



UNIVERSIDAD CENTRAL DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

“Propuesta para la implementación de un sistema de gestión de pavimentos dirigido a la red vial cantonal pavimentada de la Municipalidad de Acosta: caso estudio C1-12-002, camino vecinal Agua Blanca–Bajos de Jorco”

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL GRADO
ACADÉMICO DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA CIVIL**

Estudiante:

Cristal Monge

Ortega

Tutor:

Ing. José Francisco Madrigal Rodríguez

San José, Costa Rica

I cuatrimestre 2022

Resumen ejecutivo

El presente trabajo consiste en la propuesta para la implementación de un sistema de gestión de pavimentos dirigido a la red vial cantonal pavimentada de la Municipalidad de Acosta.

Mediante el procedimiento establecido por la norma ASTM D-6433, se realizó un estudio de auscultación y se determinó el índice de condición del pavimento (PCI) del caso estudio C1-12-002, camino vecinal Agua Blanca–Bajos de Jorco.

Para ello, se propone un sistema en la Municipalidad de Acosta que utilice una metodología con fundamentos, la cual permita gestionar los pavimentos flexibles de la mano de un sistema de gestión información geográfico (SIG). Dicho sistema posibilitará gestionar la información que se encuentra georreferenciada con mapas, gráficos y cuadros de una manera más fácil para de la toma decisiones.

Dedicatoria y agradecimientos

Primero, quiero agradecerle a Dios, por sus infinitas bendiciones, y a la Virgencita de Los Ángeles, por siempre interceder por mí en cada uno de mis pasos.

Agradezco a mis padres, a mi mamita y papito, por siempre creer en mí y darme la oportunidad de estudiar. Ellos son mis grandes ejemplos por seguir debido a su amor incondicional e infinitamente gracias por sus palabras de aliento para seguir adelante, mi mayor fuerza de motivación para cumplir mis sueños.

Mi hermano Igor, gracias por ser mi concejero y por siempre enseñarme a no darme por vencida tan fácilmente y que puedo lograr todo aquello que me proponga, gracias por creer en mí.

Arias, mi compañero de aventuras, gracias por cada palabra de motivación y por su apoyo incondicional.

También a mi familia, por apoyarme siempre, y a mis amigos, por siempre escucharme y tener las palabras correctas para seguir adelante.

Agradezco a mi profesor tutor Ing. José Francisco Madrigal Rodríguez, por guiarme en este proceso, así como su tiempo y ayuda brindados en el desarrollo de este proyecto.

Quiero dedicarle mi proyecto de graduación a mi abuelito que hoy en día no está conmigo, pero siempre estará en mi corazón, por ser un abuelito extraordinario, por sus historias que eran las mejores. Gracias abuelito por ser un segundo padre para mí y por siempre demostrarme que todo lo que uno anhela con el corazón puede ser logrado con mucho esfuerzo.

¡Gracias a todos los que han formado parte en este proceso que es mi sueño!

Contenido

1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	9
1.1 Planteamiento del problema	9
1.2 Pregunta de investigación	10
1.3 Antecedentes	10
1.3.1 Propuesta de un sistema de gestión de pavimentos urbanos para conservar el patrimonio vial de las vías urbanas en distritos de la provincia de Lima	10
1.3.2 Propuesta de implementación de un Sistema de Gestión de Pavimentos para la carretera central margen izquierda del km 34 al km 78 basándose en el IRI clase	10
1.3.3 Gestión de pavimentos basado en sistemas de información geográfica (SIG).....	11
1.3.4 Evaluación de Estado y Planeamiento de Gestión Vial de la Avenida Grau de Castilla entre AV. Ramón Castilla y Avenida Junin de Castilla Piura.....	12
1.3.5 Diagnóstico de vías de la red vial pavimentada del cantón de Alajuela como parte de un sistema de gestión de pavimento.....	12
<i>1.3.6 Criterios ambientales y socioeconómicos para priorizar inversiones en la red vial de Costa Rica</i>	13
1.3.7 La ausencia de un Modelo de Calidad de Obra Vial en Costa Rica.....	14
1.3.8 Desarrollo de la Gestión Vial Municipal en Costa Rica: Incidencia de Elementos Político – Técnicos.....	15
1.4 Objetivo General.....	16
1.5 Objetivos Específicos	16

1.6	Justificación	17
1.7	Alcances	18
1.8	Limitaciones.....	19
2.	<u>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO</u>	20
2.1	La Red Vial Cantonal de Acosta	20
2.1.1	Cantones División territorial	21
2.2	Pavimentos	23
2.3	Los pavimentos se pueden clasificar en tres tipos	24
2.4	Deterioros de los pavimentos flexibles	25
2.5	Sistema de Gestión de Pavimentos.....	41
2.5.1	Uso de Sistema de Gestión de Pavimentos	42
2.5.2	Fases Dentro del Ciclo de Vida de un Pavimento Asfáltico	42
2.6	Ciclos del pavimento.....	43
2.7	Desarrollo e implementación de los Sistemas de Gestión	46
2.8	Gestión de Infraestructura Vial Municipal	50
2.9	Metodología del Índice de Condición del Pavimento (PCI)	51
2.10	Procedimiento	58
2.11	Medidas de seguridad	58
2.12	Procedimiento para registro	59
2.13	Sistemas de Información Geográfica	64
3.	<u>CAPITULO III. MARCO METODOLÓGICO</u>	65
3.1	Enfoque de la investigación	65
3.2	Tipo de investigación.....	65
3.3	Sujetos y fuentes de información.....	66
3.4	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	66
4.	CAPITULO VI. ANALISI DE RESUTALTADOS	68
4.1	Estado del Pavimento Flexible del C1-12-002 Camino Vecinal Agua Blanca – Bajos de Jorco.....	68

4.1.1 Metodología del PCI	68
4.1.2 Unidad de Muestreo (UM):.....	68
4.1.3 Longitud de la Unidad de Muestreo (UM).....	69
4.1.4 Número Total de Unidades de Muestreo (N).....	69
4.1.5 Número Mínimo de Unidades a Evaluar (n).....	70
4.1.5 Intervalo de muestra (i).....	71
4.1.6 Levantamiento de Deterioros del camino de a inspeccionar.....	73
4.1.7 Densidad de deterioro-Porcentaje (% Densidad)	75
4.1.8 Valor Deducido (VD).....	76
4.1.9 Numero de Deduciones Admisibles (m).....	77
4.1.10 Máximo Valor Deducido Corregido (MVCD).....	79
4.1.11 Cálculo del PCI de la unidad de muestra analizada.....	81
4.2. Plan de mantenimiento para el caso estudio C1-12-002 Camino Vecinal Agua Blanca – Bajos de Jorco	83
4.3 Sistema de Gestión de Pavimento.....	88
4.4 Componentes y Elementos del Sistema con sus Respectives Funciones.....	88
4.4.1 Recursos Humanos	88
4.4.2 Involucrados y Enfoque.....	89
4.5 Resumen del Plan de Gestión de Recursos Humanos.....	89
4.6 Estructura de Desarrollo de Trabajo (EDT).....	90
4.7 Puntos de la propuesta del Sistema Gestión Pavimentos.....	91
4.8 Software SIG – Base de Datos	93
5. CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	94
5.1 Conclusiones	94
5.2 Recomendaciones	95
6. CAPÍTULO VI – REFERENCIAS BIBLIGRÁFICAS.....	96

Lista de Cuadros

Cuadro 1. División territorial y datos generales del cantón	21
Cuadro 2. Límites del cantón.....	22
Cuadro 3. Población de distritos según zona rural o urbana.....	22

Cuadro 4. Catálogo de Deterioros del Manual de Auscultación Vial del MOPT: Guía para Profesionales (2016).....	27
Cuadro 5. Longitud de las unidades de muestreo en pavimentos flexibles.....	52
Cuadro 6. Criterio de Selección de UM a Inspeccionar.....	54
Cuadro 7. Selección de longitud de las unidades de muestra de los pavimentos flexibles.....	69
Cuadro 8. Selección de n bajo criterio técnico.....	71
Cuadro 9. Resumen de las unidades por inspeccionar.....	72
Cuadro 10. Datos de campo para la UM.....	78
Cuadro 12. Datos valor deducido total.....	79
Cuadro 13. Datos valor deducido corregido.....	82
Cuadro 14. Resumen de cálculo de PCI para el camino 1-12-002 de la ruta 209.....	82
Cuadro 15. Presupuesto del plan de mantenimiento en 2022.....	85
Cuadro 16. Resumen de deterioros presente en el C1-12-002.....	86
Cuadro 17. Propuesta de plan de mantenimiento caso estudio C1-12-002, camino vecinal Agua Blanca-Bajos de Jorco.....	87

Lista de Ilustración

Ilustración 1. Mapa cantonal.....	20
Ilustración 2. Filosofía de la gestión del pavimento.....	41
Ilustración 3. El deterioro de los pavimentos con el transcurso del tiempo.....	43
Ilustración 4. Ciclo de un pavimento asfáltico.....	44
Ilustración 5. Ciclo de deterioro rápido del pavimento.....	45
Ilustración 6. Ciclo de deterioro lento del pavimento.....	45
Ilustración 7. Ciclo de deterioro tipo mantenimiento.....	46
Ilustración 8. Ciclo de reconstrucción del pavimento.....	46
Ilustración 9. Ecuación número total de unidades de muestra (N).....	52
Ilustración 10. Ecuación número mínimo de unidades a evaluar (n).....	54
Ilustración 11. Ecuación Intervalo de muestreo (i).....	55
Ilustración 12. Diagrama de flujo de la metodología PCI para pavimentos flexibles.....	56
Ilustración 13. Valor deducido.....	61
Ilustración 14. Rango de calificaciones PCI.....	62

Ilustración 15. Gestión del pavimento del PCI para el mantenimiento con relación en el tiempo.....	63
Ilustración 16. Ubicación del caso de estudio del camino vecinal Agua Blanca-Bajos de Jorco C1-12-002, de Agua Blanca.....	64
Ilustración 17. Hoja para la auscultación del pavimento flexible.....	67
Ilustración 18. Cálculo número total de unidades de muestreo (N).....	70
Ilustración 19. Cálculo número mínimo de muestreo (n).....	70
Ilustración 20. Cálculo de n bajo criterio técnico.....	71
Ilustración 21. Cálculo de i de los intervalos de la muestra.....	71
Ilustración 22. Diagrama de unidades de muestreo por inspeccionar.....	73
Ilustración 23. Hoja de levantamiento de los deterioros de la UM 25 camino C1-12-002 de la ruta 209.....	75
Ilustración 24. Cálculo de la densidad del deterioro.....	75
Ilustración 25. Ejemplo del cuero de lagarto-cálculo de densidad del deterioro.....	76
Ilustración 26. Valor deducido de la gráfica de cuero de largo.....	77
Ilustración 27. Cálculo del número de deducciones admisibles.....	77
Ilustración 28. Cálculo del número de deducciones admisibles.....	78
Ilustración 29. Gráfica para el cálculo del VDC (pavimentos flexibles).....	80
Ilustración 30. Cálculo del PCI unidad de muestreo 25.....	81
Ilustración 31. Cálculo de PCI de la ruta 209.....	82
Ilustración 32. Resultado del PCI obtenido según escala y rangos de clasificación del caso de estudio C1-12-002.....	83
Ilustración 33. Costos estimados para los tratamientos de los pavimentos MAC.....	84
Ilustración 34. Manteamiento de la vida útil de los pavimentos.....	84
Ilustración 35. Organigrama del SGP-SIG.....	90
Ilustración 36. Estructura del desarrollo de trabajo (EDT) SGP-SIG.....	91
Ilustración 37. Levantamiento caso estudio C1-12-002, camino vecinal Agua Blanca-Bajos de Jorco.....	93

1. CAPÍTULO I. Introducción

1.1 Planteamiento del problema

La Municipalidad de Acosta es el cantón número 12 de la provincia de San José. Se fundó el 27 de octubre de 1910 y su cabecera es San Ignacio de Acosta, ubicada 30 km al sur de la capital. Sus coordenadas geográficas son 9°45'00" latitud norte y 84°14'00" longitud oeste. Este cantón presenta una extensión de 342 24 km², lo que lo hace el cuarto de mayor extensión superficial de la provincia San José, distribuido en alrededor de 292 caminos entre sus cinco distritos: San Ignacio, Palmichal, Guaitil, Cangrejal y Sabanillas.

La conservación y el desarrollo vial de los cantones es un tema contextualizado desde el punto de vista de la planificación mayor, esto a partir de un conjunto de lineamientos políticos sobre esta importante actividad.

La unidad técnica de gestión vial del municipio cuenta con registros físicos de los inventarios de los caminos, pero se encuentran muy desactualizados con respecto al estado de las rutas, pues fueron registrados en el departamento de Planificación Sectorial del MOPT en 2008 y 2009 y alimentan la base de datos digitales.

La gestión de la red vial cantonal se constituye en un elemento de valor estratégico para los Gobiernos locales, de manera que estos puedan realizar una administración de los pavimentos eficiente, planificando los recursos tanto como a corto, mediano como largo plazo. Además, mediante dicha gestión es posible contar con un adecuado manejo de los recursos y las necesidades, tomando en cuenta el ambiente y el desarrollo económico, el control de los pavimentos, la parte de ejecución y recolección de la información y el procesamiento y la implementación del sistema de gestión de pavimentos, pues todos estos factores son clave para conocer y entender el comportamiento de la infraestructura vial. Lo anterior facilita invertir oportunamente dentro de un plan estratégico y

establecer intervenciones planificadas a determinados plazos según la visión futura cantonal.

