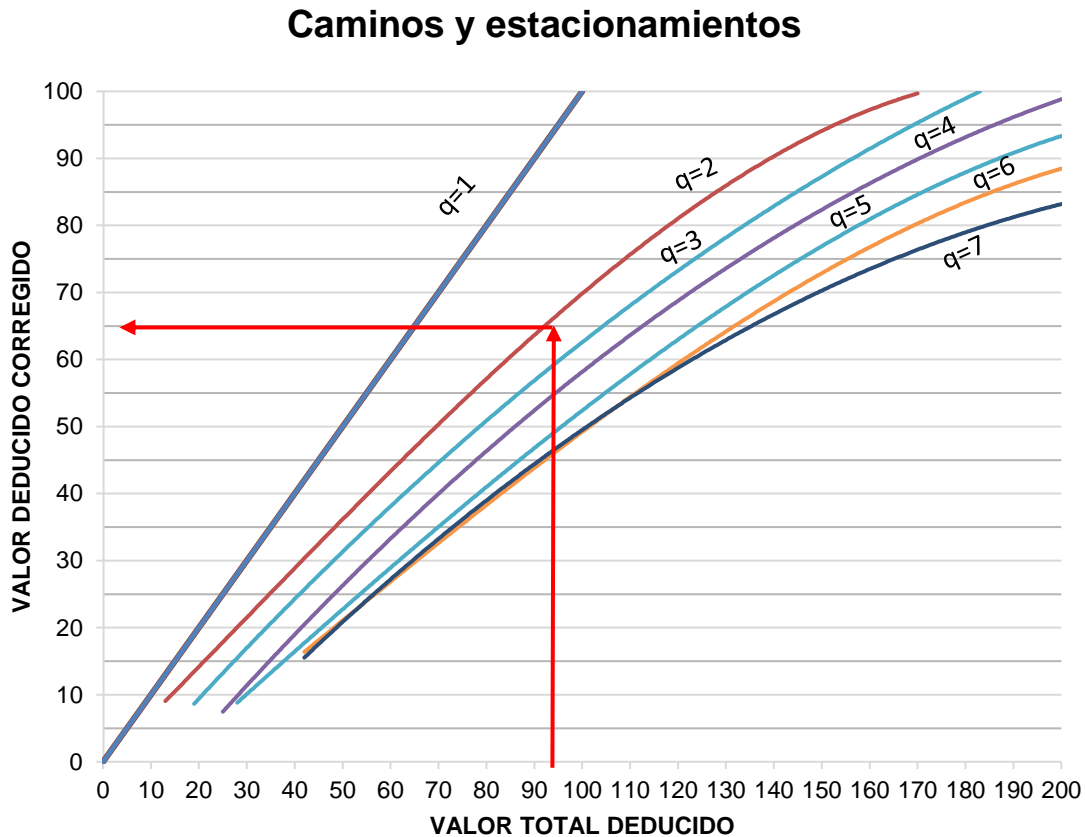
**Tabla II. Ejemplo de determinación de  $m_i$  y el PCI de una muestra**

1: Piel de cocodrilo.		5: Corrugación.		9: Desnivel carril / berma.		13: Baches.		17: Grieta parabólica (slippage)									
2: Exudación.		6: Depresión.		10: Grietas long y transversal.		14: Cruce de vía férrea.		18: Hinchamiento.									
3: Agrietamiento en bloque.		7: Grieta de borde.		11: Parcheo.		15: Ahuellamiento.		19: Desprendimiento de agregados									
4: Abultamientos y hundimientos.		8: Grieta de reflexión de junta.		12: Pulimento de agregados.		16: Desplazamiento.											
Muestra	Tipo de Daño	Severidad del Daño	Densidad del Daño	VD	Valor deducido								Total	q	VDC	VDC Muestra	PCI Muestra
10	15	Baja	23.53	37.09	37.1	32.8	31.4	27.6	15.1	5.0	3.8	153	7	71	76	24	
10	1	Alta	1.21	32.76	37.1	32.8	31.4	27.6	15.1	5.0	2.0	151	6	72			
10	9	Alta	29.41	31.45	37.1	32.8	31.4	27.6	15.1	2.0	2.0	148	5	76			
10	11	Alta	2.29	27.61	37.1	32.8	31.4	27.6	2.0	2.0	2.0	135	4	76			
10	11	Media	2.11	15.09	37.1	32.8	31.4	2.0	2.0	2.0	2.0	109	3	68			
10	13	Media	0.03	5.00	37.1	32.8	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	80	2	57			
10	1	Baja	0.37	4.89	37.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	49	1	49			

Fuente: elaboración propia.

El máximo VDC es el mayor de los VDC obtenidos en este proceso y el PCI de la muestra se obtiene restando el máximo VDC obtenido de 100.

Figura 2. Gráfica para la determinación del valor deducido corregido



Fuente: Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales (2020). *Procedimiento Estándar para la Inspección del Índice de Condición del Pavimento en Caminos y Estacionamientos*.

El PCI se obtiene calculando el promedio de todos los valores de las unidades de muestreo inspeccionadas; sin embargo, si existen unidades de muestreo adicionales se usa un promedio ponderado, el cual se calcula de la siguiente forma:

$$PCI_S = \frac{[(A - \sum_{i=1}^n A_{ai}) * PCI_R] + (\sum_{i=1}^m A_{aa} * PCI_A)}{A} \quad (\text{Ec. 4})$$

En donde

- PCIS: PCI ponderado por área de la sección del pavimento.
- PCIR: PCI promedio de las unidades de muestreo aleatorias o representativas.
- PCIA: PCI promedio de las unidades de muestreo adicionales.
- n: número de unidades evaluadas.
- m: número total de unidades de muestras adicionales.
- Aai: área de la unidad de muestreo representativas.
- Aaa: área de la unidad de muestreo adicional.
- A: área de toda la sección.

Si, por ejemplo, se cuenta con los siguientes datos:

- PCIR= 62.
- PCIA =35.
- n = 16.
- m = 1.
- $\Sigma A_{ai} = 4,096.00 \text{ m}^2$ .
- $\Sigma A_{aa} = 256.00 \text{ m}^2$ .
- $A = 62,080.00 \text{ m}^2$ .

El cálculo del PCI se obtiene con el siguiente cálculo:

$$PCI_s = \frac{[(62,080 - 4,096) * 62] + (256 * 35)}{62,080} = 58$$

### **1.3. Fase 2: evaluación de las reparaciones a ejecutar**

Los pavimentos sufren un proceso de deterioro permanente debido a los diferentes agentes que actúan sobre ellos, tales como: el agua, el tráfico o la gravedad en taludes, entre otros (Pineda, 2015).

Méndez (2019), indica que un adecuado diseño debería generar que el período de vida útil del pavimento sea el previsto; sin embargo, durante este tiempo se pueden presentar una serie de variables por las cuales no se logra cumplir con el período de diseño.

Mientras que las demás obras de ingeniería civil tienen una vida indeterminada, los pavimentos flexibles cuentan con una vida útil que se define en el momento de su diseño; por lo que se puede indicar que, aunque hayan tenido un mantenimiento óptimo, alcanzarán un punto de falla (Jugo, 2005).

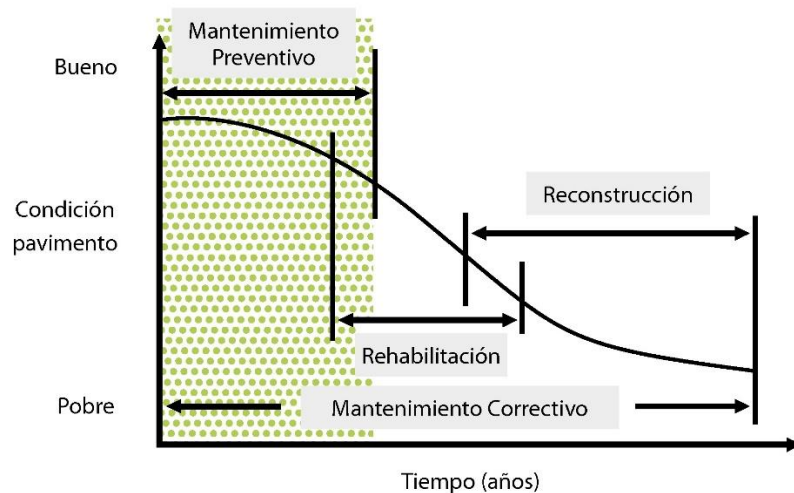
Se puede concluir que la manera en que los pavimentos flexibles pierden sus propiedades físicas y mecánicas varía en función de varios parámetros, los que harán variar la tasa de deterioro.

Jugo (2005), indica que dentro de estos parámetros se encuentra la calidad de la estructura del pavimento, el volumen de tráfico, el tipo de cargas, así como factores climatológicos como el agua, el sol o el derrame de combustible entre otros.

Las fallas de un pavimento flexible pueden catalogarse en dos tipos: las fallas estructurales provocadas por la fatiga de la estructura y las fallas de funcionalidad, que se producen cuando el pavimento no permite un desplazamiento confortable.

Los daños más comunes en un pavimento flexible se deben a la fatiga de la estructura, lo que provoca el agrietamiento superficial y el ahuellamiento; o por pérdida de las propiedades físico mecánicas de los asfaltos, lo que provoca la pérdida de agregados entre otros factores adicionales.

Figura 3. **Relación entre condición de pavimento y tipos de tratamiento**



Fuente: Picado (2017). *Desarrollo de curvas de deterioro para pavimento flexible y factor de incertidumbre*. Consultado el 5 de mayo de 2021. Recuperado de:  
<https://doi.org/10.15517/iv.v18i31.27762>

La figura 3, muestra una curva de la condición del pavimento y los tipos de tratamiento que deben ejecutarse en función del tiempo (Sánchez, 2010).

Dependiendo del tiempo transcurrido y el estado del pavimento, los trabajos a ejecutar se pueden clasificar en tres tipos:

- Mantenimiento preventivo: los daños que presenta el pavimento son menores, aparecen pequeños baches y fisuras, por lo que los trabajos son menores y permiten preservar la capa rodadura.
- Rehabilitación: los daños en esta zona son de mediana envergadura, por lo que la intervención es mayor. La rodadura ha sufrido deterioro y el tramo se encuentra en la zona de óptima de rehabilitación, por lo que se requiere la ejecución de trabajos mayores para recuperar la capa de rodadura.
- Reconstrucción: el deterioro es importante y la rodadura presenta baches y piel de lagarto de severidad alta en toda su estructura. Los trabajos de manteniendo mayor ya no son suficientes y se requiere mayor intervención como el recapeo, la rehabilitación o la reconstrucción.

El conocimiento del tiempo adecuado para llevar a cabo una intervención es un factor muy importante, ya que muchas veces se procede con estos trabajos, una vez que el estado de las carreteras es lamentable. Incluso, por desconocimiento del comportamiento de las carreteras a lo largo del tiempo, se pueden aplicar técnicas de intervención que no son las más adecuadas (Picado, 2017).

Para las consideraciones de los trabajos de mantenimiento que se deben realizar, se cuenta con extensas referencias que permitirán decidir qué tipo de reparación se debe llevar a cabo, como por ejemplo en la sección 304 de las Especificaciones Técnicas Coviál del año 2020, donde indica los trabajos que deben ejecutarse para la reparación de zonas inestables del pavimento.

#### **1.4. Fase 3: evaluación de los costos de las reparaciones a ejecutar y elaboración del modelo matemático**

El precio unitario es el importe total que debe ser cubierto a una persona o una empresa contratista por concepto de trabajo terminado y ejecutado conforme a especificaciones de construcción y normas de calidad, es por el ello que el análisis, cálculo e integración de los precios unitarios para un trabajo determinado deberá guardar coherencia con los procedimientos constructivos o con la metodología de ejecución de las obras especificadas (López, 2019).

##### **1.4.1. Costos de las reparaciones a ejecutar**

El cálculo de precios unitarios es imprescindible para la ejecución de proyectos, ya que permite integrar el precio total que servirá para presentar ofertas o cotizaciones (Orellana, 2016).

El presupuesto es la resultante de sumar los cinco elementos que componen el cálculo del costo estimado de la obra y que son: costo directo (CD) + costo indirecto (CI) + costo de administración central (CAC) + utilidad (U) + impuestos (I) (Ministerio de Transporte e Infraestructura, 2008).

Del análisis de los datos obtenidos del PCI, es posible determinar la cantidad y el tipo de daño, lo que permite obtener un volumen de trabajo a ejecutar el cual debe multiplicarse por los precios unitarios que correspondan.





## **2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN**

Para mejorar la gestión de mantenimiento de carreteras pavimentadas de la red vial de Guatemala, es importante tener una herramienta que mejore la toma de decisiones. A continuación, se desglosan los factores importantes a desarrollar.

### **2.1. Elaboración del modelo matemático entre el PCI y el costo de mantenimiento**

Puesto que se requiere la determinación de un modelo matemático que relacione el índice de condición del pavimento con el costo de mantenimiento de un tramo carretero, se debe obtener el valor del PCI de distintos tramos, para luego calcular el costo que implica su mantenimiento.

Como antecedente, debe recordarse que en el mes de marzo del año 2020 se declaró una pandemia a nivel mundial y se restringió la movilidad en el país, lo cual impidió la toma de parámetros para el análisis de los tramos carreteros en campo.

Por este motivo fue necesario recurrir a la Unidad Ejecutora de Conservación Vial (Covial), para solicitar la autorización del uso de la información recolectada en campo como parte del levantamiento del índice de condición del pavimento de las carreteras de Guatemala ejecutado durante los años 2019 y 2020.

A continuación, se presentan algunas fotografías del levantamiento realizado en algunos tramos a inicios del año 2020.

Figura 4.       **Levantamiento de daños en rutas del departamento de Guatemala**



Fuente: [Fotografía de Enrique Camus] (Santa Elena Barillas, Guatemala. 2019). Colección particular. Guatemala.

Figura 5. **Levantamiento de daños en rutas del departamento de Totonicapán**



Fuente: [Fotografía de Enrique Camus] (Totonicapán, Totonicapán. 2019). Colección particular. Guatemala.

### **2.1.1. Determinación del índice de condición del pavimento**

Los valores del índice de condición del pavimento de los tramos analizados, se obtuvieron a través de un sistema desarrollado por la empresa Consultora en Proyectos de Ingeniería Civiles y de Sistemas, Gisystems.

Este sistema funciona a través de dispositivos móviles y tabletas, mediante una aplicación que permite el registro de los datos en campo utilizando el formato requerido por la normativa ASTM D6433-18.

Figura 6. **Aplicativo móvil para levantamiento en campo de los daños**



Fuente: elaboración propia.

Antes de iniciar con la toma de muestras, el operador debe sincronizar la aplicación con la base de datos, que se encuentra en un servidor de la empresa, para obtener toda la información actualizada de la red vial a analizar.

Una vez realizada la sincronización y ya en campo, se selecciona el tramo a evaluar y se inicia el registro de los datos generales, que incluyen: el número de la muestra, el ancho de calzada, el estacionamiento donde se ubica la muestra, el número de carriles del tramo y el tipo de superficie.

A continuación, se registra la información de los daños observados en la muestra, es decir: el tipo de daño, dimensiones y la severidad. Por último, se debe realizar la captura de una o más fotografías, las cuales son georeferenciadas automáticamente.

Concluido el levantamiento del inventario de condición, la información es enviada por internet al servidor principal, donde se crea una base de datos que es revisada y aprobada por personal técnico especializado.

Con los datos recopilados, se inicia el proceso de determinación del PCI, el cual se realiza mediante un *software* diseñado por la empresa Consultora en Proyectos de Ingeniería Civiles y de Sistemas; el cual clasifica los daños por su severidad y calcula las densidades de cada muestra.

Concluido este proceso, el programa inicia con la determinación del PCI de cada muestra, a través de un proceso iterativo, entregando un resultado como lo muestra la tabla III.

Tabla III. **Formato de presentación de resultados del cálculo del PCI**

**RN-07-W-07**

1: Piel de Cocodrilo	5: Corrugación.	9: Desnivel carril / berma.	13: Bache Menor.	17: Grieta parabólica
2: Exudación.	6: Depresión.	10: Grietas long y trans.	14: Cruce de vía férrea.	18: Hinchamiento.
3: Grietas en bloque.	7: Grieta de borde.	11: Bacheo Mayor y Acometida de S. P.	15: Ahuellamiento.	19: Desprendimiento de agregados
4: Abultamientos y hundimientos.	8: Grieta de reflexión de junta.	12: Pulimento de agregados.	16: Desplazamiento.	