1.2 Pregunta de investigación

¿Cómo implementar un sistema de gestión de pavimentos dirigido a la red vial cantonal pavimentada de la Municipalidad de Acosta: caso estudio C1-12-002, camino vecinal Agua Blanca–Bajos de Jorco?

1.3 Antecedentes

1.3.1 Propuesta de un sistema de gestión de pavimentos urbanos para conservar el patrimonio vial de las vías urbanas en los distritos de la provincia de Lima

Un primer texto corresponde a Cerna Zelada *et al.* (2020), quienes desarrollaron la *Propuesta de un sistema de gestión de pavimentos urbanos para conservar el patrimonio vial de las vías urbanas en distritos de la provincia de Lima*. Este análisis tuvo como propósito un sistema de gestión de pavimentos urbanos para conservar el patrimonio de las vías de la provincia de Lima Metropolitana, mediante a la aplicación del sistema de información geográfica (SIG), el cual identifica las necesidades de las vías urbanas por intervenir.

Se determina que, para llevar un adecuado control, es recomendable evitar el deterioro de los pavimentos mediante un mantenimiento periódico, el cual ayude en el desarrollo vial. También se considera que la mejor forma es tener un control anual para formar un historial de información lo más actualizado posible y así analizar el comportamiento. Según se sabe, generar un modelo no evita que algunos parámetros no sean los correctos, pero sí ayuda a minimizar los datos erróneos para la propuesta del sistema de gestión de pavimentos.

1.3.2 Propuesta de implementación de un sistema de gestión de pavimentos para la carretera central margen izquierda del km 34 al km 78, basándose en el IRI, clase III

El segundo texto es de Santana (2020) y se denomina: *Propuesta de implementación de un Sistema de Gestión de Pavimentos para la carretera central margen izquierda del km 34 al km 78 basándose en el IRI clase III*. En dicho estudio se determinaron los principales beneficios de implementar un sistema de gestión de pavimentos del tramo mencionado, para lo cual se utilizó el método estocástico-probabilístico, que es la variable de medición del índice de rugosidad internacional. De esta forma, se propuso la reducción de los gastos mediante una proyección a largo plazo. Para este análisis se empleó el Solver del software MS Excel, que se encarga de la toma de decisiones en la distribución de los recursos para la ejecución del estudio.

La investigación está relacionada con la propuesta, ya que es de vital importancia optimizar los recursos para la realización de un trabajo a largo plazo. Además, se abarca el tema de cuál es la forma más adecuada de aplicar un sistema de gestión de pavimentos (SGP).

1.3.3 Gestión de pavimentos basado en sistemas de información geográfica (SIG)

Un tercer texto corresponde al de Silva-Balaguera *et al.*, titulado: *Gestión de pavimentos basado en sistemas de información geográfica (SIG)*. Esta investigación se basó en un análisis de sistemas de información geográfica, el cual se implementó en la gestión de pavimentos flexibles en Colombia. De esta forma, se inició un sistema llamado Hermes, pues se mencionó que el método tradicional no logró un adecuado control de la información para la administración y el inicio de las obras.

Los autores indican que, mediante el sistema de información geográfica, es posible conseguir un análisis más actual, ya que la información de la evaluación llega en tiempo real. Lo anterior permite un control adecuado del procesamiento de los datos; además, este método presenta una selección optimizada de los recursos.

Sobre el sistema de gestión pavimentos, este se define a partir de dos niveles: el nivel red, que se refiere al desarrollo de la obra a cargo, y el nivel del proyecto, entendido como un tramo de la vía específico cuya intervención tiene un mayor detalle

Una adecuada recolección de los datos es de suma importancia para cualquier implementación, incluyendo la que se desea desarrollar, pues se trata de información necesaria para efectuar un plan de ejecución.

1.3.4 Evaluación de estado y planeamiento de gestión vial de la avenida Grau de Castilla entre AV. Ramon Castilla y avenida Junin de Castilla–Piura

Escobar Chuyes (2015) realizó la propuesta: *Evaluación de estado y planeamiento de gestión vial de la avenida Grau de Castilla entre AV. Ramon Castilla y avenida Junin de Castilla–Piura*. Este proyecto de investigación utilizó la variable del método del índice de condición del pavimento (PCI), es decir, el estado real en que se encuentra el pavimento de la ruta del caso investigado. Así es como el análisis de los resultados obtenidos tuvo como objetivo mejorar la “transitabilidad”, mediante la identificación del estado en que se encontraba dicha avenida, lo que también permitió el diseño de un nuevo estudio estructural y el análisis de los resultados de los costos.

Por ello, la evaluación permite contar con un sistema para seguir con la gestión vial en el futuro. La conservación vial es posible mediante un plan de gestión vial, en donde se mejore la “transpirabilidad” durante un tiempo establecido.

1.3.5 Diagnóstico de vías de la red vial pavimentada del cantón de Alajuela como parte de un sistema de gestión de pavimentos

La propuesta de Arias Alfaro (2014) se denomina: *Diagnóstico de vías de la red vial pavimentada del cantón de Alajuela como parte de un sistema de gestión de pavimentos*. En esta propuesta se expone un sistema de gestión de pavimentos de la red vial, junto con su metodología e implementación en la estructura vial

mediante el control de índices. Como propósito principal se define la distribución del monto a utilizar para el desarrollo del proyecto y la distribución adecuada respecto a la vida útil del pavimento, de manera que no llegue a un caso crítico, según lo indicado en el estudio, la toma de decisiones y el plan presupuestario para un mantenimiento preventivo.

De esta forma, se observó que el uso del sistema de información geográfica es una herramienta muy útil para el desarrollo de la investigación, tanto para analizar, consultar como visualizar la red vial. Se trata de una base de datos en donde se incluye la información de los inventarios y el análisis para formar un estudio vial.

1.3.6 Criterios ambientales y socioeconómicos para priorizar inversiones en la red vial de Costa Rica

El documento de Arias García y Rodríguez Morera (2018), *Criterios ambientales y socioeconómicos para priorizar inversiones en la red vial de Costa Rica*, expone las necesidades de inversión de acuerdo al estado del pavimento. Las redes viales se han convertido en un reto para las instituciones, por lo cual este artículo menciona los resultados de la incorporación de los criterios económicos, sociales y ambientales de las inversiones en una estructura vial.

A partir de este documento se pretende mejorar el mantenimiento y el desarrollo de la infraestructura con los recursos disponibles. Dicha metodología se basa en tres etapas: la recolección, el procesamiento y el estado del pavimento. También se propone que debe existir un equilibrio entre la ejecución, el presupuesto y la emisión de CO₂. Lanamme UCR realizó una evolución que midió índices como el IRI, la deflectometría y la resistencia al deslizamiento (*grip number*). La importancia de un análisis preventivo es que permite levantar las condiciones de las secciones y ver el estado en que se encuentran.

Debido a lo anterior, la evaluación de las gestiones de redes viales pavimentadas es de suma importancia, tanto para la parte económica, social como ambiental. Se debe dar prioridad a las futuras inversiones de la infraestructura vial, además de contar con un equilibrio entre la red vial, el presupuesto y la emisión de CO₂ a la hora de la ejecución.

1.3.7 La ausencia de un modelo de calidad de obra vial en Costa Rica

El artículo de Vásquez Rodríguez (2015) para la *Revista Nacional de la Administración*: “La ausencia de un modelo de calidad de obra vial en Costa Rica que considere la voz del cliente-ciudadano”, se refiere modelos que permiten mejorar la gestión con el tiempo, especialmente, el proceso por realizar antes, durante y después de la ejecución del proyecto. Lo anterior tiene como objetivo alcanzar una mejora de la calidad de la infraestructura vial y contar con una evaluación de los estándares de calidad en las obras de la red vial.

Dicho artículo explica la forma en que lo anterior se desarrolla en varios países, entre ellos, España y México, los cuales tienen modelos de calidad de la infraestructura vial, es decir, existe la idea del desarrollo de las carreteras como un servicio y no como una obra. Sin embargo, en Costa Rica, el modelo de la calidad con base en una carretera no es un servicio, sino que, más bien, se cuenta con fases como la inspección, el control y la verificación, en donde la calidad se analiza por la obra en ejecución, no el servicio. Así es como se presentan modelos que establecen variables y subvariables claves para evaluar la calidad y contar con parámetros claros de los de los proyectos viales, pues el objetivo es comparar la calidad y mejorar las prácticas de forma continua de la infraestructura vial.

1.3.8 Desarrollo de la gestión vial municipal en Costa Rica: incidencia de elementos político-técnicos

En el artículo, “Desarrollo de la Gestión Vial Municipal en Costa Rica: Incidencia de Elementos Político – Técnicos”, Xu-Ye *et al.* analizan la gestión vial municipal como una manera de mejorar la infraestructura en Costa Rica. Para la red vial cantonal (RVC), es importante tomar en cuenta la accesibilidad y la movilidad a los usuarios, además de incentivar el desarrollo económico de las áreas rurales. Sin embargo, uno de los problemas principales es la falta de los recursos, lo que no permite una correcta gestión vial municipal.

Asimismo, se hace referencia al análisis de la información necesaria para que los municipios realicen tareas de gestión e inspección de la obra vial. LanammeUCR junto con los Gobiernos locales dan asesoría técnica en las diferentes áreas de la gestión municipal.

Como se menciona en el artículo, LanammeUCR ha llevado a cabo proyectos técnicos y científicos para mejorar las prácticas constructivas utilizadas en el país, así como el diseño del pavimento la gestión de red vial. De esta forma, se generó una herramienta que propicia la mejora de la gestión vial municipal con cierta ubicación o capacitación. Además, las municipalidades pueden efectuar sus propios planes viales de conservación y desarrollo justificado para lograr una gestión vial municipal planificada.

Por lo anterior, resulta de vital importancia realizar una metodología para la implementación de un sistema de gestión de pavimentos dirigida a la red vial municipal en Costa Rica.

1.4 Objetivo general

Desarrollar una propuesta para la implementación de un sistema de gestión de pavimentos dirigido a la red vial cantonal pavimentada de la Municipalidad de Acosta: caso estudio C1-12-002, camino vecinal Agua Blanca–Bajos de Jorco.

1.5 Objetivos específicos

- ✓ Caracterizar la red vial cantonal pavimentada de la Municipalidad de Acosta.
- ✓ Identificar la metodología de evaluación por utilizar para la elaboración de una propuesta de implementación de un sistema de gestión de pavimentos dirigido a la red vial cantonal pavimentada de la Municipalidad de Acosta.
- ✓ Recopilar la información de campo requerida según la metodología del PCI (índice de condición del pavimento) para la evaluación del sistema de gestión de pavimentos destinado a la red vial cantonal pavimentada de la Municipalidad de Acosta.
- ✓ Elaborar una propuesta para la implementación de un sistema de gestión de pavimentos orientado a la red vial cantonal pavimentada de la Municipalidad de Acosta, mediante la aplicación del caso de estudio camino vecinal Agua Blanca-Bajos de Jorco C1-12-002, de Agua Blanca (entronque ruta nacional 209) a Bajos de Jorco (iglesia católica), cantón de Acosta.

1.6 Justificación

La red vial cantonal es fundamental para el crecimiento de Costa Rica, pues es utilizada por la gran mayoría de los sectores productivos. Debido a lo anterior, esta se constituye como un elemento estratégico para los Gobiernos locales, los cuales necesitan cumplir con actividades básicas cantonales que alcancen mejores condiciones económicas, sociales y ambientales para sus habitantes.

Esta investigación pretende generar un sistema de gestión de pavimentos dirigido a la Municipalidad de Acosta, que permita gestionar los pavimentos mediante una herramienta, cuyo fin es mejorar los procesos y planificar un manejo adecuado de los recursos en la estructura vial, de manera estratégica, tanto a corto, mediano como largo plazo. El objetivo es el desarrollo institucional de la municipalidad respecto al área de conservación vial para progresar en la condición de las carreteras cantonales.

La red cantonal es de vital importancia para el desarrollo económico y el crecimiento social, ya que posibilita satisfacer las necesidades de la población como organización comunitaria. Es fundamental garantizar el mantenimiento y la rehabilitación de la infraestructura vial para los servicios de comercio y transporte, de manera que se cuente con condiciones de seguridad, lo que a su vez brindará una mejor calidad de vida para las personas.

La metodología para el análisis sobre la administración de los intereses y los servicios locales del cantón brinda una herramienta que mejora la gestión vial municipal sobre las necesidades actuales y futuras, en donde se adecúa a la calidad de la inversión a los presupuestos municipales.

1.7 Alcances

Se propone una metodología para la implementación de un sistema de gestión de pavimentos dirigido a la red vial cantonal pavimentada de la Municipalidad de Acosta, que busca mejorar la eficiencia en toma de decisiones para la gestión de los resultados dentro la factibilidad y los costos de ejecución. De esta forma, será posible una comunicación efectiva y la recolección de la información del sistema.

Para la presente investigación se tomó en cuenta únicamente la Red vial cantonal pavimentada de la Municipalidad de Acosta, en donde el 8 % de los caminos son asfalto. No se incluyeron rutas superficie de ruedo de los caminos con material granular (lastre), que componen un 52 %, ni los caminos en tierra con un 40 %.

La metodología para la implementación de sistema de gestión de pavimentos en la Municipalidad de Acosta implicó la utilización del caso de estudio C1-12-002, camino vecinal Agua Blanca-Bajos de Jorco, lo que generó una base de datos de las distintas condiciones del pavimento a lo largo de su vida útil. De esta forma, esta base de datos se empleó en el análisis de la información sobre el proceso de gestión, que incluyó alternativas de inversión, proyección, control y presupuesto, con el objetivo de mejorar de manera continua la infraestructura vial y la calidad de los programas para el mantenimiento y el progreso de los caminos de la red vial, los cuales son necesarios dentro del desarrollo socioeconómico del cantón.

Se buscó crear una base para la gestión del mantenimiento de las vías pavimentadas, enfocándose en su desempeño y con el fin de generar un plan a corto, mediano y largo plazo, según lo establecido en la legislación nacional y cantonal.

1.8 Limitaciones

Se desarrolló un caso de estudio de la ampliación del camino C1-12-002, camino vecinal Agua Blanca–Bajos de Jorco, para tener una fase de implementación del sistema. En esta etapa se limitó el tiempo de pruebas y el análisis de los resultados en una línea de tiempo.

No se incluyó la superficie de ruedo en lastre y tierra, la cual se distribuye en 197,35 km de superficie en lastre y 150,75 km corresponde a superficie de ruedo en tierra.

La Municipalidad de Acosta no cuenta con un registro de la condición los pavimentos para poder generar curvas propias de deterioro de los pavimentos, aunque tiene previsto iniciar un proceso de actualización de la base de datos y levantamiento de nuevos caminos que no se encuentran. La información registrada de la red vial por la UTGV y el departamento de Planificación Sectorial entre 2008 y 2009, con ayuda del Programa de Regularización de Catastro y Registro del Gobierno de Costa Rica, tiene varias inconsistencias en el estado actual de los caminos. Uno de los factores son los cambios en los últimos años del tránsito promedio, por lo que el comportamiento real no es el mismo.

2. CAPÍTULO II. Marco Teórico

2.1 La red vial cantonal de Acosta

El cantón de Acosta, el número 12 de la provincia de San José, está dividido en cinco distritos: San Ignacio, Palmichal, Guaitil, Cangrejal y Sabanillas. Además, se encuentra posicionado como el cuarto cantón de mayor extensión superficial de la de San José, ya que cuenta con una extensión de 342 24 Km². Acosta se encuentra ubicado 30 km al sur de la capital y sus las coordenadas geográficas son 9°45'00" latitud norte y 84°14'00" longitud oeste. Este fue fundado el 27 de octubre de 1910 y su cabecera es San Ignacio de Acosta.

Ilustración 1

Mapa cantonal



Nota. Tomado de Municipalidad de Acosta (2019).

2.1.1 Cantones según la división territorial

- 112 01 SAN IGNACIO: ciudad. Altitud: 1095 m. Barrios: Abarca, Corral, María Auxiliadora, Ortiga, Pozos, San Martín (San Gerardo), San Luis, Turrupal y Vereda. Poblados: Aguablanca (parte), Alto Escalera, Alto Los Mora, Ángeles, Chirracá (parte), Esperanza, Potrerillos, Resbalón y Tablazo.
- 112 02 GUAITIL: cabecera. Altitud: 1030 m. Poblados: Alto Sierra, Alto Vigía, Bajo Arias, Bajo Bermúdez, Bajo Calvo, Bajo Cárdenas, Bajo Moras, Coyolar, Hondonada, La Cruz, Lagunillas (parte), Ococa, Toledo y Zapote.
- 112 03 PALMICHAL: cabecera. Altitud: 1097 m. Barrios: San Pablo Poblados, Agua Blanca (parte), Bajo Cerdas, Bajos de Jorco, Bolívar, Cañadas, Caragral, Corazón de Jesús, Charcalillo, Chirracá (parte), Fila, Jaular, Lagunillas (parte), La Mina, La Pita, Los Monge, Playa, San Pablo y Sevilla.
- 112 04 CANGREJAL: cabecera. Altitud: 700 m. Poblados: Bajo Los Cruces, Ceiba Alta (parte), Ceiba Baja, Ceiba Este, Escuadra, Gravilias, Lindavista, Llano Bonito, Mesa, Naranjal, Perpetuo Socorro, Tejar y Tiquires.
- 112 05 SABANILLAS: cabecera. Altitud: 1122 m. Poblados: Alto Parritón, Bajo Palma, Bajo Pérez, Bijagual, Breñón, Caspirola, Colorado, Cuesta Aguacate, Limas, Parritón, Plomo, Sabanas, San Jerónimo, Soledad, Téruel, Tiquiritos, Uruca y Zoncuano.

Cuadro 1

División territorial y datos generales del cantón

UNIDAD TERRITORIAL	ÁREA (km ²)	POBLACIÓN (*)	COORDENADAS APROX. GEOGRÁFICAS		COORDENADAS APROX. CRTM 05	
			LATITUD	LONGITUD	LATITUD	LONGITUD
CANTÓN 12 Acosta	342.24	20 209				
01 San Ignacio	23.19	8 961	09°48'00"	84°09'50"	1083473	482235
02 Guaitil	43.88	2 741	09°47'36"	84°14'00"	1082741	474616
03 Palmichal	34.58	4 262	09°50'24"	84°12'25"	1087899	477514
04 Cangrejal	63.98	2 138	09°45'57"	84°13'15"	1079698	475986
05 Sabanillas	176.61	2 804	09°44'35"	84°15'40"	1077183	471565

Nota. Tomado de Plan de Desarrollo Humano Local 2010-2020, Cantón de Acosta (INEC, Censo 2011).

2.1.3 Límites del cantón

Cuadro 2

Límites del cantón

Puntos Cardinal	Límite
Norte	Mora, Escazú y Alajuelita
Sur	Parrita
Este	Aserri
Oeste	Puriscal y Mora

Nota. Tomado de Unidad Técnica Gestión Vial Municipal (2016).

Características demográficas de una población total de 20 209 habitantes con un superficie de 342,24 km² y una densidad 59,5 km² (INEC, Censo 2011).

Cuadro 3

Población de distritos según zona rural o urbana

Distrito	Población Urbana		Población Rural		Total	
	Absoluto	Relativo(respecto al total distrito)	Absoluto	Relativo (respecto al total distrito)	Absoluto	Relativo (respecto al total cantón)
San Ignacio	1377	15%	7639	85%	9016	45%
Guaitil	-	-	2406	100%	2406	12%
Palmichal	1147	25%	3434	75%	4581	23%
Cangrejal	-	-	1875	100%	1875	9%
Sabanillas	-	-	2331	100%	2331	11%
Total cantón	2.524	12%	17.685	88%	20.209	100%

Nota. Tomado de INEC (Censo 2011).

De topografía particular por sus pendientes y ríos, el cantón de Acosta es una zona rural, dos ríos con grandes afluentes, una enorme cantidad de nacientes, frondosas cuencas y mantos acuíferos. A tan solo 29,5 kilómetros de la capital San José, este cantón tiene 20 209 habitantes ubicados en 342,24 kilómetros cuadrados y una densidad de 59,5 de kilómetros cuadrados. Se conformó más

sólidamente cuando a finales del siglo XIX, cuando un número mayor de pobladores rompieron la frontera agrícola detenida en Tarbaca (Municipalidad de Acosta, 2017).

El departamento de Gestión Vial, conocido como la Unidad Técnica de Gestión Vial Municipal (UTGVM), es el encargado de todas las funciones referentes a la gestión de carreteras cantonales para la intervención municipal en materia vial. Este departamento trabaja bajo una modalidad participativa que requiere acompañar las obras técnicas con otros elementos como organización, capacitación, control social e información económica, social, legal y ambiental, que motive el interés de los usuarios, la cooperación y la solidaridad del cantón, con el objetivo de determinar un desarrollo vial deseable.

2.2 Pavimentos

El pavimento es un elemento estructural que está apoyado en una superficie natural para soportar los esfuerzos, producto de las cargas generadas por la flota vehicular y el ambiente. Este se utiliza en obras de infraestructura vial como lo es una carretera, la cual permite el tránsito de vehículos en un tiempo establecido por el diseñador. Por ello, se debe desarrollar una superficie de ruedo confortable, estable, duradera y con una estructura simplificada compuesta por los siguientes elementos:

Carpeta asfáltica: es la capa superior del pavimento y la conforman mezclas bituminosas. También es conocida como superficie de ruedo y recibe de forma directa las cargas a consecuencia del tránsito. Una capa de Impermeabilidad es necesaria para evitar la entrada del agua a las capas inferiores.

Base: es la parte estructural más importante. Su principal función es distribuir y transmitir las cargas que se generan del tránsito a la subbase y a la subrasante, respectivamente.

Subbase: Se coloca entre la subrasante y la base. Se trata de la capa que se encarga de transmitir y distribuir uniformemente las cargas aplicadas a la superficie.

Subrasante: es capa que tiene como finalidad resistir las cargas de la base o subbase. Esta es muy importante, porque le da soporte a la estructura, ya que distribuye debidamente las capas para formar el pavimento de la calzada.

Los pavimentos se deterioran con el tiempo. Estos son una inversión significativa en la red vial, pues los que se encuentran en buen estado se mantienen dentro de un nivel de servicio razonable y responden al mantenimiento preventivo a menor costo (Curso de vías de comunicación II, Universidad Central de Costa Rica, 2020).

2.3 Los pavimentos se pueden clasificar en tres tipos

Pavimentos flexibles: se caracterizan por tener una superficie de ruedo de concreto asfáltico, una base granular o estabilizada y una subbase granular. Se los conoce como pavimentos flexibles, ya que permiten pequeñas deformaciones en las capas inferiores sin llegar a la falla. Estos tienen un costo de inversión inicial menor, sin embargo, el mantenimiento posee un precio mayor, pues debe ser periódico para cumplir con una vida útil entre diez y quince años.

Pavimentos rígidos: su estructura está compuesta por una losa de concreto hidráulico como superficie de ruedo, una base granular o estabilizada con cemento y una subbase granular opcional. Se los denomina como rígidos, ya que no permiten deformaciones en las capas inferiores. Estos tienen un costo de inversión inicial mayor, sin embargo, el mantenimiento posee un precio menor al ser relativamente sencillo. Los pavimentos rígidos cuentan con una vida útil entre veinte y cuarenta años.

Pavimentos semirrígidos: son constituidos por una superficie de ruedo de concreto asfáltico, una base estabilizada con cemento y una subbase granular. Su vida útil es similar a la de los pavimentos flexibles.

2.4 Deterioros de los pavimentos flexibles

Según el Catálogo de Deterioros del Manual de Auscultación Vial del MOPT: Guía para Profesionales (2016), dentro del proceso de inspección visual en la metodología, en la evaluación pavimento es de suma importancia la información sobre la condición de la estructura, ya que se presentan diferentes deterioros durante el procedimiento de auscultación. Se ha logrado identificar los daños que va presentando el pavimento en un periodo conforme llega a su vida útil. Dichos daños ocurren por una mala calidad de los materiales, la cual genera deterioros en corto tiempo o por las condiciones ambientales; todo esto produce disconformidad en los usuarios.

Los deterioros de los pavimentos flexibles son los que brindan la información para realizar el cálculo bajo parámetros funcionales del PCI. Se deben seguir los deterioros de acuerdo con el Manual de Auscultación Vial del MOPT para obtener un valor del PCI confiable respecto a dicho levantamiento y posterior evaluación de la condición del pavimento.

Se divide en grupos de grietas, deformaciones, textura superficial y misceláneos de los deterioros más comunes. A su vez, cada uno de los cuatro grupos mencionados se subdivide en los deterioros.

Grietas

- ✓ cuero de lagarto/grietas por fatiga
- ✓ grieta longitudinal y transversal
- ✓ agrietamiento por reflejo de juntas
- ✓ grietas en bloque
- ✓ grietas de borde
- ✓ grietas en arco

Deformaciones

- ✓ roderas/ahuellamiento
- ✓ abultamientos y hundimientos
- ✓ corrugación
- ✓ depresión
- ✓ hinchamiento
- ✓ corrimiento / desplazamiento de la mezcla

Textura superficial

- ✓ exudación
- ✓ pulimiento de agregados
- ✓ desprendimiento de agregados
- ✓ desgaste superficial

Misceláneos


- ✓ escalonamiento entre la calzada y el espaldón
- ✓ baches
- ✓ huecos
- ✓ cruce de línea férrea

A continuación, se presenta cada uno de los deterioros con sus características a partir del Catálogo de Deterioros del Manual de Auscultación Vial del MOPT.