M	Tipo de Daño	Severidad Daño	Densidad Daño	VD	Valor deducido				Total	q	VDC	VDC Muestra	PCI Muestra
1	10	Baja	9.92	7.67	8	3			11	2	7	10	90
1	3	Baja	2.91	2.97	8	2			10	1	10		
2	1	Baja	5.00	25.88	26	6	0		31	2	23	28	72
2	7	Baja	12.11	5.57	26	2	0		28	1	28		
3	10	Baja	4.65	3.08	3	2	1		6	2	5	6	94
3	19	Baja	1.95	2.20	3	2	1		6	1	6		
3	7	Baja	0.59	1.05									
4	4	Alta	6.09	62.46	62	57	35	7	162	4	87	90	10
4	11	Alta	12.56	57.26	62	57	35	2	157	3	90		
5	10	Baja	4.45	2.87	3				3	1	3	3	97
6	1	Baja	4.3	24.45	24	7			31	2	22	26	74
6	10	Baja	8.71	6.78	24	2			26	1	26		
7	1	Baja	3.27	21.71	22	0			22	1	22	22	78
7	10	Baja	0.39	0.02									
8	19	Baja	0.39	0.76	1				1	0	1	1	99
9	11	Alta	2.18	27.13	27	2			29	2	21	29	71
9	19	Baja	1.95	2.20	27	2			29	1	29		
10	13	Alta	0.69	45.85	46	37	19	6	110	4	64	66	34
10	1	Baja	15	37.13	46	37	19	2	106	3	66		
10	10	Baja	7.81	6.05	46	2	2	2	54	1	54		
11	1	Baja	23.83	42.59	43				43	1	43	43	57
12	19	Baja	1.17	2.00	2				2	1	2	2	98
13	1	Baja	18.27	39.35	39	38	14		91	3	57	57	43
13	11	Media	15.26	37.63	39	38	2		79	2	56		
14	1	Baja	25	43.20	43	7			50	2	36	45	55
14	10	Baja	8.67	6.75	43	2			45	1	45		
15	1	Baja	5.57	26.90	27				27	1	27	27	73
16	1	Baja	1.95	16.36	16				16	1	16	16	84
<b>PCI promedio muestras = 71</b>				<b>PCI promedio adicionales = 0</b>				<b>PCI del tramo = 71</b>					

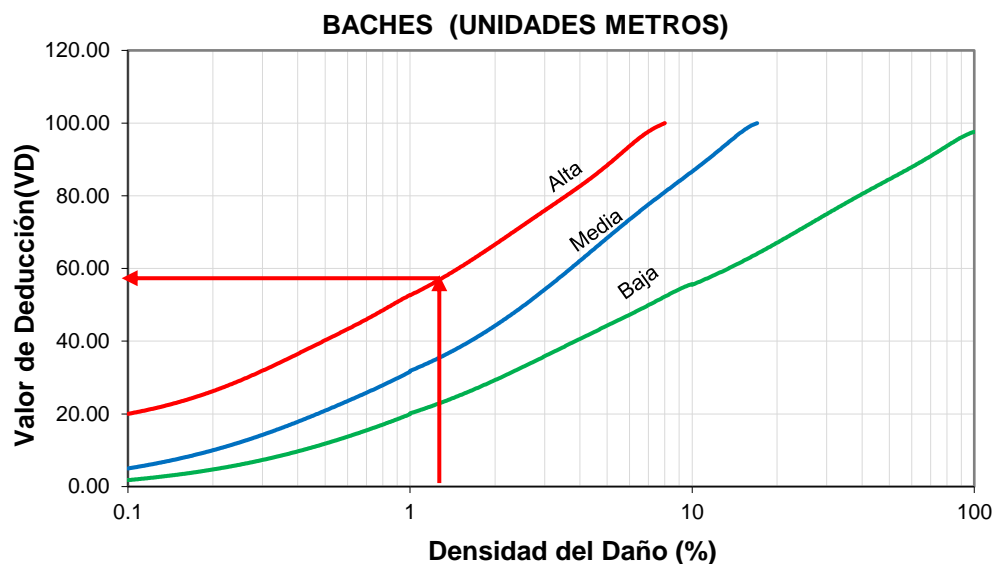
Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla III, el valor del PCI del tramo se obtiene como un promedio de los PCI de cada una de las muestras, el que da

como resultado 71, además, se puede señalar que los daños predominantes son piel de cocodrilo y grietas longitudinales, deterioros típicos producidos por la fatiga de la capa asfáltica.

Al hacer un análisis de daños que producen valores de PCI bajos, se observa que los daños como piel de cocodrilo, bache menor, abultamiento y hundimiento, son los que más afectan la condición del pavimento. Un ejemplo se muestra en el gráfico que se presenta a continuación, donde para un valor bajo de densidad de daño, de severidad alta, como es el que se aprecia en la muestra 10, donde la densidad del daño (bache) es de 0.69 se obtiene un valor deducido (VC) igual a 46.

Figura 7. **Gráfico para determinar el valor deducido del daño bache**



Fuente: Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales (2020). *Procedimiento Estándar para la Inspección del Índice de Condición del Pavimento en Caminos y Estacionamientos.*



### 2.1.2. Consideraciones generales

Para obtener el modelo matemático se seleccionaron 12 tramos carreteros, de la información suministrada por Covial, los cuales presentan valores de PCI dentro de todos los rangos de calificación posibles; lo que permite que los resultados obtenidos tengan una mayor representatividad.

En la siguiente tabla se muestran los tramos ordenados ascendentemente según el valor de PCI, indicando el código, descripción y longitud de la ruta.

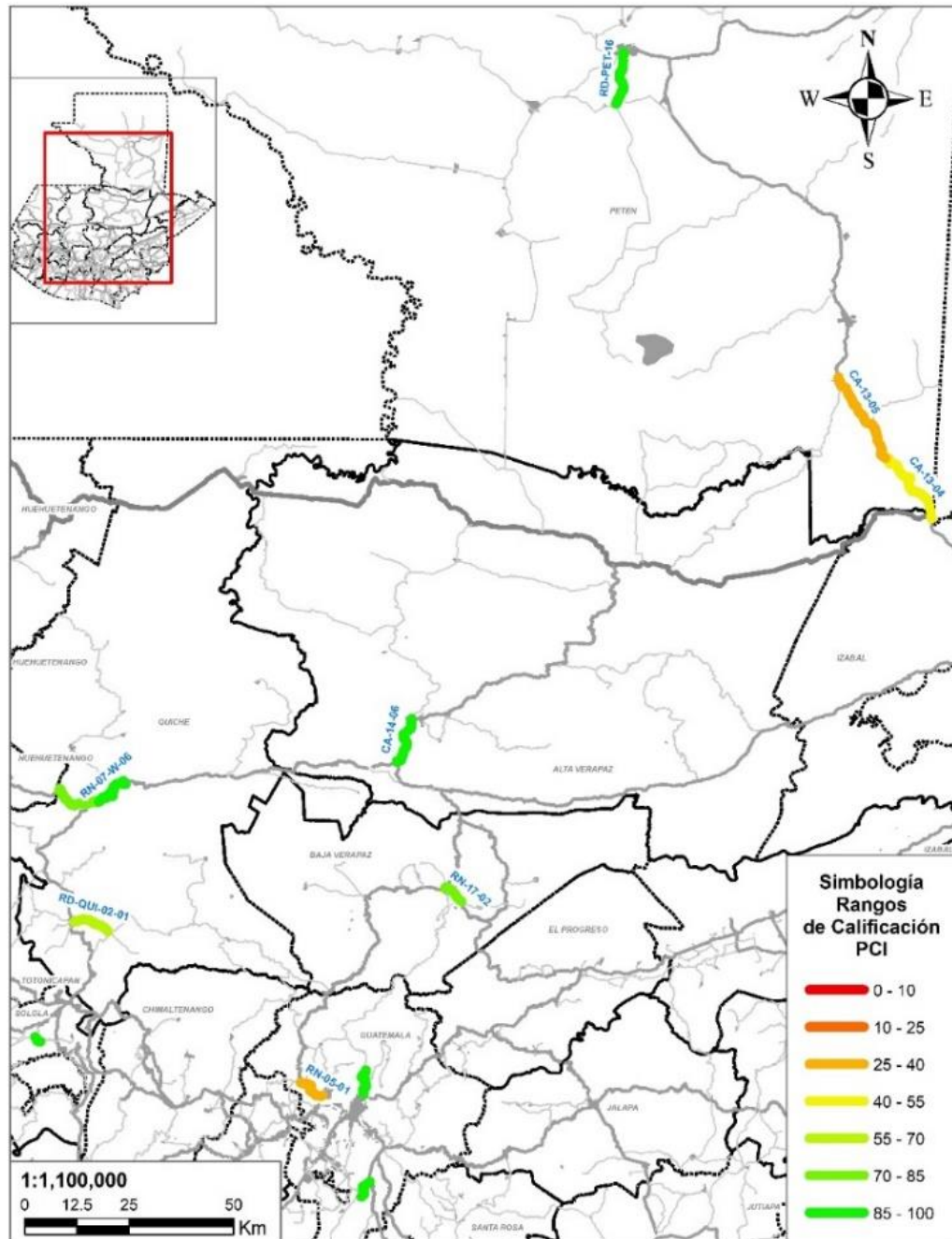
Tabla IV. **Tramos analizados para la determinación del PCI**

<b>Código</b>	<b>Descripción</b>	<b>Km</b>	<b>PCI</b>
<b>RD-GUA-10-01</b>	CA-01-Oriente - Bifurcación RD-GUA-27	5.40	98
<b>RD-SOL-04-08B</b>	Bifurcación RD-SOL-12 (Vuelta Del Toro) - San José Chacayá	2.30	95
<b>CA-14-06</b>	Bifurcación RN-05-A, Cobán - Bifurcación RN-07-Occidente (Santa Cruz Verapaz)	15.45	91
<b>RD-GUA-04-06</b>	Chinautla - Guatemala	8.00	90
<b>RN-07-W-06</b>	Cunén - Sacapulas	15.10	88
<b>RD-PET-16</b>	San Francisco - San Benito	13.34	87
<b>RN-17-02</b>	Bifurcación RD-BV-05-01, desvío San Jerónimo - Salamá	5.60	80
<b>RN-07-W-07</b>	Sacapulas - Límite departamental El Quiché/Huehuetenango	13.63	71
<b>RD-QUI-02-01</b>	Santa Cruz Del Quiche - Chiché	9.70	60
<b>CA-13-04</b>	Modesto Méndez - Secoyob	21.98	50
<b>CA-13-05</b>	Secoyob - San Luis	25.50	40
<b>RN-05-01</b>	Guatemala - San Pedro Sacatepéquez	9.30	30

Fuente: elaboración propia.

En el mapa que se presenta en la figura 8, se observa la ubicación de todos los tramos considerados para el análisis.

Figura 8. Mapa de ubicación de los tramos considerados



Fuente: elaboración propia, realizado con ArcGis 10.3.

### 2.1.3. Determinación de las reparaciones a realizar

Después de determinar el PCI de los tramos, se debe establecer el tipo de reparación para rehabilitar el pavimento de acuerdo con la densidad, severidad y tipo de daño presentados.

Para ello se utilizaron tres publicaciones distintas: *Pavement Condition Index* (PCI), para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras; el Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras del año 2000 y el Catálogo de Deterioros de Pavimentos Flexibles del Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica del año 2002 (M5.1).

Debe hacerse notar que las tres publicaciones coinciden tanto en el motivo de los daños como en las reparaciones a realizar; por lo que para este caso de estudio se tomó como referencia el *Pavement Condition Index*.

En la tabla V se muestra un resumen de los tipos de daños que pueden presentarse y los trabajos que se recomiendan para la reparación según la severidad de cada daño.

Tabla V. **Tipos de daños y trabajos de reparación requeridos de acuerdo a su severidad**

Tipo de daño	Severidad baja	Severidad media	Severidad alta
Ahuellamiento	No se hace nada. Fresado y sobrecarpeta.	Parcheo superficial, parcial o profundo.	Fresado y sobrecarpeta.
Bache menor	No se hace nada. Parcheo parcial o profundo.	Parcheo parcial o profundo.	Parcheo profundo.
Desplazamiento	No se hace nada. Fresado.	Fresado. Parcheo parcial o profundo.	Fresado. Parcheo parcial o profundo.

Continuación de la tabla V.

<b>Tipo de daño</b>	<b>Severidad baja</b>	<b>Severidad media</b>	<b>Severidad alta</b>
Corrugación	No se hace nada.	Reconstrucción.	Reconstrucción.
Cruce de vía férrea	No se hace nada.	Parcheo superficial o parcial de la aproximación.	Reconstrucción del cruce.
Depresión	No se hace nada.	Parcheo superficial, parcial o profundo.	Parcheo superficial, parcial o profundo.
Desnivel carril/hombro	Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.	Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.	Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.
Desprendimiento de agregados	Sello superficial. Tratamiento superficial.	Sello superficial. Tratamiento superficial.	Sobrecarpeta. Reciclaje. Reconstrucción.
Exudación	No se hace nada.	Se aplica arena / agregados y cilindrado.	Se aplica arena / agregados y cilindrado.
Grieta de bordes	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	Sellado de grietas. Parcheo parcial - profundo.	Parcheo parcial – profundo.
Grietas de reflexión de juntas	Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	Parcheo de profundidad parcial.	Reconstrucción de la junta.
Grietas longitudinales y transversales	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3.0 mm.	Sellado de grietas.	Sellado de grietas. Parcheo parcial.
Grietas parabólicas	No se hace nada. Parcheo parcial.	Parcheo parcial.	Parcheo parcial.
Grietas en bloque	Sellado de grietas con ancho > 3.0 mm. Riego de sello.	Sellado de grietas, reciclado superficial.	Escarificado en caliente y sobrecarpeta.
Hinchamiento	No se hace nada.	No se hace nada. Reconstrucción.	Reconstrucción
Abultamiento / Hundimiento	No se hace nada.	Reciclado en frío. Parcheo profundo o parcial.	Reciclado (fresado) en frío. Parcheo profundo o parcial.
Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	No se hace nada.	No se hace nada. Sustitución del parche.	Sustitución del parche.
Piel de cocodrilo	Sello superficial.	Parcheo parcial o en toda la profundidad ( <i>Full depth</i> ).	Reconstrucción.
Pulimiento de agregados	No se hace nada.	Tratamiento superficial. Sobrecarpeta.	Fresado y sobrecarpeta.

Fuente: Vásquez. (2002). *Pavement Condition Index (PCI), para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras.*

Una vez concluida con la etapa de clasificación de las reparaciones de los daños de acuerdo a su severidad; se cuantifican las cantidades requeridas en cada tarea de reparación.

La red vial del país, y en especial los tramos analizados, cuentan con diferentes anchos de calzada, por lo que se consideró realizar la relación metro cuadro/kilometro con el PCI para analizar el costo de cualquier tramo carretero más fácilmente.

Dado que no todas las carreteras de Guatemala tienen hombros o se encuentran cubiertos con una capa de concreto asfáltico, se tomó en consideración para los cálculos únicamente el ancho efectivo de los dos carriles; es decir que a cada una de las secciones a considerar se le aplicó el factor de corrección que se determina en la siguiente ecuación.

$$F_{\text{Ancho}} = \frac{AC_{\text{Típica B}}}{AC_{\text{Sección}}} \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

- F ancho = factor que se le aplica al daño para tener en cuenta el ancho de la sección típica.
- AC sección = ancho de la sección transversal del tramo al que se le determina el PCI.
- AC típica B = ancho de la sección típica B, de acuerdo a lo establecido por la Dirección General de Caminos = 7.20 metros.

Para completar el cálculo de las cantidades de obra que se requieren para el mantenimiento de los tramos, fue necesario considerar la longitud de influencia del daño observado en la muestra que se determina con la siguiente ecuación.

$$F_{Long} = \frac{L_{Tramo}}{(LM * n)} \quad (\text{Ec. 6})$$

- $F_{Long}$  = Factor que se le aplica al daño para tener en cuenta la longitud del daño.
- LM = Longitud del área de muestreo (40.00 metros).
- N = número mínimo de unidades de muestreo a evaluar determinado mediante la ecuación 1.

Aplicando este factor de corrección y tomando en cuenta la información de la tabla V, se obtienen los siguientes resultados para cada uno de los tramos considerados.

Tabla VI. **Reparaciones a realizar para un PCI = 98**

RD-GUA-10-01: CA-01-Oriente - Bifurcación RD-GUA-27							PCI:98	
Longitud = 5.40 km			Promedio de área evaluar = 240 m <sup>2</sup>					
Ancho de carril = 6.00 m			Factor de ancho = 7.20/6.00 = 1.2				Factor de longitud = 8.44	
N° muestra	Densidad daño	Descripción daño	Sev.	Trabajo	Cantidad	Cant. de cálculo	Unidad	Renglón
1	0	Sin daño	Baja	No se hace nada.	0.00	0.00		
2	0	Sin daño	Baja	No se hace nada.	0.00	0.00		
3	0	Sin daño	Baja	No se hace nada.	0.00	0.00		
4	0	Sin daño	Baja	No se hace nada.	0.00	0.00		
5	0	Sin daño	Baja	No se hace nada.	0.00	0.00		
6	0	Sin daño	Baja	No se hace nada.	0.00	0.00		
7	0	Sin daño	Baja	No se hace nada.	0.00	0.00		
8	0	Sin daño	Baja	No se hace nada.	0.00	0.00		
9	0	Sin daño	Baja	No se hace nada.	0.00	0.00		
10	0	Sin daño	Baja	No se hace nada.	0.00	0.00		
11	0	Sin daño	Baja	No se hace nada.	0.00	0.00		
12	0	Sin daño	Baja	No se hace nada.	0.00	0.00		
13	0	Sin daño	Baja	No se hace nada.	0.00	0.00		

Continuación de la tabla VI.

RD-GUA-10-01: CA-01-Oriente - Bifurcación RD-GUA-27							PCI: 98	
Longitud = 5.40 km			Promedio de área evaluar = 240 m <sup>2</sup>					
Ancho de carril = 6.00 m			Factor de ancho = 7.20/6.00 = 1.2			Factor de longitud = 8.44		
N° muestra	Densidad daño	Descripción daño	Sev.	Trabajo	Cantidad	Cant. de cálculo	Unidad	Renglón
14	4.17	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	42.23	42.23	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
15	0	Sin daño	Baja	No se hace nada.	0.00	0.00		

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Reparaciones a realizar para un PCI = 95**

RD-SOL-04-08B: Bifurcación RD-SOL-12 (Vuelta del Toro) - San José Chacayá							PCI: 95	
Longitud = 2.30 km			Promedio de área evaluar = 240.44 m <sup>2</sup>					
Ancho de carril = 6.01 m			Factor de ancho = 7.20/6.00 = 1.2			Factor de longitud = 3.59		
N° muestra	Densidad daño	Descripción daño	Sev.	Trabajo	Cantidad	Cant. de cálculo	Unidad	Renglón
1	1.21	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	5.21	5.21	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
2	2.5	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	10.77	10.77	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
3	4.17	Grieta de bordes	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	17.96	17.96	m	Sello de fisuras y grietas.
3	1.25	Grietas longitudinales y transversales	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	5.39	5.39	m	Sello de fisuras y grietas.
3	3.33	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	14.35	14.35	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
4	2.08	Grieta de bordes	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	8.96	8.96	m	Sello de fisuras y grietas.
4	5.42	Grietas longitudinales y transversales	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	23.35	23.35	m	Sello de fisuras y grietas.
4	2.5	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	10.77	10.77	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
5	0	Sin daño	Baja	No se hace nada.	0.00			
6	0.42	Depresión	Baja	No se hace nada.	1.81			
7	3.33	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	14.35	14.35	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
8	0	Sin daño	Baja	No se hace nada.	0.00			
9	0	Sin daño	Baja	No se hace nada.	0.00			
10	0	Sin daño	Baja	No se hace nada.	0.00			

Continuación de la tabla VII.