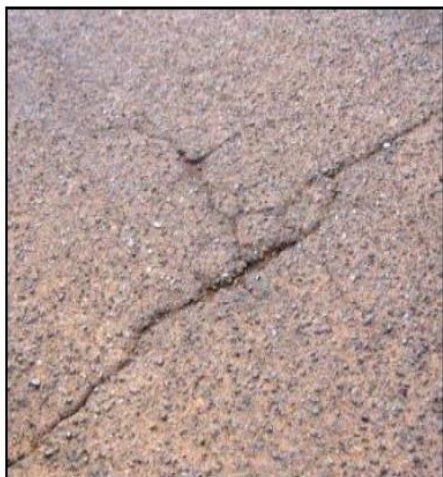
Cuadro 4

Catálogo de Deterioros del Manual de Auscultación Vial del MOPT: Guía para Profesionales (2016)

Catálogo de Deterioros del Manual de Auscultación Vial del MOPT: Guía para Profesionales (2016)

Grietas	Definición	Causas posibles	Criterios de severidad	Posibles acciones de intervención
<p data-bbox="44 707 284 797">1. Cuero de lagarto/grietas por fatiga</p>  <p data-bbox="62 1400 456 1458">Medición del deterioro en metros cuadrados (m²).</p>	<p data-bbox="512 577 751 1368">El cuero de lagarto consiste en una serie de grietas interconectadas causadas debido a la falla por fatiga (paso repetido de vehículos). Las grietas se propagan del fondo de la capa de mezcla asfáltica hacia arriba. El deterioro aparece inicialmente como una serie de grietas longitudinales paralelas que, conforme se someten a más pasadas vehiculares, se interconectan y forman algo parecido al cuero de un lagarto.</p> <p data-bbox="512 1373 751 1581">El deterioro ocurre solamente en áreas sujetas al paso repetido de los vehículos como las huellas de los estos.</p>	<p data-bbox="770 577 1015 1093">Falla por fatiga de la capa de rodadura asfáltica, generalmente en la huella, bajo acción repetida de las cargas de tránsito. Por lo general, el fisuramiento excesivo indica que el pavimento ya no tiene capacidad estructural de sostener las cargas de tránsito y ha llegado al final de su vida útil.</p> <p data-bbox="770 1097 1015 1216">Ligante envejecido. Subdrenaje inadecuado en sitios aislados.</p>	<p data-bbox="1034 600 1278 902">•Bajo: las grietas longitudinales paralelas se encuentran en buen estado y poseen ninguna o muy pocas conexiones. Las grietas no están fracturadas en los bordes.</p> <p data-bbox="1034 907 1278 1328">•Medio: Las grietas poseen más interconexiones y comienzan a formar el patrón de cuero de lagarto, algunas se encuentran fracturadas en los bordes. Las grietas pueden formar mallas entre 20 cm x 20 cm y 50 cm x 50 cm.</p> <p data-bbox="1034 1332 1278 1910">•Alto: se ha formado un patrón de grietas totalmente interconectadas (simulando cuero de lagarto), las cuales se encuentran en su mayoría fracturadas en los bordes. Estas forman bloques sueltos que pueden llegar a moverse bajo el paso de un vehículo. Las grietas forman mallas menores a 20 cm x 20 cm.</p>	<p data-bbox="1299 577 1506 1059">•Evaluar previamente el sistema de drenaje superficial o subdrenajes, para lo cual, y si corresponde, se deberán tomar las medidas correctivas necesarias y así evitar afectaciones en la estructura del pavimento.</p> <p data-bbox="1299 1064 1506 1216">•Bajo y medio: sellos asfálticos, tratamientos superficiales asfálticos.</p> <p data-bbox="1299 1220 1506 1373">•Alto: bacheo (para casos puntuales) o sustitución de capa asfáltica.</p>
	Las grietas longitudinales son	•Reflexión de grietas causadas	•Bajo: ancho menor a 6 mm o selladas	Evaluar previamente el

2. Grieta longitudinal y transversal



Medición del deterioro en metros lineales (m).

paralelas a la línea de centro de la carretera y las transversales se extienden a través del pavimento en ángulos rectos con respecto a la línea de centro de la carretera (dirección de avance de los vehículos).

por grietas existentes debajo de la superficie de rodamiento; incluye grietas en pavimentos conformadas por capas estabilizadas químicamente o de concreto.

- Endurecimiento por envejecimiento o drenaje inadecuado.
- Juntas de construcción inadecuadamente trabajadas.

en buenas condiciones y con un ancho que no se puede medir, sin ramificaciones en los bordes.

- Medio: Ancho mayor a 6mm y menor a 19mm o, menor a 19mm con ramificaciones pequeñas o grieta sellada rodeada de ramificaciones pequeñas.
- Alto: ancho mayor a 19 mm o grieta sellada con ramificaciones grandes e importantes. Bordes de grieta normalmente degradados.

sistema de drenaje superficial o subdrenajes, para lo cual, y si corresponde, se deberán tomar las medidas correctivas necesarias para evitar afectaciones en la estructura del pavimento.

- Bajo y medio: sellado de fisuras o grietas.
- Alto: sellado de fisuras y grietas o bacheo.

3. Agrietamiento por reflejo de juntas



Medición del deterioro en metros lineales (m).

Este deterioro ocurre solamente en pavimentos asfálticos en los que se haya colocado una carpeta asfáltica sobre una capa de concreto formada por losas.

Reflejo de las juntas del pavimento rígido sobre el que se colocó la carpeta asfáltica.

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

- Bajo y medio: sellado de fisuras o grietas.
- Alto: sellado de fisuras y grietas o bacheo.

4. Grietas en bloque



Medición del deterioro en metros cuadrados (m2).

Las grietas en bloque son grietas interconectadas que dividen el pavimento en piezas aproximadamente rectangulares, los bloques van por lo general de 0,3 m x 0,3 m a 3 m x 3 m.

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

- Bajo: las grietas del bloque son definidas por los criterios correspondientes al deterioro de "grieta longitudinal y transversal" de severidad baja.
- Medio: las grietas del bloque son definidas por los criterios correspondientes al deterioro de "grieta longitudinal y transversal" de severidad media.
- Alto: las grietas del bloque son definidas por los criterios correspondientes al deterioro de "grieta longitudinal y transversal" de severidad alta.

- Evaluar previamente el sistema de drenaje superficial o subdrenajes, para lo cual, y si corresponde, se deberán tomar las medidas correctivas necesarias para evitar afectaciones en la estructura del pavimento.
- Bajo: sellado de fisuras y grietas, sellos asfálticos, tratamientos superficiales asfálticos.
- Medio: sellos asfálticos, tratamientos superficiales asfálticos.
- Alto: sustitución de capa asfáltica.

5. Grietas de borde





Las grietas de borde son paralelas y usualmente separadas de 0,3 a 0,5m del borde externo del pavimento.


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

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

- Evaluar previamente el sistema de drenaje superficial o subdrenajes, para lo cual, y si corresponde, se deberán tomar las medidas correctivas necesarias para evitar afectaciones en la estructura del pavimento.
- Bajo: sellado de fisuras y grietas
- Medio y alto: evaluación de las condiciones de drenaje y atención de estas.
- Reconstruir los espaldones colocando material perfectamente

<p>Medición del deterioro en metros lineales (m).</p>				<p>compactado y al menos revestido con un tratamiento superficial. Sellar las áreas comprometidas. Construcción de muro de retención.</p>
<p>6. Grietas en arco</p>  <p>Medición del deterioro en metros cuadrados (m2).</p>	<p>Este tipo de grieta posee una forma de arco o media luna y, generalmente, es transversal a la dirección del flujo vehicular.</p>	<p>Este daño puede originarse por debilitamiento debido a condiciones climáticas, de la base o de la subrasante próximas al borde del pavimento, menor confinamiento lateral, deficiente compactación del borde, falla de rellenos, entre otras; y se acelera por las cargas de tránsito.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo: el ancho promedio de la grieta es menor a 10 mm. • Medio: alguna de las siguientes condiciones: el ancho promedio de la grieta está entre 10 mm y 40 mm o el área alrededor de la grieta está ligeramente fracturada o rodeada de grietas más pequeñas. • Alto: alguna de las siguientes condiciones: el ancho promedio de la grieta es mayor a 40 mm o el área alrededor de la grieta está fracturada en pedazos que se pueden mover. 	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluar previamente el sistema de drenaje superficial o subdrenajes, para lo cual, y si corresponde, se deberán tomar las medidas correctivas necesarias para evitar afectaciones en la estructura del pavimento. • Bajo y medio: bacheo. • Alto: bacheo (para casos puntuales) o sustitución de capa asfáltica.

Deformaciones	Definición	Causas posibles	Criterios de severidad	Posibles acciones de intervención
<p>7. Roderas/ahuellamiento</p> 	<p>Una rodera es una depresión en las huellas del vehículo. Se puede dar un levantamiento en los bordes de las roderas, pero, generalmente, las roderas solo se notan luego de que llueve, pues las huellas se llenan de agua. Las roderas</p>	<p>Técnica de construcción pobre y un mal control de calidad. Las capas pobremente compactadas.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inestabilidad en bases y subbases granulares, creada por la presión del agua o saturación de esta. • La acción del 	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo: la profundidad promedio es de 6 mm a 13 mm. • Medio: la profundidad promedio es de 13 mm a 25 mm. • Alto: la profundidad promedio es mayor a 25 mm. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo: bacheo (para casos puntuales) o tratamiento superficial o sellos asfálticos. • Medio: bacheo (para casos puntuales), tratamientos superficiales asfálticos,

<p>Medición del deterioro en metros cuadrados (m²).</p>	<p>se derivan de una deformación permanente que puede proceder de cualquier capa del pavimento o de la subrasante, usualmente su causa se asocia a consolidación o movimiento lateral de los materiales.</p>	<p>tránsito (sobrecargas y altos volúmenes de tránsito no previstos en el diseño original).</p> <ul style="list-style-type: none"> •Utilización de materiales no apropiados o de mala calidad, entre otras. 		<p>sustitución de capa asfáltica o colocación de sobrecapa asfáltica.</p> <ul style="list-style-type: none"> •Alto: sustitución de capa asfáltica (perfilado y carpeteo).
<p>8. Abultamientos y hundimientos</p>  <p>Medición del Deterioro: En metros lineales (m).</p>	<p>Los abultamientos son desplazamientos hacia arriba de la carpeta asfáltica que, generalmente, son pequeños y localizados. Los hundimientos, por el contrario, son desplazamientos abruptos hacia abajo, que, al igual que los abultamientos, suelen ser localizados.</p>	<ul style="list-style-type: none"> •Técnica de construcción pobre y un mal control de calidad. Las capas pobremente compactadas. •Levantamientos localizados por raíces, alcantarillas, otros. •Por acción del tránsito. •Utilización de materiales no apropiados o de mala calidad, entre otras. 	<ul style="list-style-type: none"> •Bajo: calidad de ruedo de severidad baja, con una deformación vertical aproximada de 3 mm a 50 mm. •Medio: calidad de ruedo de severidad media, con una deformación vertical aproximada de 50 mm a 100 mm. •Alto: calidad de ruedo de severidad alta, con una deformación vertical aproximada de más de 100 mm. 	<ul style="list-style-type: none"> •Evaluar previamente el sistema de drenaje superficial o subdrenajes, para lo cual, y si corresponde, se deberán tomar las medidas correctivas necesarias para evitar afectaciones en la estructura del pavimento. •Bajo: bacheo. •Medio y alto: bacheo (para casos puntuales) o sustitución de capa asfáltica.
<p>9. Corrugación</p>	<p>La corrugación es una serie de crestas y valles que ocurren a intervalos regulares (usualmente menos de 3m) a través del pavimento y en dirección perpendicular a la del avance de los vehículos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Técnica de construcción pobre y un mal control de calidad. Las capas pobremente compactadas. • Inestabilidad en bases y subbases granulares, creada por la presión del agua o saturación de la misma. • La acción del 	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo: calidad de ruedo de severidad baja, levantamiento menor a 20 mm. • Medio: calidad de ruedo de severidad media, levantamiento entre 20 mm y 50 mm. • Alto: calidad de ruedo de severidad alta, levantamiento mayor a 50 mm. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo: evaluar el área afectada para definir la intervención idónea (no hacer nada, perfilado, entre otras). • Medio y alto: sustitución de capa asfáltica.



Medición del deterioro en metros cuadrados (m²).

tránsito (sobrecargas y altos volúmenes de tránsito no previstos en el diseño original).

- Utilización de materiales no apropiados o de mala calidad, entre otras.

Las depresiones son áreas localizadas ligeramente más bajas que la superficie del pavimento circundante.



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

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


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



10. Depresión


Medición del deterioro en metros cuadrados (m²).

<p>11. Hinchamiento</p>  <p>Medición del deterioro en metros cuadrados (m²).</p>	<p>Los hinchamientos se caracterizan por un abultamiento de la superficie del pavimento creando una onda larga de más de 3 metros.</p>	<p>Suelos expansivos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo: calidad de ruedo de severidad baja, levantamiento se encuentra entre 13 mm y 25 mm en el punto más alto. • Medio: calidad de ruedo de severidad media, levantamiento entre 25 mm y 50 mm en el punto más alto. • Alto: calidad de ruedo de severidad alta, levantamiento mayor a 50 mm en el punto más alto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluar previamente el sistema de drenaje superficial o subdrenajes, para lo cual, y si corresponde, se deberán tomar las medidas correctivas necesarias para evitar afectaciones en la estructura del pavimento. • Bajo: bacheo. • Medio y alto: bacheo (para casos puntuales) o estabilización de la capa granular afectada y sustitución de capa asfáltica.
<p>12. Corrimiento/ desplazamiento de la mezcla</p> 	<p>El corrimiento es un desplazamiento longitudinal permanente de un área localizada de la superficie del pavimento causado por las cargas del tránsito. Cuando el tránsito presiona el pavimento produce una onda abrupta y corta sobre la superficie de este.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Son ocasionados por las cargas del tránsito, actuando sobre mezclas asfálticas poco estables, ya sea por exceso de vacíos, o bien, por falta de confinamiento lateral. • Inadecuada ejecución del riego de liga, entre otros. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo: calidad de ruedo de severidad baja, profundidad o elevación máxima de 10 mm, causa cierta vibración o balanceo en el vehículo, sin generar incomodidad. • Medio: calidad de ruedo de severidad media, profundidad o elevación máxima se encuentra entre 10 mm y 20 mm, el corrimiento causa una significativa vibración o balanceo al vehículo, que genera cierta incomodidad. • Alto: calidad de ruedo de severidad alta, profundidad o elevación máxima es igual o mayor a 20 mm, el corrimiento causa a los vehículos un excesivo balanceo que genera una sustancial incomodidad o riesgo para la seguridad de circulación, de manera que 	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo: bacheo. • Medio y alto: bacheo (para casos puntuales) o sustitución de capa asfáltica