RD-SOL-04-08B: Bifurcación RD-SOL-12 (Vuelta del Toro) - San José Chacayá								PCI = 95
Longitud = 2.30 km				Promedio de área evaluar = 240.44 m <sup>2</sup>				
Ancho de carril = 6.01 m				Factor de ancho = 7.20/6.01 = 1.2				Factor de longitud = 3.59
N° muestra	Densidad daño	Descripción daño	Sev.	Trabajo	Cantidad	Cant. de cálculo	Unidad	Renglón
11	1.04	Grietas longitudinales y transversales	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	4.48	4.48	m	Sello de fisuras y grietas.
12	0.21	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	0.90	0.90	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
12	4.5	Bache menor	Baja	No se hace nada. Parcheo parcial o profundo.	19.39	0.07	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
13	0	Sin daño	Baja	No se hace nada.	0.00			

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. Reparaciones a realizar para un PCI = 91

CA-14-06: Bif. RN-05-A, Cobán - Bif. RN-07-Occidente (Santa Cruz Verapaz)								PCI = 91
Longitud = 15.45 km				Promedio de área evaluar = 288 m <sup>2</sup>				
Ancho de carril = 7.20 m				Factor de ancho = 7.20/7.20 = 1				Factor de longitud = 24.14
N° muestra	Densidad daño	Descripción daño	Sev.	Trabajo	Cantidad	Cant. de cálculo	Unidad	Renglón
1	17.4	Grietas longitudinales y transversales	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	420.04	420.04	m	Sello de fisuras y grietas en pavimentos asfálticos.
2	0.25	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	6.04	6.04	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
3	3.2	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	77.25	77.25	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
3	8.2	Grietas longitudinales y transversales	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	197.95	197.95	m	Sello de fisuras y grietas en pavimentos asfálticos.
4	10	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	241.40	241.40	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
5	10	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	241.40	241.40	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
6	4	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	96.56	96.56	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
7	40	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	965.60	965.60	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
8	20	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	482.80	482.80	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).



Continuación de la tabla VIII.

CA-14-06: Bif. RN-05-A, Cobán - Bif. RN-07-Occidente (Santa Cruz Verapaz)								PCI = 91
Longitud = 15.45 km				Promedio de área evaluar = 288 m²				
Ancho de carril = 7.20 m				Factor de ancho = 7.20/7.20 =1		Factor de longitud =24.14		
N° muestra	Densidad daño	Descripción daño	Sev.	Trabajo	Cantidad	Cant. de cálculo	Unidad	Renglón
9	7	Grieta de bordes	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	168.98	168.98	m	Sello de fisuras y grietas en pavimentos asfálticos.
10	40	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	965.60	965.60	m²	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
11	9.9	Grietas longitudinales y transversales	Alta	Sellado de grietas. Parcheo parcial.	238.99	238.99	m	Sello de fisuras y grietas en pavimentos asfálticos.
12	20	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	482.80	482.80	m²	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
13	10	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	241.40	241.40	m²	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
14	3.6	Grietas longitudinales y transversales	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	86.90	86.90	m²	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
14	16	Abultamiento / hundimiento	Alta	Reciclado (fresado) en frío. Parcheo profundo o parcial.	386.24	23.17	m³	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
					0.00	2.32	m³	Relleno con base para bacheo.
15	11	Grietas longitudinales y transversales	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	265.54	265.54	m	Sello de fisuras y grietas en pavimentos asfálticos.
16	11	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	265.54	265.54	m	Sello de fisuras y grietas en pavimentos asfálticos.

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. Reparaciones a realizar para un PCI = 90

RD-GUA-04-06: Chinautla - Guatemala								PCI = 90
Longitud = 8.00 km				Promedio de área evaluar = 263.27 m²				
Ancho de carril = 6.58 m				Factor de ancho = 7.2/8.00 =1.09		Factor de longitud =13.33		
N° muestra	Densidad daño	Descripción daño	Sev.	Trabajo	Cantidad	Cant. de cálculo	Unidad	Renglón
1	0.00	Sin daño	Baja	No se hace nada.	1.09	1.09		
2	0.00	Sin daño	Baja	No se hace nada.	13.33	13.33		
3	0.00	Sin daño	Baja	No se hace nada.	1.09	1.09		

Continuación de la tabla IX.

RD-GUA-04-06: Chinautla - Guatemala							PCI = 90	
Longitud = 8.00 km			Promedio de área evaluar = 263.27 m <sup>2</sup>					
Ancho de carril = 6.58 m			Factor de ancho = 7.2/8.00 = 1.09			Factor de longitud = 13.33		
N° muestra	Densidad daño	Descripción daño	Sev.	Trabajo	Cantidad	Cant. de cálculo	Unidad	Renglón
5	0.00	Sin daño	Baja	No se hace nada.	1.09	1.09		
6	0.00	Sin daño	Baja	No se hace nada.	13.33	13.33		
7	0.00	Sin daño	Baja	No se hace nada.	1.09	1.09		
8	26.00	Grietas longitudinales y transversales	Media	Sellado de grietas.	13.33	13.33	m	Sello de fisuras y grietas en pavimentos asfálticos.
8	2.80	Corrugación	Media	Reconstrucción.	1.09	1.09	m <sup>3</sup>	Colocación de nueva carpeta de concreto asfáltico en labores de bacheo.
8					13.33	13.33		Relleno con material de base en labores de bacheo.
8	3.25	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	Alta	Sustitución del parche.	1.09	1.09	m <sup>3</sup>	Colocación de nueva carpeta de concreto asfáltico en labores de bacheo.
8					13.33	13.33	m <sup>3</sup>	Relleno con material de base en labores de bacheo.
9	25.60	Piel de cocodrilo	Media	Parcheo parcial o en toda la profundidad ( <i>full depth</i> ).	1.09	1.09	m <sup>3</sup>	Colocación de nueva carpeta de concreto asfáltico en labores de bacheo.
9	25.60				13.33	13.33	m <sup>3</sup>	Relleno con material de base en labores de bacheo.
9	5.50	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	1.09	1.09	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
9	3.46	Bache menor	Alta	Parcheo profundo.	13.33	13.33	m <sup>3</sup>	Colocación de nueva carpeta de concreto asfáltico en labores de bacheo.
9	18.25	Piel de cocodrilo	Alta	Reconstrucción.	13.33	13.33	m <sup>3</sup>	Colocación de nueva carpeta de concreto asfáltico en labores de bacheo.
9					1.09	1.09	m <sup>3</sup>	Relleno con material de base en labores de bacheo.
10	0.03	Bache menor	Media	Parcheo parcial o profundo.	13.33	13.33	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asfáltico en labores de bacheo.
10	22.00	Grietas longitudinales y transversales	Media	Sellado de grietas.	1.09	1.09	m	Sello de fisuras y grietas.
11	0.00	Sin daño	Baja	No se hace nada.	13.33	13.33		
12	0.00	Sin daño	Baja	No se hace nada.	1.09	1.09		
13	0.00	Sin daño	Baja	No se hace nada.	13.33	13.33		

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. Reparaciones a realizar para un PCI = 88

RN-07-W-06: Cunén - Sacapulas							PCI = 88	
Longitud = 15.10 km			Promedio de área evaluar = 257.83 m <sup>2</sup>					
Ancho de carril = 6.45m			Factor de ancho = 7.2/6.45 = 1.12			Factor de longitud = 23.59		
N° muestra	Densidad daño	Descripción daño	Sev.	Trabajo	Cantidad	Cant. de cálculo	Unidad	Renglón
1	10.00	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	264.21	264.21	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
2	4.00	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	105.68	105.68	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
2	10.10	Grietas longitudinales y transversales	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	266.85	266.85	m	Sello de fisuras y grietas.
3	9.00	Grietas parabólicas	Baja	No se hace nada. Parcheo parcial	237.79	19.02	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
4	7.00	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	184.95	184.95	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
5	0.65	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	17.17	17.17	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
6	10.00	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	264.21	264.21	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
6	17.60	Desnivel carril/hombro	Alta	Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.	465.01	55.80	m <sup>3</sup>	Exc no clasificada de préstamo vol < 5000 m <sup>3</sup> acarreo = 5 km
6						697.52	m <sup>2</sup>	Limpieza del derecho de vía.
7	0.13	Bache menor	Baja	No se hace nada. Parcheo parcial o profundo.	3.55	0.28	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						0.14	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.
7	0.44	Bache menor	Alta	Parcheo profundo.	11.67	0.93	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						0.47	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.
7	21.44	Desprendimiento de agregados	Alta	Sobrecarpeta. Reciclaje. Reconstrucción.	566.46	45.32	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						22.66	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.
7	0.70	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	18.49	18.49	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
8	0.64	Desprendimiento de agregados	Alta	Sobrecarpeta. Reciclaje. Reconstrucción.	16.91	1.35	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
8	0.16	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	4.23	4.23	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
8	2.70	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	71.34	71.34	m <sup>3</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).

Continuación de la tabla X.

RN-07-W-06: Cunén - Sacapulas								PCI = 88
Longitud = 15.10 km				Promedio de área evaluar = 257.83 m <sup>2</sup>				
Ancho de carril = 6.45m				Factor de ancho = 7.2/6.45 = 1.12		Factor de longitud = 23.59		
N° muestra	Densidad daño	Descripción daño	Sev.	Trabajo	Cantidad	Cant. de cálculo	Unidad	Renglón
8	10.00	Grietas longitudinales y transversales	Alta	Sellado de grietas. Parcheo parcial.	264.21	264.21	m	Sello de fisuras y grietas.
9	0.10	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	2.64	2.64	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
9	0.70	Grietas longitudinales y transversales	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	18.49	18.49	m	Sello de fisuras y grietas.
10	10.00	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	264.21	264.21	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
10	3.80	Desnivel carril/hombro	Alta	Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.	100.40	12.05	m <sup>3</sup>	Exc no clasificada de préstamo vol < 5000 m <sup>3</sup> acarreo = 5 km
						150.60	m <sup>2</sup>	Limpieza del derecho de vía
11	5.40	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	142.67	142.67	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
12	1.89	Desprendimiento de agregados	Alta	Sobrecarpeta. Reciclaje. Reconstrucción.	49.94	4.00	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						2.00	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.
12	0.12	Bache menor	Baja	No se hace nada. Parcheo parcial o profundo.	3.16	0.25	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
12	0.28	Bache menor	Media	Parcheo parcial o profundo.	7.47	0.60	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
13	0.48	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	12.68	12.68	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
13	0.37	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	9.78	9.78	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
13	1.60	Grietas longitudinales y transversales	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	42.27	42.27	m	Sello de fisuras y grietas.
14	1.00	Grietas longitudinales y transversales	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	26.42	26.42	m	Sello de fisuras y grietas.
14	20.00	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	528.42	528.42	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
15	30.00	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	792.62	792.62	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
15	8.00	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	211.37	211.37	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
15	12.00	Grietas longitudinales y transversales	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	317.05	317.05	m	Sello de fisuras y grietas.

Continuación de la tabla X.

RN-07-W-06: Cunén - Sacapulas						PCI = 88		
Longitud = 15.10 km			Promedio de área evaluar = 257.83 m <sup>2</sup>					
Ancho de carril = 6.45m			Factor de ancho = 7.2/6.45 =1.12			Factor de longitud =23.59		
N° muestra	Densidad daño	Descripción daño	Sev.	Trabajo	Cantidad	Cant. de cálculo	Unidad	Renglón
16	10.77	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	284.55	284.55	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
16	1.07	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	Media	No se hace nada. Sustitución del parche.	28.27	2.26	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						1.13	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.
16	1.00	Abultamiento / hundimiento	Media	Reciclado en frío. Parcheo profundo o parcial.	26.42	2.11	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						1.06	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. Reparaciones a realizar para un PCI = 87

RD-PET-16: San Francisco - San Benito						PCI = 87		
Longitud = 13.34 km			Promedio de área evaluar = 256 m <sup>2</sup>					
Ancho de carril = 6.40m			Factor de ancho = 7.20/6.40 =1.13			Factor de longitud =20.84		
N° muestra	Densidad daño	Descripción daño	Sev.	Trabajo	Cantidad	Cant. de cálculo	Unidad	Renglón
1	5	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	117.75	117.75	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
2	40	Grietas longitudinales y transversales	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	941.97	941.97	m	Sello de fisuras y grietas.
2	7.7	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	181.33	181.33	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
3	40	Grietas longitudinales y transversales	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	941.97	941.97	m	Sello de fisuras y grietas.
4	60	Grietas longitudinales y transversales	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	1,412.95	1,412.95	m	Sello de fisuras y grietas.
5	50	Grietas longitudinales y transversales	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	1,177.46	1,177.46	m	Sello de fisuras y grietas.
6	84.7	Grietas longitudinales y transversales	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	1,994.62	1,994.62	m	Sello de fisuras y grietas.
7	20	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	470.98	470.98	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).

Continuación de la tabla XI.

RD-PET-16: San Francisco - San Benito							PCI = 87	
Longitud = 13.34 km			Promedio de área evaluar = 256 m <sup>2</sup>					
Ancho de carril = 6.40m			Factor de ancho = 7.20/6.40 = 1.13				Factor de longitud = 20.84	
N° muestra	Densidad daño	Descripción daño	Sev.	Trabajo	Cantidad	Cant. de cálculo	Unidad	Renglón
8	40	Grietas longitudinales y transversales	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	941.97	941.97	m	Sello de fisuras y grietas.
9	80	Grietas longitudinales y transversales	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	1,883.94	1,883.94	m	Sello de fisuras y grietas.
10	40	Grietas longitudinales y transversales	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	941.97	941.97	m	Sello de fisuras y grietas.
11	45.7	Grietas longitudinales y transversales	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	1,076.20	1,076.20	m	Sello de fisuras y grietas.
12	40	Grietas longitudinales y transversales	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	941.97	941.97	m	Sello de fisuras y grietas.
13	40	Grietas longitudinales y transversales	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	941.97	941.97	m	Sello de fisuras y grietas.
14	40	Grietas longitudinales y transversales	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	941.97	941.97	m	Sello de fisuras y grietas.
15	5	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	117.75	117.75	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
16	40	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	941.97	941.97	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
16	20	Desnivel carril/hombro	Alta	Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.	470.98	56.52	m <sup>3</sup>	Exc no clasificada de préstamo vol < 5000 m <sup>3</sup> acarreo = 5 km
						706.47	m <sup>2</sup>	Limpieza del derecho de vía.

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Reparaciones a realizar para un PCI = 80**

RN-17-02: Bifurcación RD-BV-05-01, Desvío San Jerónimo - Salamá							PCI = 80	
Longitud = 5.60 km			Promedio de área evaluar = 256 m <sup>2</sup>					
Ancho de carril = 7.20m			Factor de ancho = 7.20/7.20 = 1				Factor de longitud = 9.33	
N° muestra	Densidad daño	Descripción daño	Sev.	Trabajo	Cantidad	Cant. de cálculo	Unidad	Renglón
1	88.7	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	827.57	827.57	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
2	137.4	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	1,281.94	1,281.94	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
3	209	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	1,949.97	1,949.97	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).

Continuación de la tabla XII.

RN-17-02: Bifurcación RD-BV-05-01, Desvío San Jerónimo - Salamá								PCI = 80
Longitud = 5.60 km				Promedio de área evaluar = 256 m <sup>2</sup>				
Ancho de carril = 7.20m				Factor de ancho = 7.20/7.20 = 1				Factor de longitud = 9.33
N° muestra	Densidad daño	Descripción daño	Sev.	Trabajo	Cantidad	Cant. de cálculo	Unidad	Reglón
3	10.4	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	97.03	97.03	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
4	12.56	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	117.18	117.18	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
5	1	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	9.33	9.33	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
6	3	Grietas longitudinales y transversales	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	27.99	27.99	m	Sello de fisuras y grietas.
6	2.7	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	25.19	25.19	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
7	12.6	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	117.56	117.56	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
7	2.3	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	21.46	21.46	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
8	9	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	83.97	83.97	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
9	12.4	Grieta de bordes	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	115.69	115.69	m	Sello de fisuras y grietas.
9	32	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	298.56	298.56	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
10	8.7	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	81.17	81.17	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
11	5.4	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	50.38	50.38	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
12	4.5	Grietas longitudinales y transversales	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	41.99	41.99	m	Sello de fisuras y grietas.
12	3.6	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	33.59	33.59	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
13	2	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	18.66	18.66	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
14	2.1	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	19.59	19.59	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
15	9.4	Piel de cocodrilo	Media	Parqueo parcial o en toda la profundidad ( <i>full depth</i> ).	87.70	7.37	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						3.69	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. Reparaciones a realizar para un PCI = 71

RN-07-W-07: Sacapulas- Límite departamental El Quiché / Huehuetenango								PC = 71
Longitud =13.63 km				Promedio de área evaluar = 256 m <sup>2</sup>				
Ancho de carril =6.40m				Factor de ancho = 7.20/6.40 =1.13				Factor de longitud =21.3
N° muestra	Densidad daño	Descripción daño	Sev.	Trabajo	Cantidad	Cant. de cálculo	Unidad	Renglón
1	7.46	Grietas en bloque	Baja	Sellado de grietas con ancho > 3 mm. Riego de sello.	179.55	179.55	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
1	25.4	Grietas longitudinales y transversales	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	611.35	611.35	m	Sello de fisuras y grietas.
2	1.8	Grietas longitudinales y transversales	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	43.32	43.32	m	Sello de fisuras y grietas.
2	12.8	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	308.08	308.08	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
2	31	Grieta de bordes	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	746.14	746.14	m	Sello de fisuras y grietas.
3	11.9	Grietas longitudinales y transversales	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	286.42	286.42	m	Sello de fisuras y grietas.
3	5	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	120.35	120.35	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
3	1.5	Grieta de bordes	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	36.10	36.10	m	Sello de fisuras y grietas.
4	32.16	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	Alta	Sustitución del parche.	774.06	774.06	m <sup>2</sup>	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
						61.92	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
4	31.2	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	750.95	750.95	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
4	9	Desnivel carril/hombro	Alta	Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.	216.62	25.99	m <sup>3</sup>	Exc no clasificada de préstamo vol < 5000 m <sup>3</sup> acarreo = 5 km
						324.93	m <sup>2</sup>	Limpieza del derecho de vía
4	15.6	Abultamiento / hundimiento	Alta	Reciclado (fresado) en frío. Parcheo profundo o parcial.	375.48	30.04	m <sup>2</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						15.02	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.
5	11.4	Grietas longitudinales y transversales	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	274.39	274.39	m	Sello de fisuras y grietas.
6	11	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	264.76	264.76	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).