Medición del deterioro en metros cuadrados (m2).			es necesaria una reducción de la velocidad.	
--	--	--	---	--



Textura superficial	Definición	Causas posibles	Criterios de severidad	Posibles acciones de intervención
<p data-bbox="188 898 373 931">13. Exudación</p> 	<p data-bbox="544 875 743 1240">La exudación es una película delgada de ligante asfáltico en la superficie de la carpeta asfáltica que crea un pequeño reflejo y, generalmente, es pegajosa.</p>	<ul data-bbox="778 875 975 1361" style="list-style-type: none"> •Un excesivo contenido de asfalto en las mezclas asfálticas o sellos bituminosos. •Bajo contenido de vacíos de aire. •Uso de asfalto muy blando (con viscosidades muy bajas), derrame de solventes. 	<ul data-bbox="1011 875 1230 2002" style="list-style-type: none"> •Bajo: la exudación ha ocurrido en pequeña medida y solo se nota durante algunos días del año, el asfalto no se pega a los zapatos o los vehículos, se hace visible la coloración algo brillante de la superficie. •Medio: la exudación ha ocurrido de tal forma que el asfalto se adhiere a los zapatos o vehículos durante algunas semanas del año, con exceso de asfalto libre que forma una película continua en las huellas de canalización del tránsito. •Alto: la exudación ha ocurrido de tal forma que el asfalto se adhiere a los 	<ul data-bbox="1278 875 1581 994" style="list-style-type: none"> • Bajo y medio: sello de arena o polvo de piedra. • Alto: sustitución de capa asfáltica.

			zapatos o los vehículos considerablemente durante muchas semanas del año, presencia de una cantidad significativa de asfalto libre, le da a la superficie un aspecto "húmedo", de intensa coloración negra.	
Medición del deterioro en metros cuadrados (m2).				
<p>14. Pulimiento de agregados</p> 	<p>El pulimiento de agregado está presente si al realizar un examen visual de la capa asfáltica se observa que la porción de agregado que se extiende por encima del asfalto las partículas no son suficientemente ásperas para proporcionar buena resistencia al deslizamiento.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Repetición de las cargas de tránsito. • Uso de agregados propensos al pulimiento (por ejemplo las calizas). 	<ul style="list-style-type: none"> • No posee criterios de severidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • No posee criterios de severidad.
Medición del deterioro en metros cuadrados (m2).				
<p>15. Desprendimiento de agregados</p> 	<p>Se da por un desprendimiento de partículas de agregado grueso.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Colocación irregular del asfalto, mezcla pobre, el asfalto se ha endurecido en forma apreciable. • Agregado inadecuado por falta de adherencia en el asfalto, 	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo: no aplica • Medio: desprendimiento considerable de agregados, al menos 20 partículas de agregado por metro cuadrado. • Alto: la superficie se encuentra muy rugosa por la falta 	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo: no aplica. • Medio: sellos asfálticos, tratamientos superficiales asfálticos. • Alto: sellos asfálticos, tratamientos superficiales asfálticos o Colocación de sobrecapa asfáltica.

		<p>agregado sucio, con polvo adherido.</p> <ul style="list-style-type: none"> •Lluvia durante la colocación o antes de que el asfalto adquiera consistencia. •Puede ser causado por ciertos tipos de tránsito, por ejemplo, vehículos de orugas. El ablandamiento de la superficie y la pérdida de los agregados debidos al derramamiento de aceites también se consideran como desprendimiento. 	<p>de agregado grueso, puede estar completamente desprendida en lugares.</p>	
<p>Medición del deterioro en metros cuadrados (m2).</p>				
<p>16. Desgaste superficial</p> 	<p>Es el desgaste de la matriz de agregado fino y ligante asfáltico.</p>	<ul style="list-style-type: none"> •Erosión por exceso de humedad. •Agregado inadecuado por falta de adherencia en el asfalto, agregado sucio, con polvo adherido. •Oxidación de la mezcla. •Compactación inadecuada, insuficiente contenido de asfalto. 	<ul style="list-style-type: none"> •Bajo: la superficie del asfalto empieza a mostrar signos de envejecimiento que puede ser acelerado por las condiciones climáticas. La pérdida de la matriz de agregado fino es notable y puede ir acompañada de la decoloración del color del asfalto. Los bordes de los agregados gruesos empiezan a estar expuestos 	<ul style="list-style-type: none"> •Bajo: evaluar el área afectada para definir la intervención idónea. •Medio y alto: sellos asfálticos, tratamientos superficiales asfálticos

			<p>(menos de 1 mm). El pavimento puede ser relativamente nuevo (6 meses).</p> <ul style="list-style-type: none">•Medio: la pérdida de la matriz de agregado fino es notable y los bordes de agregado grueso pueden estar expuestos hasta $\frac{1}{4}$ de la anchura (del lado más largo) del agregado grueso debido a la pérdida de la matriz de agregado fino.•Alto: los bordes de los agregados gruesos se han expuesto más de $\frac{1}{4}$ de ancho (del lado más largo) del agregado grueso. Existe una considerable pérdida de la matriz de agregado fino que conduce a potencial o alguna pérdida de agregado grueso.	
Medición del deterioro en metros cuadrados (m2).				

--	--	--	--	--

Misceláneos	Definición	Causas posibles	Criterios de severidad	Posibles acciones de intervención
<p data-bbox="124 504 486 571">17. Escalonamiento entre la calzada y el espaldón</p>  <p data-bbox="108 1433 502 1500">Medición del deterioro en metros lineales (m).</p>	<p data-bbox="550 481 742 728">El escalonamiento es una diferencia en elevación entre el borde del pavimento y el espaldón.</p>	<ul data-bbox="774 481 949 840" style="list-style-type: none"> • Este daño se debe a la erosión del espaldón, el asentamiento del espaldón o al aumento de la estructura del pavimento sin ajustar el nivel del espaldón. 	<ul data-bbox="981 481 1173 1209" style="list-style-type: none"> • Bajo: la diferencia en elevación entre la calzada y el espaldón es mayor a 25 mm y menor a 50 mm. • Medio: la diferencia en elevación entre la calzada y el espaldón es mayor a 50 mm y menor a 100 mm. • Alto: la diferencia en elevación entre la calzada y el espaldón es mayor a 100 mm. 	<ul data-bbox="1204 481 1492 1064" style="list-style-type: none"> • Evaluar previamente el sistema de drenaje superficial o subdrenajes, para lo cual, y si corresponde, se deberán tomar las medidas correctivas necesarias para evitar afectaciones en la estructura del pavimento. • Para todos los casos: nivelación del espaldón cuando el escalonamiento es producto de problemas en la fundación o erosión.
<p data-bbox="231 1646 383 1691">18. Baches</p> 	<p data-bbox="550 1624 742 1993">Un bache es un área de pavimento que ha sido reemplazada con material nuevo para reparar el pavimento existente, un bache es considerado un</p>	<p data-bbox="774 1624 949 1803">Existencia de deterioros importantes en la sección del pavimento reemplazada.</p>	<ul data-bbox="981 1624 1173 1993" style="list-style-type: none"> • Bajo: el bache se encuentra en buena condición y la calidad de ruedo es de severidad baja o mejor. • Medio: el bache está moderadamente deteriorado o la calidad de 	<ul data-bbox="1204 1624 1492 1993" style="list-style-type: none"> • Evaluar previamente el sistema de drenaje superficial o subdrenajes, para lo cual, y si corresponde, se deberán tomar las medidas correctivas necesarias para evitar afectaciones en la estructura del pavimento.


	defecto no importa su desempeño y estado.		ruedo de severidad media o ambos. • Alto: el bache se encuentra muy deteriorado o la calidad de ruedo es de severidad alta o ambos.	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo y medio: evaluar el área afectada para definir la intervención idónea. • Alto: sustitución del bache (bacheo, para casos puntuales) o sustitución de capa asfáltica.
Medición del deterioro en metros cuadrados (m2).				

19. Huecos



Los huecos son depresiones en la superficie del pavimento que poseen forma de tazón, usualmente el diámetro es menor a 750 mm. Generalmente poseen bordes afilados y paredes verticales cerca de la superficie del hueco.	Fundaciones y capas inferiores inestables; espesores insuficientes; defectos constructivos; retención de agua en zonas hundidas o fisuradas. • Acción abrasiva del tránsito sobre sectores localizados de mayor debilidad del pavimento y/o fundación, o sobre áreas en las que se han desarrollado fisuras tipo cuero de lagarto, que han alcanzado un alto nivel de severidad, provoca la desintegración y posterior	Si el hueco posee un diámetro mayor a 750 mm, se debe dividir el área entre 0,5 m2 y encontrar el número equivalente de huecos. Si la profundidad es 25 mm o menos, los huecos son considerados de severidad media. Si la profundidad es más de 25 mm, estos son de severidad alta.	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluar previamente el sistema de drenaje superficial o subdrenajes, para lo cual, y si corresponde, se deberán tomar las medidas correctivas necesarias para evitar afectaciones en la estructura del pavimento. • Para todos los casos: bacheo (para casos puntuales) o sustitución de capa asfáltica
---	---	---	--

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

		remoción de parte de la superficie del pavimento.		
Medición del deterioro por unidad.				
<p>20. Cruce de línea férrea</p> 	Hundimientos o abultamientos del pavimento cerca de las líneas férreas.	<ul style="list-style-type: none"> • Mezcla asfáltica inadecuada. • No existen labores de mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo: calidad de ruedo de severidad baja, con una deformación vertical aproximada de 3 mm a 50 mm. • Medio: calidad de ruedo de severidad media, con una deformación vertical aproximada de 50 mm a 100 mm. • Alto: calidad de ruedo de severidad alta, con una deformación vertical aproximada de más de 100 mm. 	Para todos los casos: corrección de los bordes utilizando bacheo con concreto asfáltico, respetando el derecho de vía de la línea férrea.
Medición del deterioro en metros cuadrados (m2).				

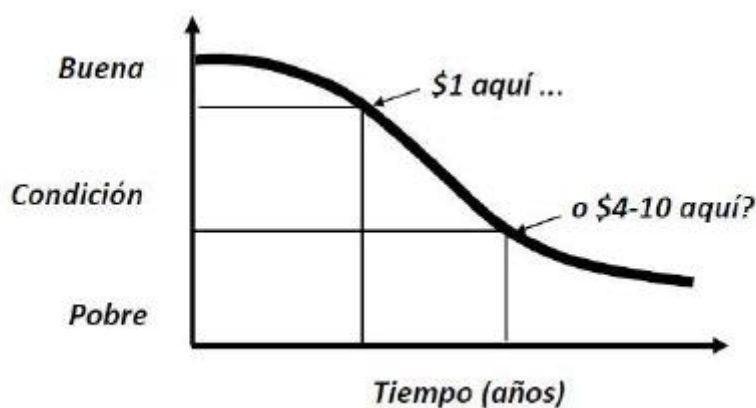
2.5 Sistema de gestión de pavimentos

El sistema de gestión de pavimentos tiene el propósito de establecer un proceso eficiente. Este sirve para la toma de decisiones que ayudan a encontrar el método para los requerimientos de diseño, presupuesto, construcción, rehabilitación y mantenimiento de las carreteras y así brindar la información más actual de la red vial a intervenir. A su vez, dichos requerimientos ayudan a presentar una condición del pavimento más duradero en un período hasta llegar a su vida útil.

Los pavimentos permiten alcanzar las condiciones entre bueno y malo, ya que se deterioran con el trascurso del tiempo. Resulta necesaria una rehabilitación temprana y así evitar una intervención mayor que aumente los costos y el tiempo de la ejecución de la reconstrucción de la vía, por lo cual esencial un mantenimiento continuo del estado que presentan los pavimentos para determinar el momento de intervenir. La idea principal es lograr buenas condiciones del pavimento, sin provocar ningún tipo de daño estructural, mediante un sistema de gestión de pavimentos eficiente y un adecuado control de los costos de ejecución; promover soluciones de las vías en un buen estado de funcionamiento; y suministrar un servicio adecuado a los usuarios.

Ilustración 2

Filosofía de la gestión del pavimento



Nota. Tomado de Vargas (2018).

2.5.1 Uso del sistema de gestión de pavimentos

Según Vargas (2018), estos son algunos usos del sistema de gestión de pavimentos:

- mantener un inventario de la red vial;
- monitorear la condición de los pavimentos;
- identificar necesidades relacionadas a los pavimentos;
- priorizar trabajos;
- seleccionar las estrategias de reparación más rentables a corto y largo plazo;
- comunicar las necesidades relacionadas a los pavimentos.

2.5.2 Fases dentro del ciclo de vida de un pavimento asfáltico

De acuerdo con lo indicado por Vargas (2018), las fases del deterioro del pavimento asfáltico se describen a continuación:

Fase A: construcción

Esta fase es el inicio del ciclo de vida de un pavimento, que está en un estado muy bueno, ya que cumple con la condición de un 100 %, en donde se satisfacen las necesidades de los usuarios, por lo que se cuenta con un camino en excelentes condiciones.

Fase B: deterioro lento y poco visible

Esta fase se da durante los primeros diez años cuando se desarrolla un desgaste poco visible en la superficie de ruedo, pero el camino sigue en condiciones óptimas para los usuarios, ya que se encuentra en buen estado, pues ocurre un deterioro lento. Para poder lograr que esta fase llegue a los diez años es necesario detener el desgaste mediante un mantenimiento rutinario o periódico del camino.

Fase C: deterioro acelerado

Esta fase se compone de dos fases: C1 y C2. Con el paso del tiempo, el pavimento se encuentra desgastado y el camino posee un deterioro acelerado.