Continuación de la tabla XIII.

RN-07-W-07: Sacapulas- Límite departamental El Quiché / Huehuetenango								
Longitud =13.63 km			Promedio de área evaluar = 256 m <sup>2</sup>					
Ancho de carril =6.40m			Factor de ancho = 7.20/6.40 =1.13			Factor de longitud =21.3		
N° muestra	Densidad daño	Descripción daño	Sev.	Trabajo	Cantidad	Cant. de cálculo	Unidad	Reglón
6	22.3	Grietas longitudinales y transversales	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	536.74	536.74	m	Sello de fisuras y grietas.
7	8.36	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	201.22	201.22	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
7	1	Grietas longitudinales y transversales	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	24.07	24.07	m	Sello de fisuras y grietas.
8	1	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	24.07	24.07	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
9	5	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	120.35	120.35	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
9	5.58	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	Alta	Sustitución del parche.	134.31	7.05	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						0.71	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.
10	38.4	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	924.25	924.25	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
10	20	Grietas longitudinales y transversales	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	481.38	481.38	m	Sello de fisuras y grietas.
10	0.098175	Bache menor	Baja	No se hace nada. Parcheo parcial o profundo.	2.36	0.19	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						0.10	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.
10	1.767146	Bache menor	Alta	Parcheo profundo.	42.53	3.40	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						1.70	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.
10	6.1	Abultamiento / hundimiento	Media	Reciclado en frío. Parcheo profundo o parcial.	146.82	11.75	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						5.88	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.
11	61	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	1,468.21	1,468.21	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
12	3	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	72.21	72.21	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
13	46.76	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	1,125.47	1,125.47	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
13	39.06	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	Media	No se hace nada. Sustitución del parche.	940.14	146.84	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.

Continuación de la tabla XIII.

RN-07-W-07: Sacapulas- Límite departamental El Quiché / Huehuetenango								PC = 71
Longitud =13.63 km				Promedio de área evaluar = 256 m <sup>2</sup>				
Ancho de carril =6.40m				Factor de ancho = 7.20/6.40 =1.13				Factor de longitud =21.3
N° muestra	Densidad daño	Descripción daño	Sev.	Trabajo	Cantidad	Cant. de cálculo	Unidad	Renglón
13	18.6	Abultamiento / hundimiento	Baja	No se hace nada.	447.68	73.42	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.
14	64	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	1,540.42	1,540.42	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
14	22.2	Grietas longitudinales y transversales	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	534.33	534.33	m	Sello de fisuras y grietas.
15	14.26	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	343.22	343.22	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
16	5	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	120.35	120.35	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. Reparaciones a ejecutar para un PCI = 60

RD-QUI-02-01: Santa Cruz del Quiché - Chiche								PCI = 60
Longitud = 9.70 km				Promedio de área evaluar = 256 m <sup>2</sup>				
Ancho de carril = 6.40m				Factor de ancho = 7.2/6.40 =1.13				Factor de longitud =15.16
N° muestra	Densidad daño	Descripción daño	Sev.	Trabajo	Cantidad	Cant. de cálculo	Unidad	Renglón
1	49.44	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	846.95	846.95	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
2	120.7	Piel de cocodrilo	Media	Parcheo parcial o en toda la profundidad ( <i>full depth</i> ).	2,067.69	165.42	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						82.71	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.
3	15.87	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	Baja	No se hace nada.	271.87			
3	0.049087	Bache menor	Media	parcheo parcial o profundo.	0.84	0.07	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						0.04	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.
3	43.2	Piel de cocodrilo	Media	Parcheo parcial o en toda la profundidad ( <i>full depth</i> ).	740.05	59.20	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						29.60	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.
4	30.3	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	519.06	519.06	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
5	35.1	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	601.29	601.29	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
6	23.54	Piel de cocodrilo	Media	Parcheo parcial o en toda la profundidad ( <i>full depth</i> ).	403.26	32.26	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.

Continuación de la tabla XIV.

RD-QUI-02-01: Santa Cruz del Quiché - Chiche								PCI = 60
Longitud = 9.70 km				Promedio de área evaluar = 256 m <sup>2</sup>				
Ancho de carril = 6.40m				Factor de ancho = 7.2/6.40 = 1.13		Factor de longitud = 15.16		
N° muestra	Densidad daño	Descripción daño	Sev.	Trabajo	Cantidad	Cant. de cálculo	Unidad	Renglón
6	47.44	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	812.69	812.69	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
						16.13	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.
7	7	Piel de cocodrilo	Alta	Reconstrucción.	119.92	9.59	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						4.80	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.
7	103.92	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	Baja	No se hace nada.	1,780.23			
7	147.18	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	2,521.31	2,521.31	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
8	15.13	Piel de cocodrilo	Media	Parcheo parcial o en toda la profundidad ( <i>full depth</i> ).	259.19	20.74	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						10.37	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.
8	288.42	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	Baja	No se hace nada.	4,940.87			
9	6.51	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	111.52	111.52	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
9	1.6	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	Media	No se hace nada. Sustitución del parche.	27.41	2.19	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						1.10	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.
10	64.84	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	1,110.76	1,110.76	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
11	20.43	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	Baja	No se hace nada.	349.98			
11	7.92	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	135.68	135.68	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
12	15.3	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	262.10	262.10	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
13	204.96	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	3,511.13	3,511.13	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
13	51.02	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	Baja	No se hace nada.	874.01			
13	7.952156	Bache menor	Alta	Parcheo profundo.	136.23	10.90	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						5.45	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.
14	0	Sin daño	Baja	No se hace nada.	0.00			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. Reparaciones a ejecutar para un PCI = 50

CA-13-04: Modesto Méndez - Secoyob								PCI = 50
Longitud =21.98 km				Promedio de área evaluar = 272 m <sup>2</sup>				
Ancho de carril =6.80m				Factor de ancho 7.20/6.80 =1.06		Factor de longitud =34.34		
N° muestra	Densidad daño	Descripción daño	Sev.	Trabajo	Cantidad	Cant. de cálculo	Unidad	Renglón
1	10.2	Piel de cocodrilo	Media	Parcheo parcial o en toda la profundidad ( <i>full depth</i> ).	371.28	29.70	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						14.85	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.
1	40	Grieta de bordes	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	1,456.02	1456.02	m	Sello de fisuras y grietas.
1	18.2	Desnivel carril/hombro	Alta	Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.	662.49	79.50	m <sup>3</sup>	Exc no clasificada de préstamo vol < 5000 m <sup>3</sup> acarreo = 5 km
						993.74	m <sup>2</sup>	Limpieza del derecho de vía
1	225	Ahuellamiento	Baja	No se hace nada. Fresado y sobrecarpeta	8,190.09	8190.09	m <sup>2</sup>	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
						8190.09	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
2	14.41	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	Baja	No se hace nada.	524.53			
2	14.5	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	527.81	527.81	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
2	0.096211	Bache menor	Baja	No se hace nada. Parcheo parcial o profundo.	3.50	0.28	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						0.14	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.
2	225	Ahuellamiento	Baja	No se hace nada. Fresado y sobrecarpeta	8,190.09	8190.09	m <sup>2</sup>	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
						8190.09	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
2	25.5	Grietas longitudinales y transversales	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	928.21	928.21	m	Sello de fisuras y grietas.
2	14.5	Piel de cocodrilo	Media	Parcheo parcial o en toda la profundidad ( <i>full depth</i> ).	527.81	42.22	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						2.11	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.
3	24.7	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	899.09	899.09	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
3	3.7	Grietas longitudinales y transversales	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	134.68	134.68	m	Sello de fisuras y grietas.

Continuación de la tabla XV.

CA-13-04: Modesto Méndez - Secoyob								PCI = 50
Longitud =21.98 km				Promedio de área evaluar = 272 m²				
Ancho de carril =6.80m				Factor de ancho 7.20/6.80 =1.06		Factor de longitud =34.34		
N° muestra	Densidad daño	Descripción daño	Sev.	Trabajo	Cantidad	Cant. de cálculo	Unidad	Renglón
3	80	Ahuellamiento	Baja	No se hace nada. Fresado y sobrecarpeta	2,912.03	2912.03	m²	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
						2912.03	m²	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
4	40	Desnivel carril/hombro	Alta	Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.	1,456.02	174.72	m³	Exc no clasificada de préstamo vol < 5000 m³ acarreo = 5 km
						2184.03	m²	Limpieza del derecho de vía
4	80	Ahuellamiento	Baja	No se hace nada. Fresado y sobrecarpeta	2,912.03	2912.03	m²	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
						2912.03	m²	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
4	40	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	1,456.02	1456.02	m²	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
4	80	Ahuellamiento	Media	Parcheo superficial, parcial o profundo.	2,912.03	2912.03	m²	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
						174.72	m³	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
5	240	Ahuellamiento	Baja	No se hace nada. Fresado y sobrecarpeta	8,736.10	8736.10	m²	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
						8736.10	m²	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
5	80	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	2,912.03	2912.03	m²	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
6	49	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	1,783.62	1783.62	m²	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
6	15	Desnivel carril/hombro	Alta	Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.	546.01	65.52	m³	Exc no clasificada de préstamo vol < 5000 m³ acarreo = 5 km
						819.02	m²	Limpieza del derecho de vía.
6	0.01131	Bache menor	Baja	No se hace nada. Parcheo parcial o profundo.	0.41	0.02	m³	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						0.01	m³	Relleno con base para bacheo.
7	18.4	Piel de cocodrilo	Alta	Reconstrucción.	669.77	53.58	m³	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						2.68	m³	Relleno con base para bacheo.

Continuación de la tabla XV.

CA-13-04: Modesto Méndez - Secoyob							PCI = 50	
Longitud =21.98 km			Promedio de área evaluar = 272 m <sup>2</sup>					
Ancho de carril =6.80m			Factor de ancho 7.20/6.80 =1.06			Factor de longitud =34.34		
N° muestra	Densidad daño	Descripción daño	Sev.	Trabajo	Cantidad	Cant. de cálculo	Unidad	Renglón
7	25	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	910.01	910.01	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica (slurry seal).
7	27.87	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	Baja	No se hace nada.	1,014.48			
8	0.75	Desprendimiento de agregados	Alta	Sobrecarpeta. Reciclaje. Reconstrucción.	27.30	27.30	m <sup>2</sup>	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
						2.18	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
9	0.35	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	Baja	No se hace nada.	12.74			
9	128	Ahuellamiento	Baja	No se hace nada. Fresado y sobrecarpeta	4,659.25	4659.25	m <sup>2</sup>	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
						4659.25	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica (slurry seal).
10	12	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	436.80	436.80	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica (slurry seal).
11	1	Piel de cocodrilo	Alta	Reconstrucción.	36.40	2.91	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
11	128	Ahuellamiento	Baja	No se hace nada. Fresado y sobrecarpeta	4,659.25	4659.25	m <sup>2</sup>	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
						4659.25	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica (slurry seal).
11	0.441786	Bache menor	Alta	Parqueo profundo.	16.08	0.84	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						0.42	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.
12	128	Ahuellamiento	Baja	No se hace nada. Fresado y sobrecarpeta	4,659.25	4659.25	m <sup>2</sup>	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
						4659.25	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica (slurry seal).
12	40	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	1,456.02	1456.02	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica (slurry seal).
13	128	Ahuellamiento	Baja	No se hace nada. Fresado y sobrecarpeta	4,659.25	4659.25	m <sup>2</sup>	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
						4659.25	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica (slurry seal).
14	40	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	1,456.02	1456.02	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica (slurry seal).

Continuación de la tabla XV.

CA-13-04: Modesto Méndez - Secoyob								PCI = 50
Longitud =21.98 km				Promedio de área evaluar = 272 m <sup>2</sup>				
Ancho de carril =6.80m				Factor de ancho 7.20/6.80 =1.06		Factor de longitud =34.34		
N° muestra	Densidad daño	Descripción daño	Sev.	Trabajo	Cantidad	Cant. de cálculo	Unidad	Renglón
14	70	Desprendimiento de agregados	Alta	Sobrecarpeta. Reciclaje. Reconstrucción.	2,548.03	2548.03	m <sup>2</sup>	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
						2548.03	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
15	23	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	837.21	837.21	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
						837.21	m <sup>2</sup>	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
16	11	Desnivel carril/hombro	Alta	Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.	400.40	48.05	m <sup>3</sup>	Exc no clasificada de préstamo vol < 5000 m <sup>3</sup> acarreo = 5 km
						600.60	m <sup>2</sup>	Limpieza del derecho de vía.
16	1	Piel de cocodrilo	Media	Parcheo parcial o en toda la profundidad ( <i>full depth</i> ).	36.40	2.91	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						1.46	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.
16	128	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	4,659.25	4659.25	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
16	128	Ahuellamiento	Baja	No se hace nada. Fresado y sobrecarpeta	4,659.25	4659.25	m <sup>2</sup>	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
						4659.25	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. Reparaciones a ejecutar para un PCI = 40

CA-13-05: Secoyob - San Luis								PCI = 40
Longitud =25.50 km				Promedio de área evaluar = 272 m <sup>2</sup>				
Ancho de carril =6.80m				Factor de ancho =7.20/6.80 =1.06		Factor de longitud =39.84		
N° muestra	Densidad daño	Descripción daño	Sev.	Trabajo	Cantidad	Cant. de cálculo	Unidad	Renglón
1	66	Ahuellamiento	Baja	No se hace nada. Fresado y sobrecarpeta	2,787.21	2,787.21	m <sup>2</sup>	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
						2,787.21	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
1	60.77	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	2,566.34	2,566.34	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).

Continuación de la tabla XVI.

CA-13-05: Secoyob - San Luis								PCI = 40
Longitud =25.50 km		Promedio de área evaluar = 272 m <sup>2</sup>						
Ancho de carril =6.80m		Factor de ancho =7.20/6.80 =1.06				Factor de longitud =39.84		
N° muestra	Densidad daño	Descripción daño	Sev.	Trabajo	Cantidad	Cant. de cálculo	Unidad	Renglón
2	43.29	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	Alta	Sustitución del parche.	1,828.15	146.25	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						73.13	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.
2	6.36	Grietas en bloque	Alta	Escarificado en caliente y sobrecarpeta.	268.59	268.59	m <sup>2</sup>	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
						21.49	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
2	44.32	Grietas en bloque	Baja	Sellado de grietas con ancho > 3 mm. Riego de sello.	1,871.65	1,871.65	m	Sello de fisuras y grietas.
3	2.121	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	Baja	No se hace nada.	89.57	10.75	m <sup>3</sup>	Exc no clasificada de préstamo vol < 5000 m <sup>3</sup> acarreo = 5 km
3	80	Desnivel carril/hombro	Alta	Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.	3,378.43	134.36	m <sup>2</sup>	Limpieza del derecho de vía
3	260	Grietas longitudinales y transversales	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	10,979.90	10,979.90	m	Sello de fisuras y grietas.
3	128	Ahuellamiento	Baja	No se hace nada. Fresado y sobrecarpeta	5,405.49	5,405.49	m <sup>2</sup>	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
						5,405.49	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica (slurry seal).
3	9.2	Grieta de bordes	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	388.52	388.52	m	Sello de fisuras y grietas.
4	80	Desnivel carril/hombro	Alta	Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.	3,378.43	405.41	m <sup>3</sup>	Exc no clasificada de préstamo vol < 5000 m <sup>3</sup> acarreo = 5 km
						5,067.65	m <sup>2</sup>	Limpieza del derecho de vía.
4	64	Ahuellamiento	Baja	No se hace nada. Fresado y sobrecarpeta	2,702.75	2,702.75	m <sup>2</sup>	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
						2,702.75	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica (slurry seal).
4	2.8	Grieta de bordes	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	118.25	118.25	m	Sello de fisuras y grietas.
4	124	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	5,236.57	5,236.57	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica (slurry seal).
4	0.031416	Bache menor	Baja	No se hace nada. Parcheo parcial o profundo.	1.33	0.11	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						0.06	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.



Continuación de la tabla XVI.