Fase C1: genera daños muy poco visibles en la superficie para los usuarios que transitan la vía.

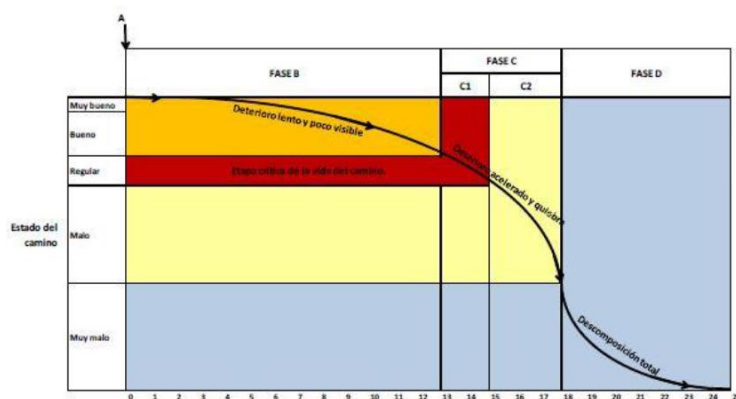
Fase C2: se detecta desde el principio de un deterioro acelerado, pues se puede observar diferentes daños en la estructura. Esta es visible tanto en la superficie de ruedo como en la estructura de la vía.

Fase D: deterioro generalizado

Esta fase es la última del ciclo de un pavimento, en donde se genera un deterioro del pavimento como lo es desprendimiento gradual, lo cual provoca la disminución de la capacidad de la carretera para la que fue diseñada. De esta forma, el camino no es óptimo para el paso de los usuarios, de manera que aumentan significativamente los accidentes y se elevan los costos de operación vehicular, por lo que la única solución es reconstruir.

Ilustración 3

El deterioro de los pavimentos con el transcurso del tiempo



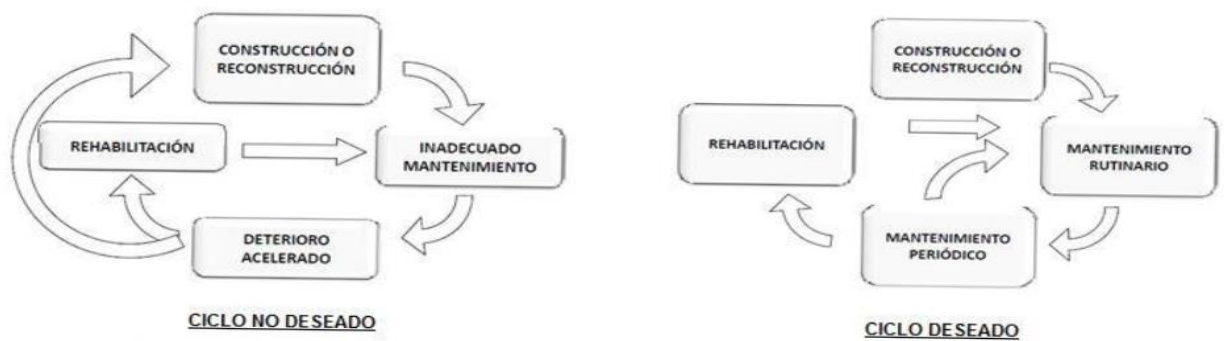
Nota. Tomado de Vargas (2018).

2.6 Ciclos del pavimento

Siguiendo con la observación de Vargas (2018), los ciclos del pavimento se pueden clasificar en ciclos de vida adecuados, que permiten mantener el mayor tiempo posible en buen estado el pavimento, ciclos no deseados, donde se frena el desarrollo económico y social y se incrementan los costos de recuperación operación de vehicular. La diferencia de los ciclos se determina dependiendo de un diagnóstico de la red vial, el cual sea adecuado para intervenir de una forma eficiente los daños generados en el pavimento durante el periodo su vida útil. Se representa mediante cuatro diferentes ciclos que se mencionan a continuación:

Ilustración 4

Ciclo de un pavimento asfáltico



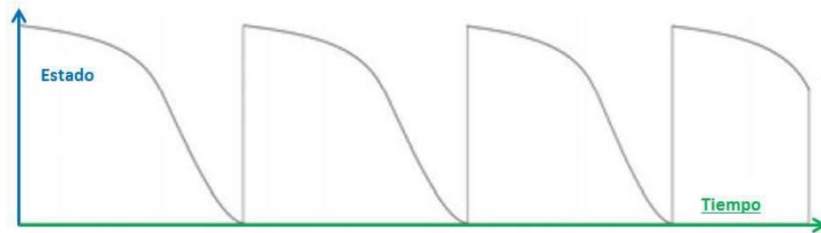
Nota. Tomado de Vargas (2018).

1. Ciclo de deterioro rápido

El deterioro rápido del pavimento por el mal uso de los procesos provoca un inadecuado mantenimiento que genera una deficiencia, la cual se debe intervenir en poco tiempo.

Ilustración 5

Ciclo de deterioro rápido del pavimento



Fuente: Curso vías de comunicación II, Universidad Central.

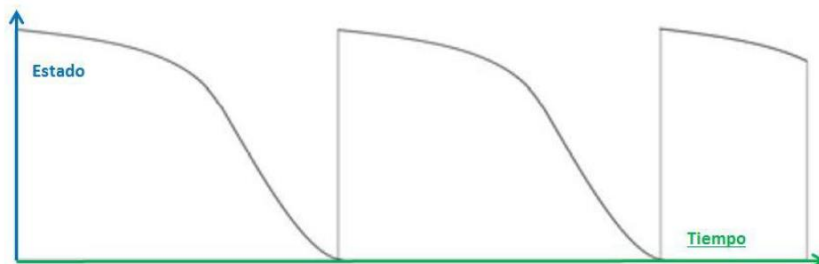
Nota. Tomado de Vargas (2018).

2. Ciclo de deterioro lento

El ciclo de deterioro lento muestra un adecuado mantenimiento al intervenir el daño cuando se rehabilita una vía.

Ilustración 6

Ciclo de deterioro lento del pavimento



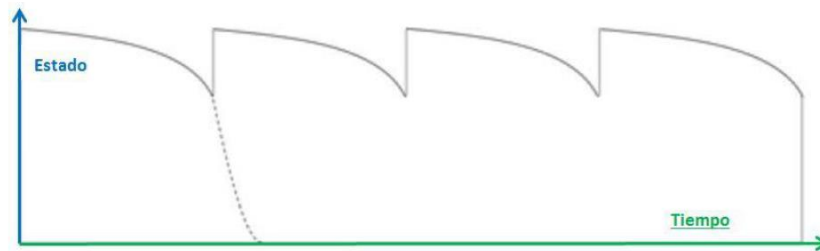
Nota. Tomado de Vargas (2018).

3. Ciclo de deterioro tipo mantenimiento

El ciclo de deterioro tipo mantenimiento representa una intervención de mantenimiento en tiempo adecuado al inicio de la Fase C, ya que el daño es poco visible y se da cada vez que el pavimento, por su deterioro, entre en la fase.

Ilustración 7

Ciclo de deterioro tipo mantenimiento



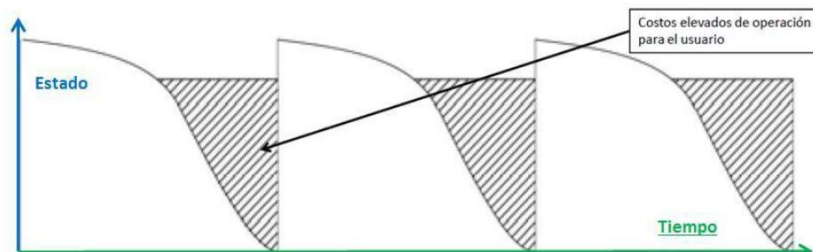
Nota. Tomado de Vargas (2018).

4. Ciclo de reconstrucción

El ciclo de reconstrucción es cuando se da un deterioro avanzado en la vía, lo que aumenta los costos de intervención que los usuarios deben asumir por todos espacios sombreados. Se encuentra al final de la etapa D y el camino se debe reconstruir.

Ilustración 8

Ciclo de reconstrucción del pavimento



Nota. Tomado de Vargas (2018).

2.7 Desarrollo e implementación de los sistemas de gestión

Siguiendo la línea del sistema de gestión y su análisis de los pasos a seguir, Vargas (2018) define los pasos para desarrollar e implementar este sistema.

Respecto al manejo del sistema de gestión de pavimentos, se debe contar con personal administrativo y técnico para su implementación y así cumplir con todos los estándares de desempeño, ya que es de suma importancia la funcionalidad y efectividad del sistema a la hora de que este sea aplicado. Con el personal capacitado se puede lograr una adecuada gestión para controlar la parte presupuestaria, la administrativa y la ejecución de los proyectos de infraestructura vial.

Personal administrativo: se encarga de los aspectos administrativos del sistema y los temas legales. Es la parte que se preocupa de las relaciones públicas y las relaciones con las autoridades competentes; además, maneja las operaciones de gobierno y las decisiones políticamente aceptables, utilizando lenguaje y términos sencillos para comunicarse con los líderes, los entes superiores asociados a la administración de las carreteras y el público en general.

Personal técnico: se dedica a la ejecución del sistema y los temas de sitio con base en un presupuesto y un cronograma previamente definido. También es responsable de las tareas de campo y los datos ingenieriles para asegurar el buen funcionamiento y el desempeño de los pavimentos.

Antes de implementar el sistema, se deben identificar los criterios de desarrollo, los estándares de calidad y desempeño, las políticas de planeamiento de presupuesto, las políticas de distribución del presupuesto, el control y la fiscalización de los gastos y la solución de los problemas sociales y ambientales, los cuales deben ser contemplados por el personal a cargo, tanto el administrativo y como el técnico, a la hora de generar dicho sistema.

Asimismo, el sistema de gestión puede servir para implementar un alcance específico. En el desarrollo de este es posible definir:

- ✓ una unidad individual;
- ✓ una división de planificación;
- ✓ una división de mantenimiento;
- ✓ una división de materiales.

Pasos para desarrollar e implementar un sistema de gestión de pavimentos

Paso 1: dar inicio al sistema

Al crear un SGP, el personal encargado deberá proveer los fondos necesarios para las siguientes actividades:

- entrenamiento del personal seleccionado para la ejecución del sistema;
- adquisición del equipo de campo necesario para la realización de los trabajos;
- adquisición de equipo tecnológico y de oficina.

Paso 2: creación del comité directivo

Como un punto importante, se debe contemplar la creación de un comité encargado de proporcionar guía y dirección, que incluya a los altos mandos en la toma de decisiones para, en conjunto, poder eliminar problemas políticos, así como también establecer plazos y definir políticas de administración para el sistema.

Este comité deberá establecer objetivos y contemplar soluciones a los posibles problemas que se puedan presentar, esto mediante la evaluación de las prácticas conocidas en la actualidad y la identificación de las necesidades adicionales que se presenten en el sistema una vez que sea puesto en marcha.

Paso 3: convocar al personal del SGP

El responsable principal deberá ser un ingeniero, quien asumirá la gerencia del sistema y será el encargado de su coordinación y operación, así como de conformar su equipo de trabajo. Este responsable necesitará tener autoridad para tomar decisiones y completar tareas en tiempo óptimo. Para lograr lo anterior, dicha persona será un profesional capaz de establecer buenas

relaciones y conexiones con todos sus subalternos y las diferentes divisiones dentro de la administración.

Paso 4: selección o desarrollo del sistema

Se debe procurar el acceso a los datos necesarios para el funcionamiento del sistema. También hay que mantener una comunicación abierta y transparente entre todos los involucrados y contar con la flexibilidad del sistema, con el objetivo de escuchar el aporte de ideas destinadas a la solución de problemas e imprevistos. Para lograr lo mencionado anteriormente, tres requisitos básicos son:

1. recolección de datos bastante exactos antes del desarrollo del sistema;
2. un buen análisis de los datos recolectados;
3. estrategia de comunicación efectiva entre las partes.

Un SGP debe ser considerado como un sistema dinámico que se puede construir de manera progresiva, gradual o en fases mediante un enfoque modular, pero siempre teniendo presente que su implementación debe ser tan simple como sea posible.

Paso 5: prueba del SGP

Se deben hacer pruebas en pequeña escala del sistema para así identificar las oportunidades de mejora y resolver las posibles fallas futuras. Es recomendable depurar la recolección de los datos y su análisis.

Paso 6: aplicación del sistema a escala total

El material humano es la parte más importante para asegurar la buena operación del sistema, por ello, es sumamente relevante que el personal sea calificado, tenga la experiencia necesaria en tareas afines y reciba el entrenamiento apropiado para el desempeño de sus labores.

Paso 7: seguimiento

El sistema debe ser sometido a revisiones periódicas para asegurar su buena aplicación. La retroalimentación es muy importante para asegurar el éxito a largo plazo del sistema y maximizar así los beneficios que este pueda brindar. Es esencial contar con la flexibilidad de permitir modificaciones y mejoras, las cuales se vayan identificando durante su aplicación.

Durante la aplicación del sistema se podrá detectar la necesidad de aplicar cambios. A su vez, estos podrán ser definidos como cambios mayores o cambios menores, según la afectación o los daños que puedan provocar. Se pueden definir dichos cambios de la siguiente manera:

- ✓ cambios mayores;
- ✓ requisitos de la base de datos;
- ✓ modelos de predicción;
- ✓ análisis económicos;
- ✓ tipos de reportes;
- ✓ cambios menores;
- ✓ mejoras que simplifican el proceso.