CA-13-05: Secoyob - San Luis								
PCI = 40								
Longitud =25.50 km			Promedio de área evaluar = 272 m²					
Ancho de carril =6.80m			Factor de ancho =7.20/6.80 =1.06			Factor de longitud =39.84		
N° muestra	Densidad daño	Descripción daño	Sev.	Trabajo	Cantidad	Cant. de cálculo	Unidad	Reglón
4	64	Ahuellamiento	Media	Parcheo superficial, parcial o profundo.	2,702.75	2,702.75	m²	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
						162.17	m³	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
5	128	Ahuellamiento	Media	Parcheo superficial, parcial o profundo.	5,405.49	5,405.49	m²	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
						324.33	m³	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
5	29	Grietas longitudinales y transversales	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	1,224.68	1,224.68	m	Sello de fisuras y grietas.
5	70.8	Desnivel carril/hombro	Alta	Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.	2,989.91	358.79	m³	Exc no clasificada de préstamo vol < 5000 m³ acarreo = 5 km
						4,484.87	m²	Limpieza del derecho de vía
6	40	Desnivel carril/hombro	Media	Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.	1,689.22	202.71	m³	Exc no clasificada de préstamo vol < 5000 m³ acarreo = 5 km
					0.00	2,533.83	m²	Limpieza del derecho de vía
6	160	Ahuellamiento	Baja	No se hace nada. Fresado y sobrecarpeta	6,756.86	6,756.86	m²	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
					0.00	6,756.86	m²	Lechada asfáltica (slurry seal).
7	64	Ahuellamiento	Baja	No se hace nada. Fresado y sobrecarpeta	2,702.75	2,702.75	m²	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
					0.00	2,702.75	m²	Lechada asfáltica (slurry seal).
7	1.2	Grietas en bloque	Baja	Sellado de grietas con ancho > 3 mm. Riego de sello.	50.68	50.68	m	Sello de fisuras y grietas.
8	20	Ahuellamiento	Alta	Fresado y sobrecarpeta	844.61	844.61	m²	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
						67.57	m³	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
8	108	Ahuellamiento	Baja	No se hace nada. Fresado y sobrecarpeta	4,560.88	4,560.88	m²	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
						4,560.88	m²	Lechada asfáltica (slurry seal).

Continuación de la tabla XVI.

CA-13-05: Secoyob - San Luis								
Longitud =25.50 km								
Ancho de carril =6.80m								
Promedio de área evaluar = 272 m <sup>2</sup>								
Factor de ancho =7.20/6.80 =1.06								
Factor de longitud =39.84								
N° muestra	Densidad daño	Descripción daño	Sev.	Trabajo	Cantidad	Cant. de cálculo	Unidad	Renglón
8	20	Grietas en bloque	Alta	Escarificado en caliente y sobrecarpeta.	844.61	844.61	m <sup>2</sup>	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
						67.57	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
8	108	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	4,560.88	4,560.88	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica (slurry seal).
9	40	Desnivel carril/hombro	Media	Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.	1,689.22	202.71	m <sup>3</sup>	Exc no clasificada de préstamo vol < 5000 m <sup>3</sup> acarreo = 5 km
					0.00	2,533.83	m <sup>2</sup>	Limpieza del derecho de vía
9	40	Desnivel carril/hombro	Alta	Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.	1,689.22	202.71	m <sup>3</sup>	Exc no clasificada de préstamo vol < 5000 m <sup>3</sup> acarreo = 5 km
					0.00	2,533.83	m <sup>2</sup>	Limpieza del derecho de vía
9	128	Ahuellamiento	Baja	No se hace nada. Fresado y sobrecarpeta	5,405.49	5,405.49	m <sup>2</sup>	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
					0.00	5,405.49	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica (slurry seal).
10	3.3	Piel de cocodrilo	Alta	Reconstrucción.	139.36	139.36	m <sup>2</sup>	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
						11.15	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						5.58	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.
10	5.74	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	Media	No se hace nada. Sustitución del parche.	242.40	19.39	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
10	1	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	42.23	42.23	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica (slurry seal).
10	64	Ahuellamiento	Baja	No se hace nada. Fresado y sobrecarpeta	2,702.75	2,702.75	m <sup>2</sup>	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
						2,702.75	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica (slurry seal).
10	80	Desnivel carril/hombro	Alta	Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.	3,378.43	405.41	m <sup>3</sup>	Exc no clasificada de préstamo vol < 5000 m <sup>3</sup> acarreo = 5 km
						5,067.65	m <sup>2</sup>	Limpieza del derecho de vía
10	6.24	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	Alta	Sustitución del parche.	263.52	21.08	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.

Continuación de la tabla XVI.

CA-13-05: Secoyob - San Luis								PCI = 40
Longitud =25.50 km		Promedio de área evaluar = 272 m²						
Ancho de carril =6.80m		Factor de ancho =7.20/6.80 =1.06				Factor de longitud =39.84		
N° muestra	Densidad daño	Descripción daño	Sev.	Trabajo	Cantidad	Cant. de cálculo	Unidad	Reglón
10	0.070686	Bache menor	Media	Parcheo parcial o profundo.	2.99	0.24	m³	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						0.12	m³	Relleno con base para bacheo.
11	80	Desnivel carril/hombro	Alta	Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.	3,378.43	405.41	m³	Exc no clasificada de préstamo vol < 5000 m³ acarreo = 5 km
					0.00	5,067.65	m²	Limpieza del derecho de vía
11	0.63	Desprendimiento de agregados	Alta	Sobrecarpeta. Reciclaje. Reconstrucción.	26.61	26.61	m²	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
					0.00	26.61	m²	Lechada asfáltica (slurry seal).
11	128	Ahuellamiento	Baja	No se hace nada. Fresado y sobrecarpeta	5,405.49	5,405.49	m²	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
					0.00	5,405.49	m²	Lechada asfáltica (slurry seal).
12	0.8	Desprendimiento de agregados	Media	Sello superficial. Tratamiento superficial.	33.78	33.78	m²	Lechada asfáltica (slurry seal).
12	2.6	Piel de cocodrilo	Alta	Reconstrucción.	109.80	109.80	m²	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
						8.78	m³	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						4.39	m³	Relleno con base para bacheo.
12	130	Ahuellamiento	Baja	No se hace nada. Fresado y sobrecarpeta.	5,489.95	5,489.95	m²	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
						5,489.95	m²	Lechada asfáltica (slurry seal).
12	11	Grietas longitudinales y transversales	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	464.53	464.53	m	Sello de fisuras y grietas.
12	0.56	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	23.65	23.65	m²	Lechada asfáltica (slurry seal).
12	0.049087	Bache menor	Media	parcheo parcial o profundo.	2.07	0.17	m³	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
12	80	Desnivel carril/hombro	Alta	Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.	3,378.43	405.41	m³	Exc no clasificada de préstamo vol < 5000 m³ acarreo = 5 km
						5,067.65	m²	Limpieza del derecho de vía
13	9.6	Grietas longitudinales y transversales	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	405.41	405.41	m	Sello de fisuras y grietas.

Continuación de la tabla XVI.

CA-13-05: Secoyob - San Luis								PCI = 40
Longitud =25.50 km		Promedio de área evaluar = 272 m <sup>2</sup>						
Ancho de carril =6.80m		Factor de ancho =7.20/6.80 =1.06				Factor de longitud =39.84		
N° muestra	Densidad daño	Descripción daño	Sev.	Trabajo	Cantidad	Cant. de cálculo	Unidad	Renglón
13	40	Desnivel carril/hombro	Alta	Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.	1,689.22	202.71	m <sup>3</sup>	Exc no clasificada de préstamo vol < 5000 m <sup>3</sup> acarreo = 5 km
					0.00	2,533.83	m <sup>2</sup>	Limpieza del derecho de vía
13	64	Ahuellamiento	Baja	No se hace nada. Fresado y sobrecarpeta	2,702.75	2,702.75	m <sup>2</sup>	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
					0.00	2,702.75	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica (slurry seal).
14	23.2	Grietas longitudinales y transversales	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	979.75	979.75	m	Sello de fisuras y grietas.
14	40	Desnivel carril/hombro	Alta	Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.	1,689.22	202.71	m <sup>3</sup>	Exc no clasificada de préstamo vol < 5000 m <sup>3</sup> acarreo = 5 km
					0.00	2,533.83	m <sup>2</sup>	Limpieza del derecho de vía
15	64.64	Ahuellamiento	Media	Parcheo superficial, parcial o profundo.	2,729.77	2,729.77	m <sup>2</sup>	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
						163.79	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
15	29.92	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	Alta	Sustitución del parche.	1,263.53	101.08	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
15	6	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	Baja	No se hace nada.	253.38			
16	64	Ahuellamiento	Baja	No se hace nada. Fresado y sobrecarpeta	2,702.75	2,702.75	m <sup>2</sup>	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
					0.00	2,702.75	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica (slurry seal).
16	40	Desnivel carril/hombro	Alta	Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.	1,689.22	202.71	m <sup>3</sup>	Exc no clasificada de préstamo vol < 5000 m <sup>3</sup> acarreo = 5 km
					0.00	2,533.83	m <sup>2</sup>	Limpieza del derecho de vía
16	4.6	Grietas longitudinales y transversales	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	194.26	194.26	m	Sello de fisuras y grietas.

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. Reparaciones a ejecutar para un PCI = 30

RN-05-01: Guatemala - San Pedro Sacatepéquez								PCI = 30
Longitud =25.50 km				Promedio de área evaluar = 272 m <sup>2</sup>				
Ancho de carril =6.80m				Factor de ancho 7.20/6.80 =0.98				Factor de longitud =14.53
N° muestra	Densidad daño	Descripción daño	Sev.	Trabajo	Cantidad	Cant. de cálculo	Unidad	Renglón
1	120	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	1,708.73	1,708.73	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
1	40	Desnivel carril/hombro	Media	Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.	569.58	68.35	m <sup>3</sup>	Exc no clasificada de préstamo vol < 5000 m <sup>3</sup> acarreo = 5 km
						854.37	m <sup>2</sup>	Limpieza del derecho de vía
1	40	Ahuellamiento	Media	Parcheo superficial, parcial o profundo.	569.58	569.58	m <sup>2</sup>	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
						34.17	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
1	66	Piel de cocodrilo	Media	Parcheo parcial o en toda la profundidad ( <i>full depth</i> ).	939.80	939.80	m <sup>2</sup>	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
						75.18	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
2	36	Piel de cocodrilo	Media	Parcheo parcial o en toda la profundidad ( <i>full depth</i> ).	512.62	512.62	m <sup>2</sup>	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
2	23.6	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	Baja	No se hace nada.	336.05	41.01	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
2	66	Piel de cocodrilo	Alta	Reconstrucción.	939.80	75.18	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						37.59	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.
3	92.4	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	1,315.72	1,315.72	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
3	115	Piel de cocodrilo	Media	Parcheo parcial o en toda la profundidad ( <i>full depth</i> ).	1,637.53	105.26	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						52.63	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.
3	38	Piel de cocodrilo	Alta	Reconstrucción.	541.10	541.10	m <sup>2</sup>	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
						43.29	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						21.65	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.
3	2	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	Baja	No se hace nada.	28.48			

Continuación de la tabla XVII.

RN-05-01: Guatemala - San Pedro Sacatepéquez							PCI = 30	
Longitud =25.50 km			Promedio de área evaluar = 272 m <sup>2</sup>					
Ancho de carril =6.80m			Factor de ancho 7.20/6.80 =0.98				Factor de longitud =14.53	
N° muestra	Densidad daño	Descripción daño	Sev.	Trabajo	Cantidad	Cant. de cálculo	Unidad	Renglón
4	126	Piel de cocodrilo	Media	Parcheo parcial o en toda la profundidad ( <i>full depth</i> ).	1,794.16	2.28	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						1.14	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.
4	12.4	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	Baja	No se hace nada.	176.57			
4	55	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	783.17	783.17	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
4	8	Grietas en bloque	Baja	Sellado de grietas con ancho > 3 mm. Riego de sello.	113.92	113.92	m	Sello de fisuras y grietas.
4	11.95	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	Media	No se hace nada. Sustitución del parche.	170.16	9.11	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						4.56	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.
5	15	Piel de cocodrilo	Alta	Reconstrucción.	213.59	213.59	m <sup>2</sup>	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
						17.09	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						8.55	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.
5	10	Piel de cocodrilo	Media	Parcheo parcial o en toda la profundidad ( <i>full depth</i> ).	142.39	11.39	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						5.70	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.
5	9	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	128.15	128.15	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
5	40	Desnivel carril/hombro	Media	Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.	569.58	68.35	m <sup>3</sup>	Exc no clasificada de préstamo vol < 5000 m <sup>3</sup> acarreo = 5 km
						854.37	m <sup>2</sup>	Limpieza del derecho de vía
5	40	Desnivel carril/hombro	Baja	Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.	569.58	68.35	m <sup>3</sup>	Exc no clasificada de préstamo vol < 5000 m <sup>3</sup> acarreo = 5 km
						854.37	m <sup>2</sup>	Limpieza del derecho de vía
6	18	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	256.31	256.31	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
6	16.4	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	233.53	233.53	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).

Continuación de la tabla XVII.

RN-05-01: Guatemala - San Pedro Sacatepéquez								PCI = 30
Longitud =25.50 km				Promedio de área evaluar = 272 m²				
Ancho de carril =6.80m				Factor de ancho 7.20/6.80 =0.98				Factor de longitud =14.53
N° muestra	Densidad daño	Descripción daño	Sev.	Trabajo	Cantidad	Cant. de cálculo	Unidad	Renglón
7	2	Grietas longitudinales y transversales	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	28.48	28.48	m	Sello de fisuras y grietas.
7	10	Piel de cocodrilo	Alta	Reconstrucción.	142.39	142.39	m²	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
						11.39	m³	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						5.70	m³	Relleno con base para bacheo.
7	30	Piel de cocodrilo	Media	Parcheo parcial o en toda la profundidad ( <i>full depth</i> ).	427.18	34.17	m³	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						17.09	m³	Relleno con base para bacheo.
7	26	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	370.22	370.22	m²	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
8	72	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	1,025.24	1,025.24	m²	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
8	60	Piel de cocodrilo	Media	Parcheo parcial o en toda la profundidad ( <i>full depth</i> ).	854.36	68.35	m³	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						34.18	m³	Relleno con base para bacheo.
9	18	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	256.31	256.31	m²	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
10	90	Piel de cocodrilo	Media	Parcheo parcial o en toda la profundidad ( <i>full depth</i> ).	1,281.55	102.52	m³	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						51.26	m³	Relleno con base para bacheo.
10	12	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	Baja	No se hace nada.	170.87			
10	5.4	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	Alta	Sustitución del parche.	76.89	6.15	m³	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						3.08	m³	Relleno con base para bacheo.
10	14	Desprendimiento de agregados	Alta	Sobrecarpeta. Reciclaje. Reconstrucción.	199.35	199.35	m²	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
10	5	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	Media	No se hace nada. Sustitución del parche.	71.20	5.70	m³	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						2.85	m³	Relleno con base para bacheo.
11	4.7	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	66.93	66.93	m²	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).

Continuación de la tabla XVII.

RN-05-01: Guatemala - San Pedro Sacatepéquez							PCI = 30	
Longitud =25.50 km			Promedio de área evaluar = 272 m <sup>2</sup>					
Ancho de carril =6.80m			Factor de ancho 7.20/6.80 =0.98				Factor de longitud =14.53	
N° muestra	Densidad daño	Descripción daño	Sev.	Trabajo	Cantidad	Cant. de cálculo	Unidad	Renglón
11	12.5	Piel de cocodrilo	Alta	Reconstrucción.	177.99	177.99	m <sup>2</sup>	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
						14.24	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						7.12	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.
11	17	Piel de cocodrilo	Media	Parcheo parcial o en toda la profundidad ( <i>full depth</i> ).	242.07	19.37	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						9.69	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.
12	18.5	Desprendimiento de agregados	Alta	Sobrecarpeta. Reciclaje. Reconstrucción.	263.43	263.43	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
12	22	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	313.27	313.27	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
12	15	Piel de cocodrilo	Media	Parcheo parcial o en toda la profundidad ( <i>full depth</i> ).	213.59	17.09	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						8.55	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.
12	16	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	Alta	Sustitución del parche.	227.83	18.23	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						9.12	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.
12	81.7	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	Baja	No se hace nada.	1,163.36			
12	63	Piel de cocodrilo	Alta	Reconstrucción.	897.08	897.08	m <sup>2</sup>	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
						71.77	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						35.89	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.
13	65	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	925.56	925.56	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
13	100	Grietas en bloque	Baja	Sellado de grietas con ancho > 3 mm. Riego de sello.	1,423.94	1,423.94	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
13	32	Piel de cocodrilo	Media	Parcheo parcial o en toda la profundidad ( <i>full depth</i> ).	455.66	36.45	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						18.23	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.



Continuación de la tabla XVII.

RN-05-01: Guatemala - San Pedro Sacatepéquez								PCI = 30
Longitud =25.50 km				Promedio de área evaluar = 272 m²				
Ancho de carril =6.80m				Factor de ancho 7.20/6.80 =0.98				Factor de longitud =14.53
N° muestra	Densidad daño	Descripción daño	Sev.	Trabajo	Cantidad	Cant. de cálculo	Unidad	Renglón
13	32	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	Media	No se hace nada. Sustitución del parche.	455.66	36.45	m³	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						18.23	m³	Relleno con base para bacheo.
13	53	Piel de cocodrilo	Alta	Reconstrucción.	754.69	754.69	m²	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
						60.38	m³	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						30.19	m³	Relleno con base para bacheo.
14	39	Desprendimiento de agregados	Baja	Sello superficial. Tratamiento superficial.	555.34	555.34	m²	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
14	24	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	341.75	341.75	m²	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
14	6	Grietas longitudinales y transversales	Baja	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho > 3 mm.	85.44	85.44	m	Sello de fisuras y grietas.
15	34.25	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	487.70	487.70	m²	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).
15	12.6	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	Media	No se hace nada. Sustitución del parche.	179.42	14.35	m³	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						7.18	m³	Relleno con base para bacheo.
15	14	Piel de cocodrilo	Alta	Reconstrucción	199.35	199.35	m²	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
						15.95	m³	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						7.98	m³	Relleno con base para bacheo.
15	10	Desnivel carril/hombro	Alta	Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.	142.39	17.09	m³	Exc no clasificada de préstamo vol < 5000 m³ acarreo = 5 km
						213.59	m²	Limpieza del derecho de vía
16	4	Piel de cocodrilo	Alta	Reconstrucción	56.96	56.96	m²	Fresado espesor 0.05 m acarreo=5 km.
						4.56	m³	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						2.28	m³	Relleno con base para bacheo.

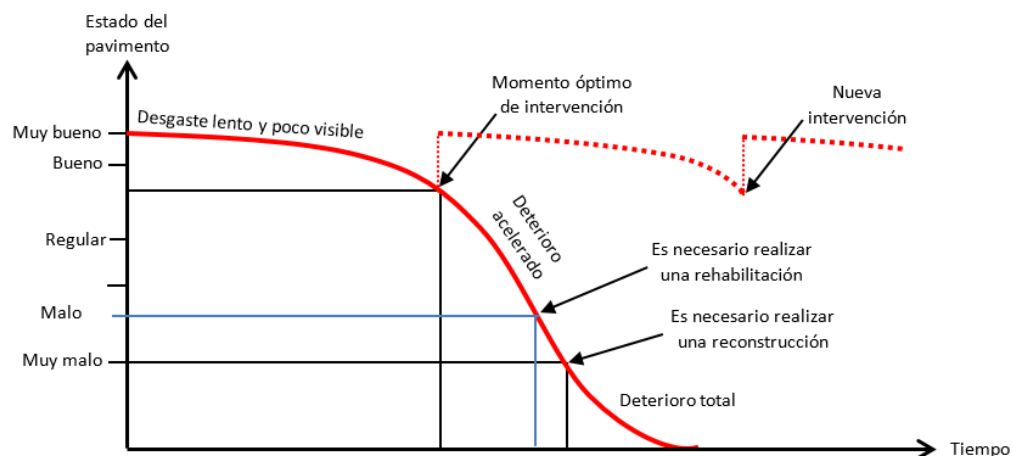
Continuación de la tabla XVII.

RN-05-01: Guatemala - San Pedro Sacatepéquez								PCI = 30
Longitud =25.50 km				Promedio de área evaluar = 272 m <sup>2</sup>				
Ancho de carril =6.80m				Factor de ancho 7.20/6.80 =0.98				Factor de longitud =14.53
N° muestra	Densidad daño	Descripción daño	Sev.	Trabajo	Cantidad	Cant. de cálculo	Unidad	Renglón
16	12.5	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	Media	No se hace nada. Sustitución del parche.	177.99	14.24	m <sup>3</sup>	Carpeta de concreto asf. en labores de bacheo.
						7.12	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.
16	19	Piel de cocodrilo	Baja	Sello superficial.	270.55	270.55	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).

Fuente: elaboración propia.

Es importante aclarar que no es suficiente un mantenimiento periódico para reparar los tramos con un valor de PCI por debajo de 30, ya que la capa de rodadura y la estructura del pavimento se encuentran muy dañadas, por lo que la intervención al tramo debe ser aún mayor.

Figura 9. Curva de deterioro del pavimento



Fuente: Izquierdo (2019). *Análisis mecanicista para evaluar el pavimento de la Trocha 12 - vía de acceso al pozo Trogón, municipio de Guamal*. Consultado el 10 de abril de 2020.

Recuperado de <https://hdl.handle.net/10983/24071>.

Para determinar en qué valor de PCI inicia y finaliza la rehabilitación, se considera lo que indica la curva de deterioro del pavimento (figura 9), por lo que para un tramo con valor de PCI entre 30 y 20 se deben ejecutar trabajos de rehabilitación; mientras que, para un tramo con PCI por debajo de 20, se recomiendan trabajos de reconstrucción.

#### 2.1.4. Determinación del costo final de las reparaciones a realizar

Para determinar el costo final de cada tramo analizado, se realizó una integración de los precios unitarios, para ellos se tomaron precios de materiales, mano de obra, que actualmente se encuentra en el mercado, y renta de la maquinaria para lo cual se utilizó la publicación de la Cámara Guatemalteca de la Construcción del año 2018-2019.

A continuación, se presenta una integración de precio unitario del renglón Co 304.1.02.03 colocación de nueva carpeta de concreto asfáltico en labores de bacheo (en caliente).

Tabla XVIII. Ejemplo de precio unitario

Renglón Co 304.1.02.03  
Colocación de nueva carpeta de concreto asfáltico en labores de bacheo

Depreciación y mantenimiento maquinaria	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo directo
<b>Camión de volteo 10 m<sup>3</sup></b>	100.00	Hora	61.60	6,160.00
<b>Compactador manual doble rodo</b>	40.00	Hora	40.05	1,602.00
<b>Pick up</b>	50.00	Hora	20.64	1,032.00
<b>Cortador de pavimento de 10 hp</b>	30.00	Hora	17.74	532.20
<b>Sopladora 1 hp</b>	30.00	Hora	2.18	65.40
<b>Total</b>				<b>Q9,391.60</b>

Continuación de la tabla XVIII.

Renglón Co 304.1.02.03

Colocación de nueva carpeta de concreto asfáltico en labores de bacheo

Mano de obra	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo directo
<b>Piloto de camión de volteo</b>	130.00	Hora	13.79	1,792.70
<b>Operador 1</b>	87.00	Hora	20.06	1,745.22
<b>Ayudantes especiales</b>	44.00	Hora	11.27	495.88
<b>Chofer de pickup</b>	65.00	Hora	13.18	856.70
<b>Ayudantes</b>	1,000.00	Hora	11.27	11,270.00
<b>Caporal</b>	100.00	Hora	21.89	2,189.00
<b>Prestaciones</b>	100.00	%	18,349.50	18,349.50
<b>Total</b>				<b>Q36,699.00</b>

Materiales	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo directo
<b>Diesel</b>	536.50	Galón	24.96	13,391.04
<b>Emulsión 63-37 (riego de liga)</b>	110.00	Galón	17.86	1,964.60
<b>Concreto asfáltico en caliente para bacheo</b>	240.00	Ton	513.39	123,213.60
<b>Total</b>				<b>Q138,569.24</b>

Otros	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo directo
<b>Herramientas</b>	5.00	%	18,349.50	917.48
<b>Total</b>				<b>Q917.48</b>

Costo total directo	Q185,577.32
Indirecto (37 %)	Q68,663.61
Total Parcial	Q254,240.92
IVA (12 %)	Q30,508.91
Precio total	<b>Q284,749.83</b>
Cantidad	<b>93.00 m³</b>
<b>Precio Unitario</b>	<b>Q2,997.37/m³</b>

Fuente: elaboración propia.

Los precios unitarios que se presentan en la tabla XIX, fueron obtenidos realizando el mismo procedimiento mostrado en la tabla XVIII y los que son utilizados para determinar el costo de mantenimiento de los tramos que fueron estudiados.

Tabla XIX. Precios unitarios

Renglón	Descripción	Unidad	Precio unitario
<b>Co 304.1.02.03</b>	Colocación de nueva carpeta de concreto asfáltico en labores de bacheo (en caliente).	m <sup>3</sup>	Q2,997.37
<b>Co 325</b>	Trabajos por administración.	Unidad	Q1.00
<b>Co 801.03</b>	Dispositivos de seguridad.	Global	Q25,000.00
<b>Co 312.01</b>	Lechada asfáltica ( <i>Slurry seal</i> ).	m <sup>2</sup>	Q50.94
<b>203.04 (d)</b>	Excavación no clasificada de préstamo (volumen > 5,000 m <sup>3</sup> más acarreo = 5km).	m <sup>3</sup>	Q52.28
<b>Az 202</b>	Limpia, chapeo y destronque.	m <sup>2</sup>	Q1.86
<b>Az 311</b>	Fresado (espesor = 0.05 m, acarreo = 5 Km).	m <sup>2</sup>	Q12.47
<b>Co 304.1.02.02</b>	Relleno con base para bacheo.	m <sup>3</sup>	Q332.67
<b>Co 301.01</b>	Sello de fisuras y grietas.	m	Q15.90

Fuente: elaboración propia.

Los renglones incluidos en la tabla XIX son los que se requieren únicamente la reparación de la estructura de pavimento, y para los fines de este estudio, no se incluyeron las obras complementarias, como el cambio de tuberías, la construcción de muros o estabilización de taludes, solamente se tomó en cuenta los dispositivos de seguridad.

Definidos los precios unitarios, se calcula el costo de mantenimiento de cada uno de los tramos. A continuación, se presenta un ejemplo del cálculo que se realiza para determinar los costos de mantenimiento de un tramo dependiendo del valor del PCI.

Tabla XX. Ejemplo de determinación de costo de un tramo con PCI=30

RN-05-01: Guatemala - San Pedro Sacatepéquez						PCI = 30	
Longitud =25.50 km		Promedio de área evaluar = 272 m <sup>2</sup>					
Ancho de carril = 6.80m		Factor de ancho = 7.20/6.80 =0.98				Factor de longitud =14.5	
N° Muestra	Descripción daño	Trabajo	Cálculo	Unidad	Renglón	Precio Unitario	Costo
1	Piel de cocodrilo	Sello superficial.	1,708.73	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> )	50.94	87,042.71
1	Desnivel carril/hombro	Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.	68.35	m <sup>3</sup>	Exc no clas. de préstamo vol < 5,000 m <sup>3</sup> acarreo = 5 km.	52.28	3,573.34
			854.37	m <sup>2</sup>	Limpieza del derecho de vía	1.86	1,589.13
1	Ahuellamiento	Parcheo superficial, parcial o profundo.	569.58	m <sup>2</sup>	Fresado, (espesor 0.05 m acarreo = 5 km).	12.47	7,102.66
			34.17	m <sup>3</sup>	Carpeta de c.a. en labores de bacheo.	2,997.37	102,420.13
1	Piel de cocodrilo	Parcheo parcial o en toda la profundidad (Full Depth).	939.80	m <sup>2</sup>	Fresado, (espesor 0.05 m acarreo = 5 km).	12.47	11,719.31
			75.18	m <sup>3</sup>	Carpeta de c.a. en labores de bacheo.	2,997.37	225,342.28
2	Piel de cocodrilo	Parcheo parcial o en toda la profundidad (Full Depth).	512.62	m <sup>2</sup>	Fresado, (espesor 0.05 m acarreo = 5 km).	12.47	6,392.37
2	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	No se hace nada.	41.01	m <sup>3</sup>	Carpeta de c.a. en labores de bacheo.	2,997.37	122,922.14
2	Piel de cocodrilo	Reconstrucción.	75.18	m <sup>3</sup>	Carpeta de c.a. en labores de bacheo.	2,997.37	225,342.28
			37.59	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo	332.67	12,505.07
3	Piel de cocodrilo	Sello superficial.	1,315.72	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).	50.94	67,022.78
3	Piel de cocodrilo	Parcheo parcial o en toda la profundidad (Full Depth)	105.26	m <sup>3</sup>	Carpeta de c.a. en labores de bacheo.	2,997.37	315,503.17
			10.53	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.	332.67	3,503.02

Continuación de la tabla XX.

RN-05-01: Guatemala - San Pedro Sacatepéquez							PCI = 30
Longitud = 25.50 km		Promedio de área evaluar = 272 m <sup>2</sup>					
Ancho de carril = 6.80m		Factor de ancho = 7.20/6.80 = 0.98			Factor de longitud = 14.5		
N° Muestra	Descripción daño	Trabajo	Cálculo	Unidad	Reglón	Precio Unitario	Costo
3	Piel de cocodrilo	Reconstrucción.	541.10	m <sup>2</sup>	Fresado, (espesor 0.05 m acarreo = 5 km).	12.47	6,747.52
			43.29	m <sup>3</sup>	Carpeta de c.a. en labores de bacheo.	2,997.37	129,756.15
			4.33	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.	332.67	1,440.46
3	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	No se hace nada.					
4	Piel de cocodrilo	Parcheo parcial o en toda la profundidad (Full Depth).	2.28	m <sup>3</sup>	Carpeta de c.a. en labores de bacheo.	2,997.37	6,834.00
			0.23	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.	332.67	76.51
4	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	No se hace nada.					
4	Piel de cocodrilo	Sello superficial.	783.17	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).	50.94	39,894.68
4	Grietas en bloque	Sellado de grietas con ancho mayor a 3.0 mm. Riego de sello.	113.92	m	Sello de fisuras y grietas.	15.90	1,811.33
4	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	No se hace nada. Sustitución del parche.	9.11	m <sup>3</sup>	Carpeta de c.a. en labores de bacheo.	2,997.37	27,306.04
			0.91	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.	332.67	302.73
5	Piel de cocodrilo	Reconstrucción.	213.59	m <sup>2</sup>	Fresado, (espesor 0.05 m acarreo = 5 km).	12.47	2,663.47
			17.09	m <sup>3</sup>	Carpeta de c.a. en labores de bacheo.	2,997.37	51,225.05
			1.71	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.	332.67	568.87

Continuación de la tabla XX.

RN-05-01: Guatemala - San Pedro Sacatepéquez						PCI = 30	
Longitud =25.50 km		Promedio de área evaluar = 272 m <sup>2</sup>					
Ancho de carril = 6.80m		Factor de ancho = 7.20/6.80 =0.98				Factor de longitud =14.5	
N° Muestra	Descripción daño	Trabajo	Cálculo	Unidad	Renglón	Precio Unitario	Costo
5	Piel de cocodrilo	Parcheo parcial o en toda la profundidad (Full Depth).	11.39	m <sup>3</sup>	Carpeta de c.a. en labores de bacheo	2,997.37	34,140.04
			1.14	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.	332.67	379.24
5	Piel de cocodrilo	Sello superficial.	128.15	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica (slurry seal).	50.94	6,527.96
5	Desnivel carril/hombro	Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.	68.35	m <sup>3</sup>	Exc no clas. de préstamo vol < 5,000 m <sup>3</sup> acarreo = 5 km	52.28	3,573.34
			854.37	m <sup>2</sup>	Limpieza del derecho de vía.	1.86	1,589.13
5	Desnivel carril/hombro	Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.	68.35	m <sup>3</sup>	Exc no clas. de préstamo vol < 5,000 m <sup>3</sup> acarreo = 5 km	52.28	3,573.34
			854.37	m <sup>2</sup>	Limpieza del derecho de vía	1.86	1,589.13
6	Piel de cocodrilo	Sello superficial.	256.31	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica (slurry seal).	50.94	13,056.43
6	Desprendimiento de agregados	Sello superficial. Tratamiento superficial.	233.53	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica (slurry seal).	50.94	11,896.02
7	Grietas longitudinales y transversales	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho mayor que 3.0 mm.	28.48	m	Sello de fisuras y grietas.	15.90	452.83
7	Piel de cocodrilo	Reconstrucción.	142.39	m <sup>2</sup>	Fresado, (espesor 0.05 m acarreo = 5 km).	12.47	1,775.60
			11.39	m <sup>3</sup>	Carpeta de c.a. en labores de bacheo	2,997.37	34,140.04
			1.14	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.	332.67	379.24
7	Piel de cocodrilo	Parcheo parcial o en toda la profundidad (Full Depth).	34.17	m <sup>3</sup>	Carpeta de c.a. en labores de bacheo.	2,997.37	102,420.13
			3.42	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.	332.67	1,137.73
7	Piel de cocodrilo	Sello superficial.	370.22	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica (slurry seal).	50.94	18,859.01
8	Piel de cocodrilo	Sello superficial.	1,025.24	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica (slurry seal).	50.94	52,225.73



Continuación de la tabla XX.

RN-05-01: Guatemala - San Pedro Sacatepéquez							PCI = 30
Longitud = 25.50 km		Promedio de área evaluar = 272 m <sup>2</sup>					
Ancho de carril = 6.80m		Factor de ancho = 7.20/6.80 = 0.98			Factor de longitud = 14.5		
N° Muestra	Descripción daño	Trabajo	Cálculo	Unidad	Renglón	Precio Unitario	Costo
8	Piel de cocodrilo	Parcheo parcial o en toda la profundidad (Full Depth).	68.35	m <sup>3</sup>	Carpeta de c.a. en labores de bacheo.	2,997.37	204,870.24
			6.84	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.	332.67	2,275.46
9	Piel de cocodrilo	Sello superficial.	256.31	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica (slurry seal).	50.94	13,056.43
10	Piel de cocodrilo	Parcheo parcial o en toda la profundidad (Full Depth).	102.52	m <sup>3</sup>	Carpeta de c.a. en labores de bacheo.	2,997.37	307,290.37
			10.25	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.	332.67	3,409.87
10	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	No se hace nada.					
10	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	Sustitución del parche.	6.15	m <sup>3</sup>	Carpeta de c.a. en labores de bacheo.	2,997.37	18,433.83
			0.62	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.	332.67	206.26
10	Desprendimiento de agregados	Sobrecarpeta. Reciclaje. Reconstrucción.	199.35	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica (slurry seal).	50.94	10,154.89
10	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	No se hace nada. Sustitución del parche.	5.70	m <sup>3</sup>	Carpeta de c.a. en labores de bacheo.	2,997.37	17,085.01
			0.57	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.	332.67	189.62
11	Piel de cocodrilo	Sello superficial.	66.93	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica (slurry seal).	50.94	3,409.41
11	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	No se hace nada.					
11	Piel de cocodrilo	Reconstrucción.	177.99	m <sup>2</sup>	Fresado, (espesor 0.05 m acarreo = 5 km).	12.47	2,219.54
			14.24	m <sup>3</sup>	Carpeta de c.a. en labores de bacheo.	2,997.37	42,682.55
			1.42	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.	332.67	472.39

Continuación de la tabla XX.