Los cambios mayores deben ser efectuados una vez cada cinco años, mientras que los cambios menores requieren contar con la mayor regularidad posible para asegurar un nivel aceptable en el pavimento de la carretera.

2.8 Gestión de la infraestructura para la vía municipal

De acuerdo con ICAP-Revista Centroamericana de Administración Pública (2018), se define el desarrollo de la gestión vial municipal en Costa Rica: incidencia de elementos político-técnicos.

Para un adecuado proceso del sistema de gestión vial municipal es importante definir las fases a delimitar de los insumos, en donde se establezcan los criterios de selección, el plan de conservación y rehabilitación y las políticas de priorización para el mantenimiento de infraestructura vial, con el objetivo de optimizar los costos de las red vial cantonal. A la hora de elaborar un diagnóstico de la red vial cantonal (RCV) es vital contemplar la accesibilidad y la movilidad para los usuarios y así promover el desarrollo económico de los cantones. También se debe contar con una base de datos que facilite la información sobre el estado en que se encuentra la red vial.

2.9 Metodología del índice de condición del pavimento (PCI)

Esta metodología se describe en la norma Práctica Estándar para las Encuestas del Índice de Condición del Pavimento de Carreteras y Estacionamientos (ASTM D6433). Desde el 2016, se obtuvo el Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica: Guía para Profesionales (MAV-2016), el cual favorece la prevención de los riesgos de la conservación de la red vial y permite definir índice de condición superficial (PCI) del paso a seguir, para así llevar cabo la metodología destinada a la evaluación del estado de la vía.

Asimismo, dicha metodología se utiliza para evaluar los pavimentos. Se necesita de personal capacitado para que no se presente alguna variación que genere un error por el uso inadecuado de la aplicación. En la realización de la evaluación en campo y la aplicación del procedimiento normado por la ASTM-D6433 para calcular y clasificar el PCI, se requiere conocimiento, tanto como teórico y técnico, en su elaboración.

De acuerdo con el Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica: Guía para Profesionales (MAV-2016), se explican el procedimiento de la aplicación de la norma ASTM D6433.

2.9.1 Unidades de muestreo (UM)

Estas definen la condición superficial de la vía. Si bien en la evaluación a nivel de red estable se deberían inspeccionar todas la unidades de muestra (UM), para optimizar los recursos y el tiempo, es posible seleccionar unas cuantas unidades de muestreo para inspeccionar el pavimento, de acuerdo con el área de la unidad de muestreo con la medida de la longitud y el ancho de la calzada. Lo anterior permitirá establecer el PCI sin evaluar todas unidades.

2.9.2 Longitud de la unidad de muestreo

La longitud de la unidad de muestreo dependerá del ancho de la calzada en el caso de pavimentos flexibles. Para determinar dicha longitud (UM), se debe estar en el rango de $225.0 \pm 90.0\text{m}^2$ (entre 135 y 315 m^2) del área de la unidad de muestreo de las carreteras de pavimentos flexibles. Además, resulta necesario buscar las relación de la longitud del muestreo y el ancho de la calzada pavimentada en la siguiente tabla:

Cuadro 5

Longitud de las unidades de muestreo en pavimentos flexibles

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

Nota. Tomado del Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica: Guía para Profesionales (MAV-2016).

Como se observa en el manual, las rutas podrían presentar diferentes anchos de calzada para una misma longitud de UM; queda a criterio del usuario seleccionar la longitud de UM a utilizar. Se entiende que, para un promedio del ancho de la calzada, se puede determinar en el medio de un rango de valores.

2.9.3 Número total de unidades de muestra (N)

Para calcular el número total de UM presentes en la sección de la carretera por evaluar, se debe resolver la siguiente ecuación:

Ilustración 9

Ecuación número total de unidades de muestra (N)

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

Nota. Tomado del Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica: Guía para Profesionales (MAV-2016).

Donde:

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

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

Long. UM: la longitud de la unidad de muestra, el usuario selecciona la longitud a utilizar en cada sección (m).

2.9.4 Número mínimo de unidades por evaluar (n)

Se utiliza la cantidad de muestras necesarias a intervenir más significativa para la vía. Para que el cálculo sea más preciso, se evita utilizar los deterioros de un nivel menor. De esta manera, se ahorran tiempo y costos al seleccionar el número mínimo de unidades de muestreo (UM).

Ilustración 10

Ecuación número mínimo de unidades a evaluar (n)

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

Nota. Tomado del Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica: Guía para Profesionales (MAV-2016).

Dónde:

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 del PCI de la sección ($e = 5$).

σ : desviación estándar del PCI, para pavimentos asfálticos $\sigma = 10$.

En la siguiente tabla se utiliza definir (N) y (n) como criterio técnico para algunas administraciones:

Cuadro 6

Criterio de Selección de UM a Inspeccionar

Unidades de muestra en la sección (N)	Número de unidades a inspeccionar (n)
1 – 5	1
6 – 10	2
11 – 15	3
16 – 40	4
Más de 40 pero menos de 200	10 % (redondear hacia arriba a la próxima unidad de muestra)

Nota. Tomado del curso Vías de la Comunicación II, Universidad Central.

2.9.5 Intervalo de muestreo (i)

El intervalo de muestreo i calcula el número de UM que permite conocer la separación que debe existir entre las unidades que se van a inspeccionar y las que no se van a utilizar. Este se calcula con la siguiente ecuación:

Ilustración 11

Ecuación Intervalo de muestreo (i)

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

Nota. Tomado del Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica: Guía para Profesionales (MAV-2016).

Dónde:

N: número total de unidades de muestreo (UM) de la sección del pavimento.

n: número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

i: intervalo de muestreo, se debe redondea al número entero inferior.

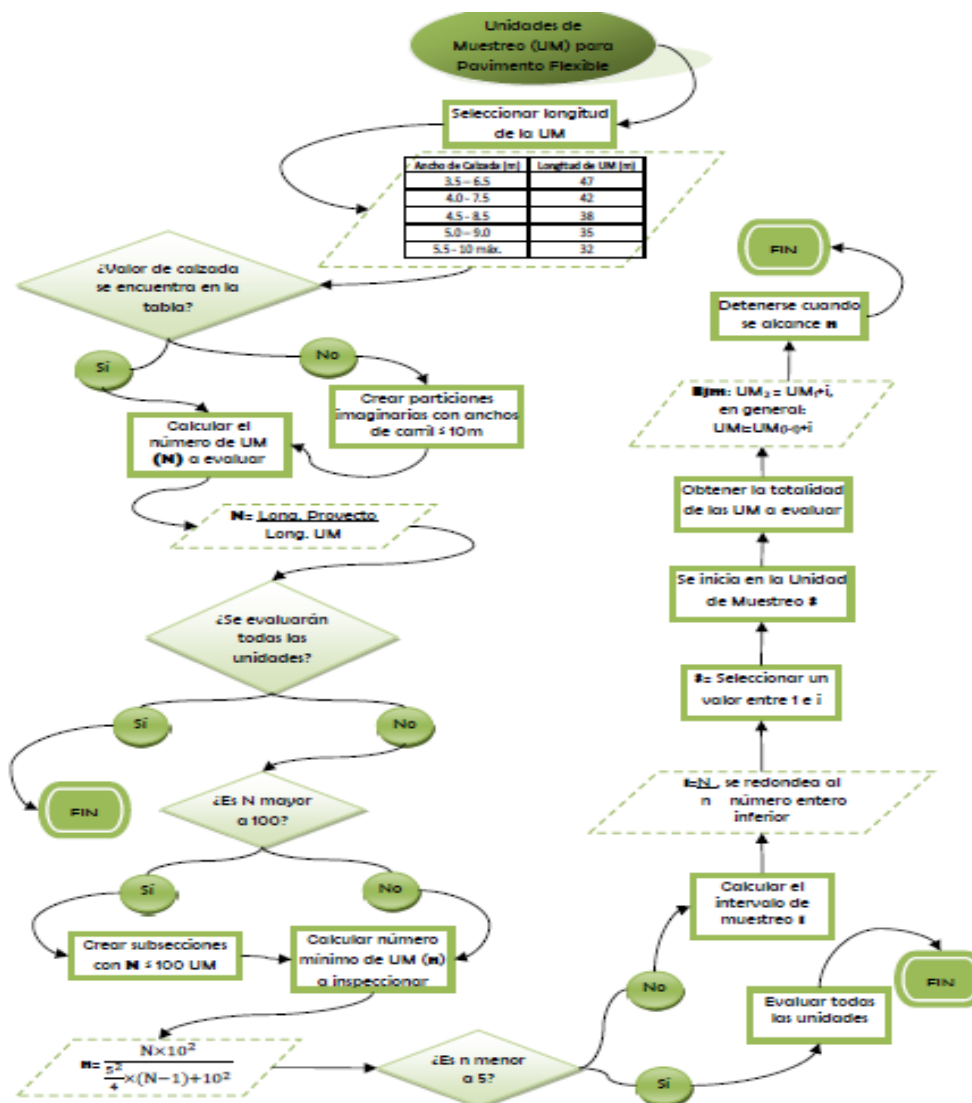
2.9.6 El inicio al azar se selecciona entre la unidad de muestreo S y el intervalo de muestreo i

La selección al azar de la primera unidad de muestreo a inspeccionar debe darse entre 1 y el intervalo de muestreo (i), la cual se denominará S. Las unidades de muestreo para la evaluación se identifican como (S), (S + i), (S + 2i) y se continua sucesivamente hasta llegar a la totalidad de la unidad de la muestra (UM), ya sea igual o menor a (N), y se obtiene la cantidad de unidades de muestreo que debe cumplir con el número mínimo de unidades de muestreo a inspeccionar, el cual puede ser mayor a (n).

De acuerdo con la información del Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica: Guía para Profesionales (MAV-2016), si se realiza un diagrama de flujo de la metodología PCI para pavimentos flexibles, este se proyectaría de la siguiente manera:

Ilustración 12

Diagrama de flujo de la metodología PCI para pavimentos flexibles



Nota. Tomado del Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica: Guía para Profesionales (MAV-2016).

Según lo establece el Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica: Guía para Profesionales (MAV-2016), es necesario obtener la información general para el análisis de campo con el pavimento como lo es la ubicación, la geometría y la obras de drenaje, pues así se tendrán todas la unidades de muestro de acuerdo con el tipo de superficie del pavimento. En este caso de estudio, la ruta a intervenir es de un pavimento flexible, en la cual se determinó cada defecto y deterioro que pueda presentar. Se debe utilizar adecuadamente el manual de deterioros para evaluar de forma correcta y realizar el cálculo del PCI.

Asimismo, se debe seguir el Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica: Guía para Profesionales (MAV-2016), específicamente el Catálogo de Deterioro, para obtener la información de la evaluación de la condición del pavimento, por lo cual es necesario contar con el siguiente equipo, procedimientos, medidas de seguridad y adecuado registro de la información.

2.9.7 Equipo

- ✓ odómetro manual para medir las longitudes y las áreas de los daños;
- ✓ un odómetro que permita medir distancias largas con buena precisión, ya que, para proyectos grandes, la distancia entre unidades puede llegar a ser significativa, por ejemplo, un odómetro externo que se adhiera al automóvil;
- ✓ regla de tres metros y una cinta métrica para establecer las profundidades de los ahuellamientos (roderas) o depresiones;
- ✓ regla pequeña para medir los anchos de grieta;
- ✓ lápiz y borrador;
- ✓ hojas de deterioros con los formatos correspondientes y en cantidad suficiente para el desarrollo de la actividad;
- ✓ chalecos y conos refractivos para garantizar la seguridad del personal que realiza la auscultación, entre otros implementos necesarios para garantizar la seguridad ocupacional en el proyecto;
- ✓ cámara fotográfica para llevar un registro de las fallas más comunes;
- ✓ manual de deterioros, para despejar alguna duda en el campo;

- ✓ sistema de posicionamiento global (GPS);
- ✓ pintura o tiza para marcar la carretera.

2.10 Procedimiento

De acuerdo con el Catálogo de Deterioros, se debe realizar el levantamiento de las unidades de muestreo para medir el tipo, la cantidad y la severidad de los daños. Cuando se tienen todas las mediciones de la información de las unidades de muestreo a inspeccionar, se deben registrar, de acuerdo con el formato del manual de la metodología del PCI, los datos en la hoja de levantamiento de deterioros, en donde se pueda ver la condición de la información por unidad de muestreo, mientras que en los formatos de cada línea se necesita registrar el deterioro, la extensión y su nivel de severidad.

2.11 Medidas de seguridad

Es fundamental tomar en cuenta todas las medidas de seguridad de acuerdo con el Decreto Ejecutivo No. 38799, Reglamento de Dispositivos de Seguridad y Control Temporal de Tránsito para la ejecución de Trabajos en las Vías, y sus reformas. El equipo de inspección es responsable de implementar las medidas de seguridad para su desplazamiento en la vía a inspeccionar, entre ellas, dispositivos de señalización y advertencia para el vehículo acompañante y el personal a cargo en la ruta.

Registro de la información y hojas de levantamiento de deterioros

Para realizar el levantamiento de los deterioros con la metodología del PCI, se debe utilizar el formato de la hoja de recolección de la información del levantamiento de la ruta. De esta manera, se obtendrán los datos más importantes de cada tipo de daño que presenta la ruta a intervenir. La hoja de registro deberá emplear el Catálogo de Deterioros.

2.12 Procedimiento para registro

Información general

En el levantamiento de los deterioros se deben evaluar las unidades de muestra, no toda la vía por intervenir, solo analizar secciones aleatorias. A la hora de realizar la inspección se requiere considerar cualquier unidad inusual como lo es un deterioro de gran magnitud o el cruce de una línea férrea, lo cual debe ser inspeccionado como una unidad adicional.