RN-05-01: Guatemala - San Pedro Sacatepéquez						PCI = 30	
Longitud =25.50 km		Promedio de área evaluar = 272 m <sup>2</sup>					
Ancho de carril = 6.80m		Factor de ancho = 7.20/6.80 =0.98				Factor de longitud =14.5	
N° Muestra	Descripción daño	Trabajo	Cálculo	Unidad	Renglón	Precio Unitario	Costo
11	Piel de cocodrilo	Parqueo parcial o en toda la profundidad (Full Depth).	19.37	m <sup>3</sup>	Carpeta de c.a. en labores de bacheo.	2,997.37	58,059.06
			1.94	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.	332.67	645.38
12	Desprendimiento de agregados	Sobrecarpeta. Reciclaje. Reconstrucción.	263.43	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica (slurry seal).	50.94	13,419.12
12	Piel de cocodrilo	Sello superficial.	313.27	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica (slurry seal).	50.94	15,957.97
12	Piel de cocodrilo	Parqueo parcial o en toda la profundidad (Full Depth).	17.09	m <sup>3</sup>	Carpeta de c.a. en labores de bacheo.	2,997.37	51,225.05
			1.71	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.	332.67	568.87
12	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	Sustitución del parche.	18.23	m <sup>3</sup>	Carpeta de c.a. en labores de bacheo.	2,997.37	54,642.06
			1.82	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.	332.67	605.46
12	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	No se hace nada.					
12	Piel de cocodrilo	Reconstrucción.	897.08	m <sup>2</sup>	Fresado, (espesor 0.05 m acarreo = 5 km).	12.47	11,186.59
			71.77	m <sup>3</sup>	Carpeta de c.a. en labores de bacheo	2,997.37	215,121.24
			7.18	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo	332.67	2,388.57
13	Piel de cocodrilo	Sello superficial.	925.56	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica (slurry seal)	50.94	47,148.03
13	Grietas en bloque	Sellado de grietas con ancho > 3 mm. Riego de sello.	1,423.94	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica (slurry seal)	50.94	72,535.50
13	Piel de cocodrilo	Parqueo parcial o en toda la profundidad (Full Depth)	36.45	m <sup>3</sup>	Carpeta de c.a. en labores de bacheo	2,997.37	109,254.14
			3.65	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo	332.67	1,214.25

Continuación de la tabla XX.

RN-05-01: Guatemala - San Pedro Sacatepéquez							PCI = 30
Longitud = 25.50 km		Promedio de área evaluar = 272 m <sup>2</sup>					
Ancho de carril = 6.80m		Factor de ancho = 7.20/6.80 = 0.98			Factor de longitud = 14.5		
N° Muestra	Descripción daño	Trabajo	Cálculo	Unidad	Renglón	Precio Unitario	Costo
13	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	No se hace nada. Sustitución del parche.	36.45	m <sup>3</sup>	Carpeta de c.a. en labores de bacheo.	2,997.37	109,254.14
			3.65	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.	332.67	1,214.25
13	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	No se hace nada.					
13	Piel de cocodrilo	Reconstrucción.	754.69	m <sup>2</sup>	Fresado, (espesor 0.05 m acarreo = 5 km).	12.47	9,410.98
			60.38	m <sup>3</sup>	Carpeta de c.a. en labores de bacheo.	2,997.37	180,981.20
			6.04	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.	332.67	2,009.33
14	Desprendimiento de agregados	Sello superficial. Tratamiento superficial.	555.34	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).	50.94	28,289.02
14	Piel de cocodrilo	Sello superficial.	341.75	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).	50.94	17,408.75
14	Grietas longitudinales y transversales	No se hace nada. Sellado de grietas de ancho < 3 mm.	85.44	m	Sello de fisuras y grietas.	15.90	1,358.50
15	Piel de cocodrilo	Sello superficial.	487.70	m <sup>2</sup>	Lechada asfáltica ( <i>slurry seal</i> ).	50.94	24,843.44
15	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	No se hace nada. Sustitución del parche.	14.35	m <sup>3</sup>	Carpeta de c.a. en labores de bacheo.	2,997.37	43,012.26
			1.44	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.	332.67	479.04
15	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	No se hace nada.					
15	Piel de cocodrilo	Reconstrucción.	199.35	m <sup>2</sup>	Fresado, (espesor 0.05 m acarreo = 5 km).	12.47	2,485.89
			15.95	m <sup>3</sup>	Carpeta de c.a. en labores de bacheo.	2,997.37	47,808.05
			1.60	m <sup>3</sup>	Relleno con base para bacheo.	332.67	532.27

Continuación de la tabla XX.

RN-05-01: Guatemala - San Pedro Sacatepéquez						PCI = 30	
Longitud =25.50 km		Promedio de área evaluar = 272 m²					
Ancho de carril = 6.80m		Factor de ancho = 7.20/6.80 =0.98				Factor de longitud =14.5	
N° Muestra	Descripción daño	Trabajo	Cálculo	Unidad	Renglón	Precio Unitario	Costo
15	Desnivel carril/hombro	Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.	17.09	m³	Exc no clas. de préstamo vol < 5,000 m³ acarreo = 5 km	52.28	893.47
			213.59	m²	Limpieza del derecho de vía.	1.86	397.28
16	Piel de cocodrilo	Reconstrucción.	56.96	m²	Fresado, (espesor 0.05 m acarreo = 5 km).	12.47	710.29
			4.56	m³	Carpeta de c.a. en labores de bacheo.	2,997.37	13,668.01
			0.46	m³	Relleno con base para bacheo.	332.67	153.03
16	Bacheo mayor y acometidas de servicios públicos	No se hace nada. Sustitución del parche.	14.24	m³	Carpeta de c.a. en labores de bacheo	2,997.37	42,682.55
			1.42	m³	Relleno con base para bacheo.	332.67	472.39
16	Piel de cocodrilo	Sello superficial.	270.55	m²	Lechada asfáltica (slurry seal).	50.94	13,781.82
						Subtotal	3,569,895.26
						Señalización	25,000.00
						Total	3,594,895.26

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Costo de los trabajos a ejecutar de acuerdo al valor de PCI**

Código	Tramos	Costo total	m <sup>2</sup> -Km	PCI	Costo Q/ m <sup>2</sup> -Km
<b>Sin código</b>	Tramo sin daños	0.00	1.00	100.00	0.00
<b>RD-GUA-10-01</b>	CA-01-Oriente - Bifurcación RD-GUA-27	2,157.65	38,880.00	98.00	0.06
<b>RD-SOL-04-08</b>	Bifurcación RD-SOL-12 (Vuelta Del Toro) - San José Chacayá	8,498.03	16,560.00	95.00	0.51
<b>CA-14-06</b>	Bifurcación RN-05-A, Cobán - Bifurcación RN-07-Occidente (Santa Cruz Verapaz)	330,316.72	111,240.00	91.00	2.97
<b>RD-GUA-04-06</b>	Chinautla - Guatemala	228,212.29	57,600.00	90.00	3.96
<b>RN-07-W-06</b>	Cunen - Sacapulas	437,007.96	108,720.00	88.00	4.02

Continuación de la tabla XXI.

Código	Tramos	Costo total	m <sup>2</sup> -Km	PCI	Costo Q/ m <sup>2</sup> -Km
<b>RD-PET-16</b>	San Francisco - San Benito	347,287.35	96,048.00	87.00	3.62
<b>RN-17-02</b>	Bifurcación RD-BV-05-01, desvío San Jerónimo - Salamá	305,767.53	40,320.00	80.00	7.58
<b>RN-07-W-07</b>	Sacapulas - Limite departamental El Quiché / Huehuetenango	1,270,301.18	98,136.00	71.00	12.94
<b>RD-QUI-02-01</b>	Santa Cruz del Quiché - Chiche	1,466,744.47	69,840.00	60.00	21.00
<b>CA-13-04</b>	Modesto Méndez - Secoyob	5,317,254.08	158,256.00	50.00	33.60
<b>CA-13-05</b>	Secoyob - San Luis	7,807,520.16	183,600.00	40.00	42.52
<b>RN-05-01</b>	Guatemala - San Pedro Sacatepequez	3,594,895.26	66,960.00	30.00	53.69
	Rehabilitación (licitación)			30 - 20	
	Reconstrucción (licitación)			20 - 0	

Fuente: elaboración propia.

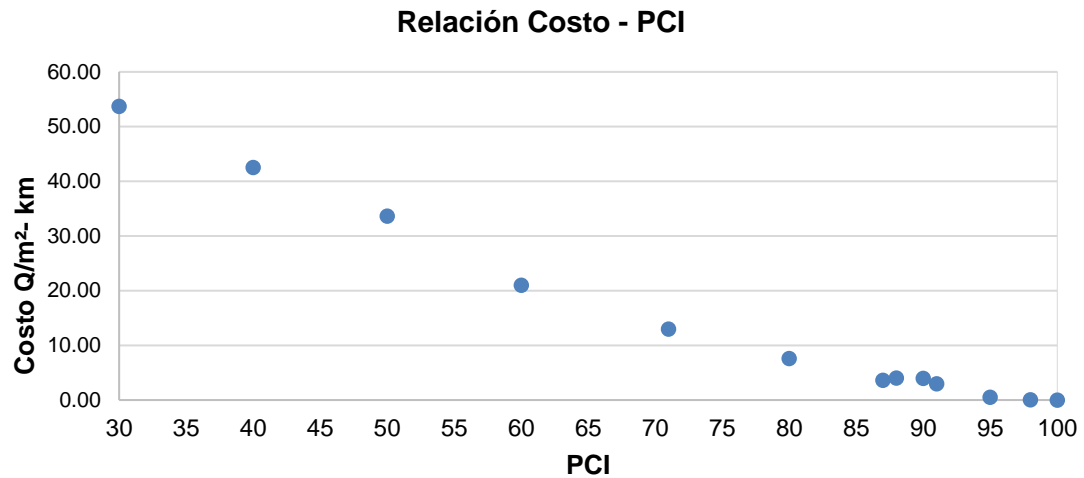
Para la rehabilitación y la reconstrucción, se debe realizar un estudio más completo, lo cual es objeto de licitaciones por parte de la Dirección General de Caminos.

### 2.1.5. Determinación del modelo matemático

Con los datos obtenidos del cálculo de costos, se inicia el diseño de un modelo matemático que relacione el valor del índice de condición del pavimento con el costo necesario para dar mantenimiento a un m<sup>2</sup>/kilómetro de carretera.

Como primera medida se elaboró un gráfico donde se consideraron únicamente los valores de PCI entre treinta (30) y cien (100), con el propósito de analizar cuál curva se adaptaba mejor a los valores obtenidos.

Figura 10. **Grafica de relación Costo – PCI**



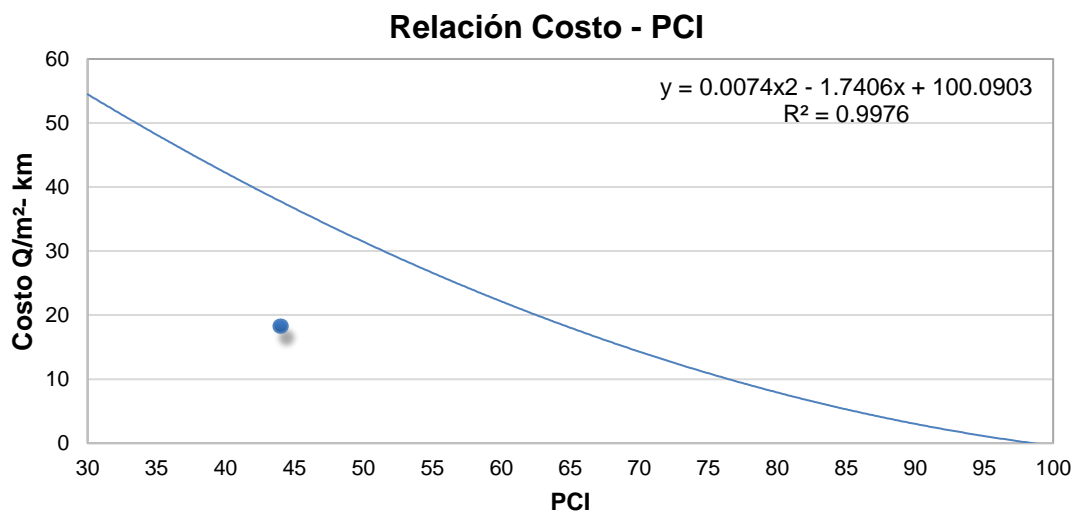
Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

El siguiente paso fue determinar el modelo matemático que sea representativo de los valores obtenidos en el análisis.

Para ello se generaron varias líneas de tendencia con el propósito de definir una ecuación que represente lo más próximo a los valores obtenidos en el análisis.

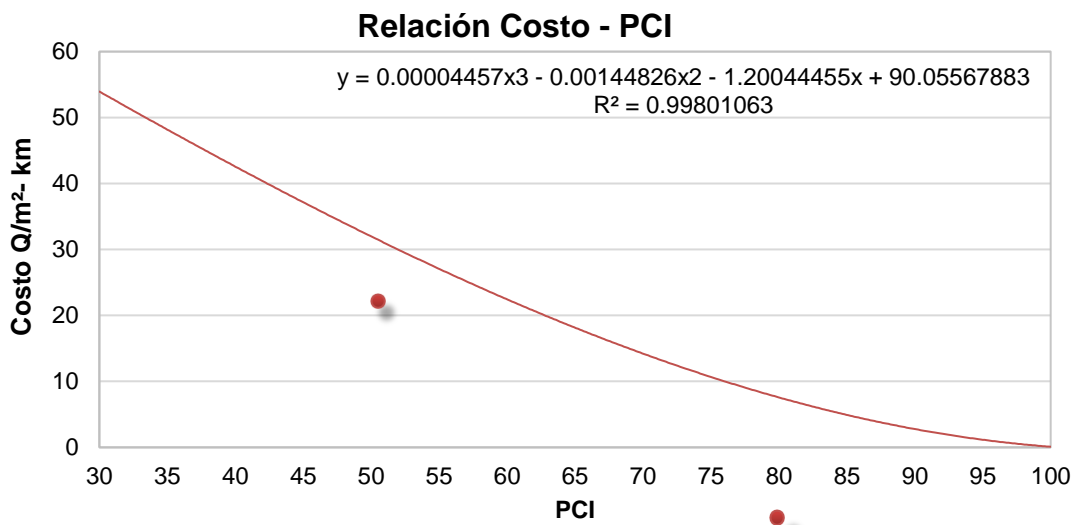
A continuación, se presentan las gráficas de las curvas polinómicas obtenidas al cambiar el grado de la ecuación.

Figura 11. **Grafica de relación Costo - PCI (curva polinómica grado 2)**



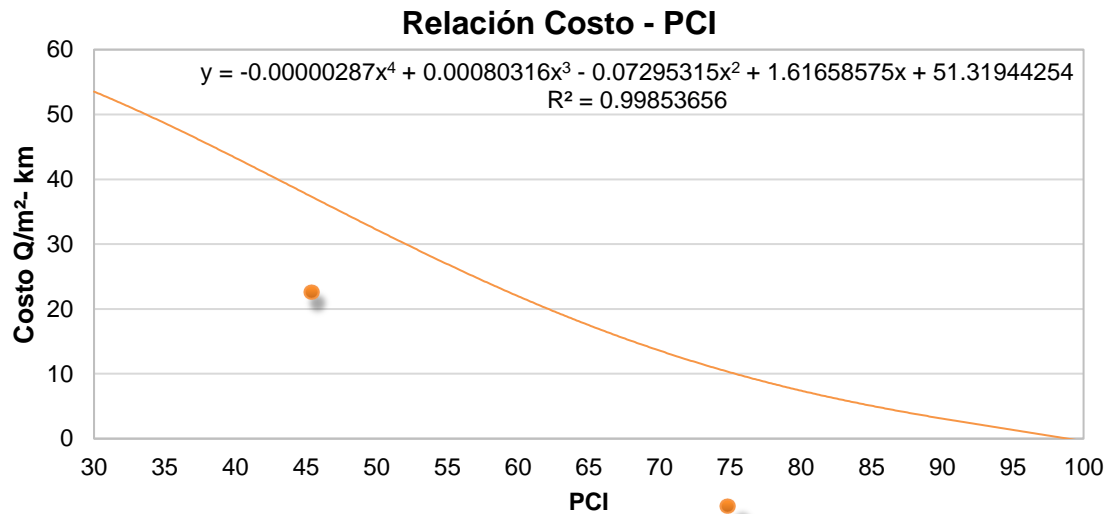
Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel

Figura 12. **Grafica de relación Costo - PCI (curva polinómica grado 3)**



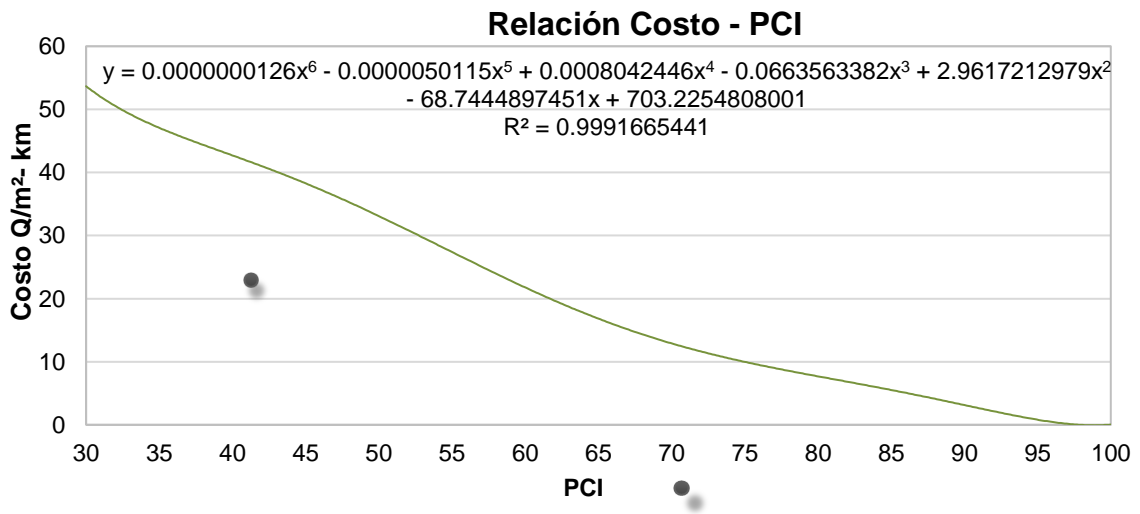
Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

Figura 13. **Grafica de relación Costo - PCI (curva polinómica grado 4)**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

Figura 14. **Grafica de relación Costo – PCI (curva polinómica grado 6)**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.



Para la elección de la mejor ecuación matemática, se realizó una comparación del coeficiente de determinación  $R^2$ . Este parámetro se utiliza en modelos estadísticos para predecir futuros resultados, y cuando su valor se encuentra más próximo a 1, significa un ajuste perfecto.

Tabla XXII. **Cuadro resumen de los valores  $R^2$**

Ecuación	$R^2$
$y = 0.0074x^2 - 1.7406x + 100.0903$	0.9976000000
$y = 0.00004457x^3 - 0.00144826x^2 - 1.20044455x + 90.05567883$	0.9980106300
$y = -0.00000287x^4 + 0.00080316x^3 - 0.07295315x^2 + 1.61658575x + 51.31944254$	0.9985365600
$y = 0.0000000126x^6 - 0.0000050115x^5 + 0.0008042446x^4 - 0.0663563382x^3 + 2.9617212979x^2 - 68.7444897451x + 703.2254808001$	0.9991665441

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XXII se observa que las cuatro ecuaciones muestran un valor de  $R^2$  muy próximo a la unidad, lo que indica que los valores que se obtengan al aplicar la ecuación se encontrarán muy próximos a los valores obtenidos en el análisis de costos.

Por lo que para determinar cuál de las cuatro ecuaciones es la más representativa del análisis realizado, se efectuaron varias iteraciones variando los decimales de las ecuaciones y reemplazando el valor del PCI (x) con los valores 100, 80, 71, 50 y 30.

Tabla XXIII. Cuadro comparativo

Ecuación	PCI (x)	Costo (y)	Costo calculado
$y = 0.0074x^2 - 1.7406x + 100.0903$	100	0.03	0.00
	80	8.20	7.58
	71	13.81	12.94
	50	31.56	33.60
	30	54.53	53.69
$y = 0.00004457x^3 - 0.00144826x^2 - 1.20044455x + 90.05567883$	100	0.10	0.00
	80	7.57	7.58
	71	13.48	12.59
	50	31.98	33.60
	30	53.94	53.69
$y = -0.00000287x^4 + 0.00080316x^3 - 0.07295315x^2 + 1.61658575x + 51.31944254$	100	-0.39	0.00
	80	7.41	7.58
	71	12.87	12.94
	50	32.22	33.60
	30	53.52	53.69
$y = 0.0000000126x^6 - 0.0000050115x^5 + 0.0008042446x^4 - 0.0663563382x^3 + 2.9617212979x^2 - 68.7444897451x + 703.2254808001$	100	2.11	0.00
	80	10.43	7.58
	71	15.12	12.94
	50	36.07	33.60
	30	56.66	53.69

Fuente: elaboración propia.

Como se observa, todas las ecuaciones se aproximan a los valores obtenidos en la XXI para valores menores a 100; sin embargo, cuando se utiliza un valor de 100 para el PCI, las dos últimas ecuaciones dan resultados, -0.39 y 2.11, diferentes a lo considerado en el análisis de costos.

Como se puede observar las dos primeras ecuaciones tienen valores muy similares y coinciden con los valores determinados en la tabla XIX; la ecuación polinómica de grados tres brinda valores lo más próximos posible a las

necesidades de inversión, de acuerdo a la condición existente del tramo por lo que es la adecuada para utilizar en el estudio.

Como se ha expresado anteriormente las carreteras que presentan un PCI menor de 30 deben considerarse trabajos de rehabilitación o reconstrucción, los que deberán ser analizados más profundamente y ser objeto de un proceso licitatorio diferente al de mantenimiento.

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La presente investigación propone un modelo matemático que permita contribuir con la planificación de la inversión del mantenimiento de las carreteras de concreto asfáltico, a través del índice de condición del pavimento (PCI).

El modelo matemático que se ha diseñado utiliza el costo del mantenimiento metro cuadrado-kilómetro.

Para llegar a determinar el modelo matemático, fue necesario el análisis de los daños de 12 tramos carreteros cuyas longitudes varían entre los 8 kilómetros y los 35 kilómetros, a través de la metodología establecida por la norma ASTM D6433-18.

Para la determinación de las reparaciones a realizar se utilizó el Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras y la publicación de *Pavement Condition Index* (PCI), para Pavimentos Asfálticos y de Concreto en Carreteras, las que indican cuál es la reparación más recomendada de acuerdo al tipo de daño y severidad.

Con base en los daños observados y las reparaciones, se realizó una integración de los precios unitarios tomando en cuenta los precios de materiales y mano de obra del mercado y la renta de maquinaria.

Se considera que, para valores de PCI menores de 30, la estructura del pavimento no se encuentra en condiciones aceptables para un mantenimiento rutinario o periódico, por lo que se deben realizar estudios más detallados de la

condición de la estructura del pavimento para determinar se es necesario una rehabilitación o una reconstrucción.

Con el fin de tener costo de mantenimiento de los tramos analizados, se integraron precios unitarios, teniendo en cuenta la mano de obra, materiales y costo de arrendamiento de maquinaria que se encuentra actualmente vigentes en el mercado.

Con base a las consideraciones anteriores, se registraron en un eje cartesiano los valores del PCI y el costo metro cuadrado por kilómetro; y se calcularon varias líneas de tendencia (curvas polinómicas de grado 2, 3, 4 y 6), con el propósito de determinar cuál de estas ecuaciones ofrece la mejor aproximación a los valores de costos obtenidos mediante el análisis.

Para la elección de la mejor ecuación matemática, se comparó el coeficiente de determinación  $R^2$  de todas las ecuaciones planteadas, observándose que todas se aproximaban al valor 1, el cual nos indica que las líneas de tendencia son representativas de los valores encontrados.

En virtud de que los valores de  $R^2$  son muy similares, para determinar cuál de las ecuaciones es la que presenta resultados más próximos a los calculados, se realizó la comparación entre los valores obtenidos en el análisis de costos y los resultados del cálculo de las ecuaciones para valores de PCI iguales a 100, 80, 71, 50 y 30.

De esta comparación, se determinó que la ecuación que más se aproxima a los costos encontrados, es la curva polinómica de grado tres, por lo que fue la seleccionada para utilizar en el modelo matemático.

## **4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

De los resultados obtenidos, se puede deducir que es posible obtener un modelo matemático que relacione el valor del índice de condición de pavimento y el costo de los trabajos que requiere un tramo para la reparación de los daños que presenta.

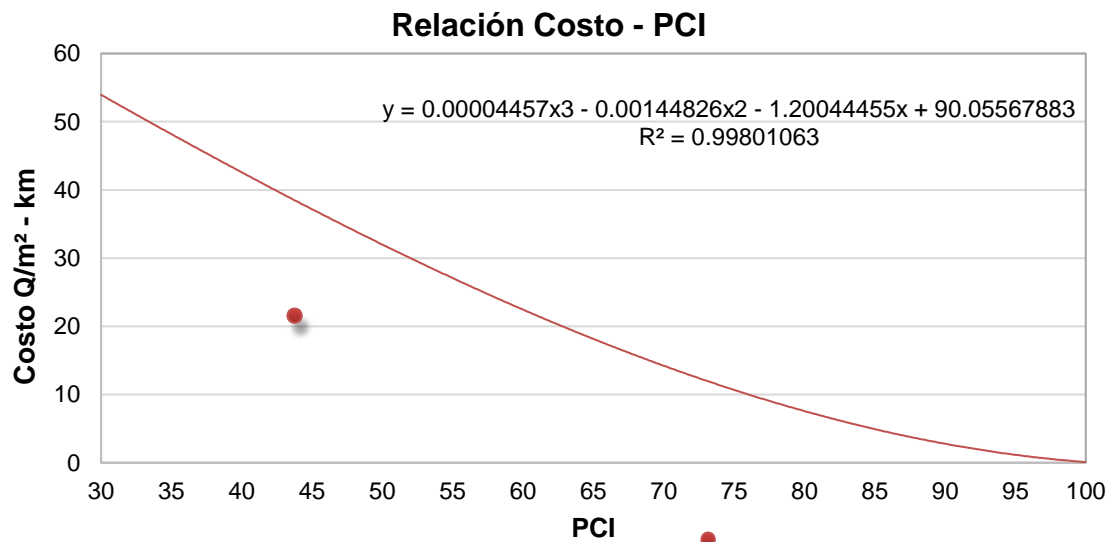
Es importante aclarar que la investigación se basó en la integración de precios unitarios con valores que actualmente se encuentran en vigencia en Guatemala, por lo que, para poder ser utilizado en otro país, se deben revisar los precios unitarios correspondientes a la región que se quiera analizar, así como la descripción de los trabajos establecidos de acuerdo a las especificaciones de cada país.

Además, para la obtención del modelo matemático se tomaron en consideración únicamente los trabajos que se deben ejecutar para la mejora de la estructura del pavimento, sin tener en cuenta las causas o motivos que provocaron los daños. Esto implica que pueden existir trabajos adicionales como la estabilización de taludes o la construcción de drenajes que dependen de las características específicas de un tramo en particular y que están fuera del alcance del modelo planteado.

Debido a que la red vial del país cuenta con diferentes valores para el ancho de calzada, el modelo matemático obtenido utiliza un factor de área en metros cuadrados por kilómetro, para unificar los criterios del cálculo de daños y costos de los proyectos analizados.

Debido a que el objetivo de la investigación era encontrar un modelo matemático que brindara un valor aproximado de la inversión necesaria para que el tramo carretero analizado no perdiera su capacidad portante, se adoptó una ecuación polinómica de grado tres.

Figura 15. **Grafica de relación Costo – PCI ( $Q/m^2$  - km)**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

El modelo matemático muestra una tendencia en ascenso para valores de PCI menores de 30, donde el pavimento comienza a presentar daños que son irreversibles y ya no es suficiente realizar un mantenimiento convencional, por lo que los trabajos que se deben ejecutar son intervenciones mayores que pueden representar una rehabilitación o una reconstrucción total del pavimento.

El modelo matemático que se adopta para determinar el costo de mantenimiento es el siguiente:

$$C_i = 0.00004457(PCI^3) - 0.00144826(PCI^2) - 1.20044455(PCI) + 90.05567883$$

(Ec. 7)

Donde:

- $C_i$  = Costo  $m^2/km$ .
- $PCI$  = Índice de condición de pavimento para el tramo considerado.

Para determinar el costo total de un tramo carretero en particular se debe aplicar la siguiente ecuación:

$$C_t = C_i \times A_t \text{ (Ec. 8)}$$

Donde:

- $C_t$  = Costo total tramo.
- $C_i$  = Costo  $Q/m^2 - km$ .
- $A_t$  = Área total del tramo carretero.

Por ejemplo, para un tramo con las siguientes características:

- $PCI = 70$ .
- Longitud = 6.650 km.
- Sección típica=5.75 m.

El valor del costo se obtiene con los siguientes cálculos:

- $C_i = 0.00004457(70^3) - 0.00144826(70^2) - 1.20044455(70) + 90.05567883$ .
- $C_i = 14.22 \text{ Q/m}^2 - km$ .



- $A_t = 6,650 \times 5.75 = 38,237.50 \text{ m}^2 - \text{km}.$
- $C_t = 38,237.50 \times 14.22 = Q 543,737.25.$

## CONCLUSIONES

1. Se pudo determinar un modelo matemático que vincula las condiciones de un pavimento de concreto asfáltico con el costo que se necesita invertir para que la carretera prolongue su vida útil.
2. La norma ASTM D6433-18 brinda los parámetros necesarios para medir el grado de deterioro de los pavimentos flexibles y con ello su condición, con lo que se obtuvieron datos confiables para realizar los estudios que permitieron llegar al modelo matemático.
3. De acuerdo a los resultados obtenidos, los tramos con valores de PCI más bajos son los que presentan baches, piel de cocodrilo y abultamientos/hundimientos, ya que estos daños tienen valores deducidos elevados incluso para densidades bajas.
4. A partir de los valores de PCI de los tramos analizados, se pudo cuantificar los trabajos de reparación que se requieren en cada caso, así como los costos de estos trabajos mediante la aplicación de precios unitarios integrados.
5. Fue posible definir un modelo matemático que permite calcular los costos de reparación de un tramo carretero en función de su valor de PCI y su área por kilómetro.



## RECOMENDACIONES

1. Que las autoridades de planificación de la Unidad Ejecutora de Conservación Vial, conozcan el modelo matemático planteado en la presente investigación, ya que el mismo permite elaborar presupuestos de mantenimiento vial más eficientes y mejorar la toma de decisiones sobre los trabajos a ejecutar y las longitudes a intervenir.
2. Que las autoridades correspondientes realicen la adaptación de los lineamientos que dicta la norma ASTM D6433-18 para ajustarse a las condiciones topográficas de Guatemala.
3. Que los técnicos que realizan el levantamiento de los daños reciban capacitaciones constantes, ya que la determinación de las severidades se realiza muchas veces de forma subjetiva de acuerdo a lo que indica la norma ASTM D6433-18.
4. Que los costos de los renglones sean actualizados periódicamente por las unidades respectivas, para tomar en cuenta las variaciones que se producen en los costos de materiales y mano de obra.
5. Que el modelo matemático pueda mejorarse incluyendo aquellas obras complementarias que requiera la carretera y que no son tenidos en cuenta en la norma.



## REFERENCIAS

1. Acuerdo Gubernativo 736-98. Diario de Centro América. Guatemala. 14 de octubre de 1998.
2. Calderón, R. (2017). *Evaluación de daños y determinación del índice de estado de la carretera del tramo CA- 02 Occidente Retalhuleu Coatepeque, utilizando la metodología pavement condition Index (PCI) desarrollada por la armada de EE.UU. y difundida en Latinoamérica* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/6982>.
3. Decreto 134-96. Diario de Centro América. Guatemala. 20 de diciembre de 1996.
4. Instituto Nacional de Vías. (2016). *Manual de Mantenimiento de Carreteras 2016 - Volumen 2: Especificaciones Generales de Mantenimiento de carreteras*. Colombia: Autor. Recuperado de: <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/ documentos-tecnicos/7714-manual-de-mantenimiento-de-carreteras-2016-v2>.
5. Izquierdo, C. (2019). *Análisis mecanicista para evaluar el pavimento de la Trocha 12 vía de acceso al pozo Trogon, Municipio de Guamal - Meta, campaña de perforación del año 2020-2021* (Tesis de licenciatura). Universidad Católica de Colombia, Colombia. Recuperado de <https://hdl.handle.net/10983/24071>.

6. Jugo, A. (2005). *Manual de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos flexibles*. Recuperado de: <https://docer.com.ar/doc/s8e5n1v>
7. López, O. (octubre, 2019). Buena práctica en análisis de precios unitarios. *Revista Mexicana de la Construcción*, 65(641), 16-21. Recuperado de [https://issuu.com/helios\\_comunicacion/docs/rmc\\_641\\_fin](https://issuu.com/helios_comunicacion/docs/rmc_641_fin).
8. Méndez, E. (2019). *Evaluación de la condición superficial de pavimentos por medio de Trimble Trident* (tesis de licenciatura). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica. Recuperado de <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/10982>.
9. Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda. (2020). *Especificaciones Técnicas Covial 2020*. Recuperado de: <http://www.covial.gob.gt/comunicados/EspecificacionesTecnicas%20COVIAL%202020.pdf>
10. Ministerio de Transporte e Infraestructura. (2008). *Manual para revisión de costos y presupuestos*. Nicaragua: Autor. Recuperado de: <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-para-revision-costos-y-pptos.doc>.
11. Olivera, F. (2000). *Estructuración de vías terrestres*. México: Grupo Editorial Patria. Recuperado de: <https://docer.com.ar/doc/e8evvnv>.
12. Orellana, E. (2016). *Costos y rendimiento de equipo pesado para la construcción, en el área metropolitana guatemalteca* (tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/3754>.

13. Panta, G. (2017). *Determinación y Evaluación de las Patologías del Pavimento Flexible de la Av. Chulucanas entre las progresivas Km 0+000 al Km. 0+670 de Distrito Veintiséis de Octubre, Provincia de Piura y Departamento de Piura, octubre 2017* (Tesis de licenciatura). Universidad Católica Los Ángeles Chimbote, Perú. Recuperado de: <https://repositorio.uladech.edu.pe/handle/20.500.13032/1861>.
14. Picado, G. (2017). Desarrollo de curvas de deterioro para pavimento flexible y factor de incertidumbre. *Infraestructura Vial*, 18(31), 30-38. Recuperado de <https://doi.org/10.15517/iv.v18i31.27762>.
15. Pineda, K. (2015), *Análisis superficial de pavimentos flexibles para el mantenimiento de Vías en la Región de Puno* (Tesis de maestría). Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, Perú. Recuperado de <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/426>.
16. Sánchez, M. (2010). *Evaluación Integral de la vía local Cumaná – Cumanacoa (L001), Progresiva 0+000 (Puente Aliviadero Manzanares) hasta progresiva 10+000 (Vía Cumanacoa), de los Municipios Sucre y Montes del Estado Sucre* (Tesis de licenciatura). Universidad de Oriente de Venezuela, Venezuela. Recuperado de <https://docplayer.es/15166696> - Universidad - de – oriente – núcleo - de- anzoategui - escuela – de - ingeniería- y - ciencias – aplicadas - departamento-de-ingeniería-civil.html.
17. Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales. (2020). *Procedimiento Estándar para la Inspección del Índice de Condición del Pavimento en Caminos y Estacionamientos* (ASTM D6433-18).



18. Vázquez, L. (2002). *Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras*. Colombia. Recuperado de: <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-pci1.pdf>.