Datos que debe contener la hoja de registro

- ✓ Fecha: corresponde a el día que se realiza la inspección.
- ✓ # Unidad de muestreo: el número asignado a la unidad que se evaluará.
- ✓ Sección de control: número asignado a la ruta que se evaluará.
- ✓ Código vial: código asignado al tramo de la ruta donde se única la UM.
- ✓ Estacionamiento inicial: estación lineal donde inicia la UM.
- ✓ Estacionamiento final: estación lineal donde finaliza la UM.
- ✓ Longitud de la UM: es la medida en metros de la UM, producto de la resta entre el valor del estacionamiento final menos el estacionamiento inicial.
- ✓ Inspectores: nombre de las personas que realizan la inspección de la UM.
- ✓ Hoja: se debe llevar un control de las hojas de los registros, se utiliza una hoja por cada UM.

Levantamiento de los deterioros

En la hoja de los levantamientos de deterioros, la primera columna muestra el catálogo de deterioros para el pavimento flexible, así como todos los tipos de deterioro; la segunda, el grado de severidad de cada uno de los deterioros; la tercera, las medidas; la cuarta, el total; la quinta, la densidad en %; y, por último, un valor deducido.

Severidad

Con base en el catálogo de deterioros, se debe determinar el grado de severidad que presenta cada uno de los daños. Si para un mismo deterioro se encontraran varios niveles de severidad, se deberán marcar todos o varios, según corresponda.

Medida

Se debe utilizar el catálogo de deterioros para realizar las mediciones de la forma correcta y luego anotarlas en la casilla que representa el grado de severidad encontrado. De encontrarse varios tramos de la sección con la misma severidad, se deberán sumar sus medidas y anotar el resultado en la casilla que corresponda, de acuerdo con el nivel de severidad detectado. También es importante incluir las unidades de medida, según el sistema internacional correspondiente.

Densidad

Para averiguar la densidad es necesario dividir la cantidad de deterioro en cada nivel de severidad por el área total de la unidad de muestreo. El resultado se multiplica por 100 y con esto se obtiene la densidad.

Total de cada deterioro

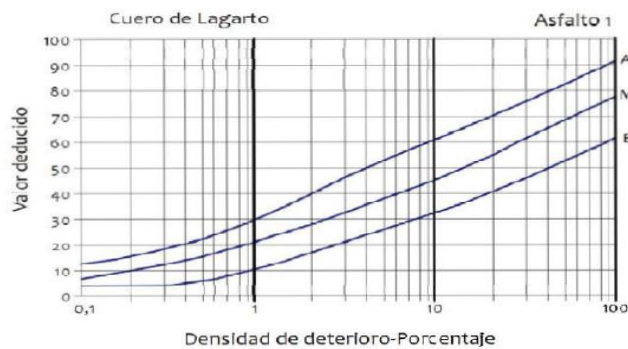
Se debe sumar el total de cada deterioro para cada nivel de severidad. Las cantidades pueden ser en m², ml o el número de veces que se presente el deterioro en la unidad de muestreo.

Valor deducido (VD)

Este valor debe ser definido a partir de las curvas de valores deducidos existentes para cada tipo de deterioro, según sea el nivel de severidad que presente. Resulta esencial ubicar la densidad en los valores del eje horizontal del gráfico. Una vez ubicada dicha densidad, se debe desplazar hacia arriba hasta tocar el nivel de severidad correspondiente. Después de que se interseca el nivel de severidad, entonces se define el valor deducido de acuerdo con el valor presente en eje vertical en el punto donde se dio la intersección.

Ilustración 13

Valor deducido



Nota. Tomado del Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica: Guía para Profesionales (MAV-2016)

Número máximo de VD

Una vez definidos todos los valores deducidos para cada deterioro, según su nivel de severidad y con base en la curva correspondiente, se establece el número máximo de valores de la siguiente manera:

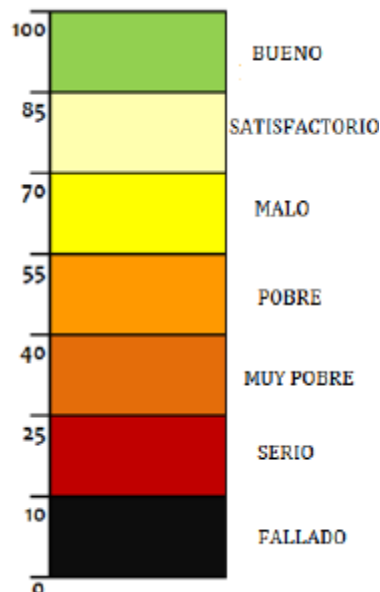
1. Si solo dos de los valores deducidos son mayores a 5, se suman todos los valores deducidos y el resultado será el valor deducido total sin ajustes.
2. Se deben ordenar los valores deducidos en orden descendiente.
3. Calcular m para cada unidad de muestreo, siendo m el número máximo admisible de valores deducidos para la unidad de muestreo.

4. El número de valores deducidos a evaluar se debe reducir al valor de m. Si hay menos de m valores deducidos, se deben usar todos. Si hay más de m valores deducidos, se utilizan solo m valores deducidos tomados de mayor a menor.

El PCI es un índice numérico, desarrollado para obtener el valor de la irregularidad de la superficie el pavimento y la condición operacional de este. Este varía entre 0 y 100, en donde 0 se aplica para pavimentos fallidos y 100 para pavimentos en excelente condición. En la siguiente ilustración se representan los rangos del PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento.

Ilustración 14

Rango de calificaciones PCI



Nota. Tomado del Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica (MOPT, 2016).

El cálculo del PCI se fundamenta en los resultados de una encuesta visual de la condición del pavimento, en la cual se establece su tipo, severidad y cantidad que presenta cada año. El PCI se describe en la norma ASTM D6433.

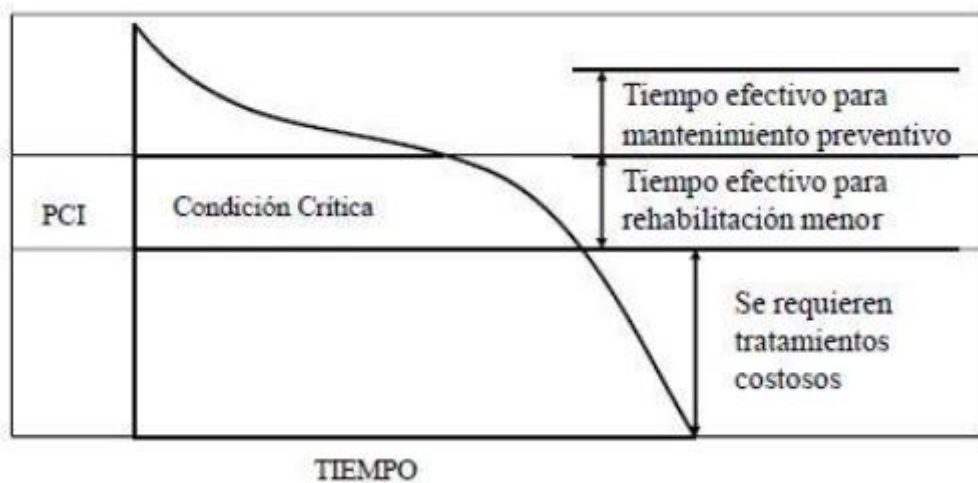
El PCI es un indicador numérico que clasifica a la superficie según la condición de su pavimento. Este proporciona una medida de la condición actual del pavimento sobre la base del deterioro observado en la superficie, que también indica la integridad estructural y el estado de dicha superficie operativa.

Con la metodología del PCI no es posible medir la condición estructural del pavimento, así como tampoco se puede obtener una medición directa del deslizamiento, resistencia o rugosidad que se generan en la superficie de la calzada. El método PCI proporciona un parámetro para determinar las necesidades de mantenimiento y reparación en la carretera y las prioridades. La monitorización continua del PCI se utiliza para establecer la tasa de deterioro del pavimento, lo que permite identificar los requerimientos de rehabilitación importantes.

Con el PCI se puede obtener un escenario más amplio sobre el comportamiento del pavimento para la validación o la mejora de su diseño actual y los procedimientos su mantenimiento.

Ilustración 15

Gestión del pavimento del PCI para el mantenimiento con relación en el tiempo



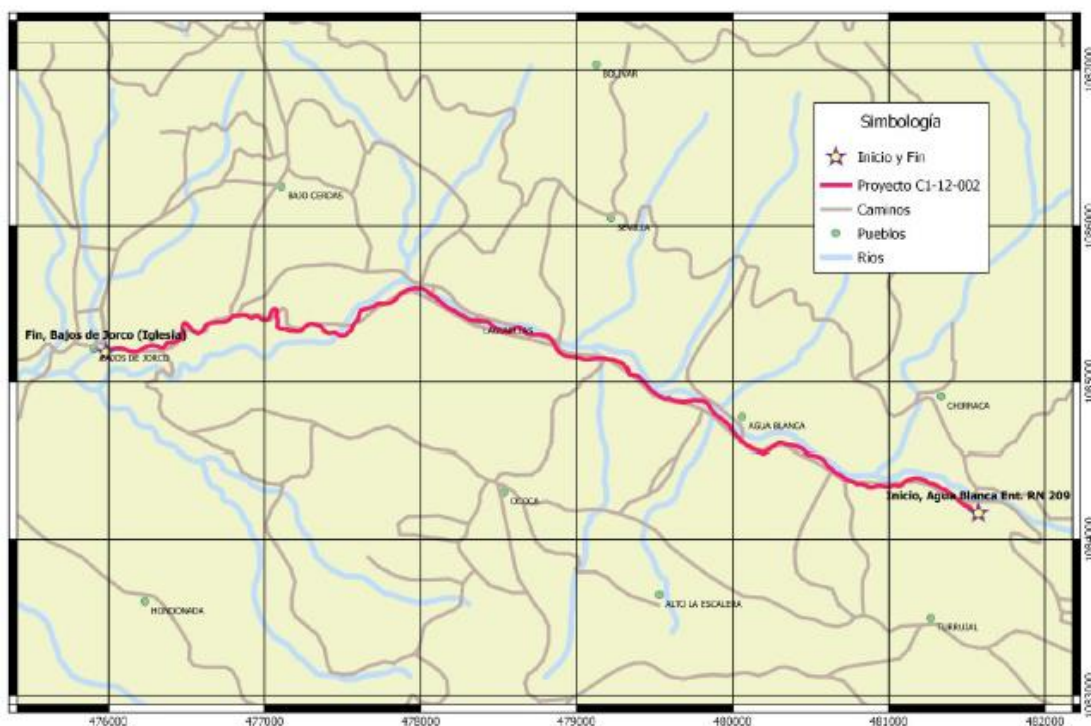
Nota. Tomado de Vargas (2018).

2.13 Sistemas de información geográfica

La recopilación de datos basada en GPS es mucho más rápida que las técnicas de topografía y cartografía convencionales, lo que reduce la cantidad de equipo.

Ilustración 16

Ubicación del caso de estudio del camino vecinal Agua Blanca-Bajos de Jorco C1-12-002, de Agua Blanca



3. CAPÍTULO III. Marco metodológico

3.1 Enfoque de la investigación

Para lograr los objetivos propuestos en esta investigación el enfoque metodológico utilizado fue mixto. La propuesta de implementación de un sistema de gestión de pavimentos dirigido a la red vial cantonal pavimentada debió determinar las deficiencias presentes en la estructura del pavimento y analizar las diferentes variables, junto con su severidad y extensión, mediante el uso del PCI (*pavement condition index*). Además, se requieren soluciones eficientes y adecuadas para el control de mantenimiento, por lo cual se deben aplicar las normas y los lineamientos combinados con los enfoques cualitativos y cuantitativos. Por su parte, el trabajo de campo fue empleado en la recolección de los diferentes datos físicos presentes en la red vial de la propuesta. También se hicieron consultas al personal involucrado en el campo.

La investigación planteó un problema del caso de estudio del camino vecinal Agua Blanca-Bajos de Jorco C1-12-002, de Agua Blanca (entronque ruta nacional 209) a Bajos de Jorco (iglesia católica), cantón de Acosta. De esta forma, se pretendió brindar una nueva metodología para la Municipalidad de Acosta destinada a la recolección de datos de la evaluación de los pavimentos flexibles. Lo anterior permitirá una toma de decisiones adecuada en la intervención de la red vial mediante técnicas de conservación y reconstrucción de los servicios de optimización del estado funcional, estructural, social, ambiental, económico y de seguridad para los usuarios.

3.2 Tipo de investigación

Para poder analizar los datos, esta investigación se definió como de tipo cuantitativa experimental, pues, a partir del trabajo de campo, se analizaron los deterioros de la ruta a intervenir bajo los parámetros funcionales del (PCI). Los datos para el análisis fueron recolectados con las de diferentes herramientas tecnológicas e informáticas, por medio de matrices, diagramas, mapas, gráficos y esquemas. Con la ayuda de SIG y Excel se generó el SGP, por medio del cual

se obtuvieron los resultados, entendidos como el conjunto de herramientas funcionando de forma integral que permiten facilitar la toma de decisiones, para así optimizar las inversiones de acuerdo con la condición de los pavimentos de la red vial cantonal.

3.3 Sujetos y fuentes de información

Los sujetos de información para desarrollar este proyecto fueron la Municipalidad de Acosta, pues es la Institución en donde se implementó el SGP, el director de la Unidad Técnica Gestión Vial de dicha municipalidad y un tutor con amplia experiencia y preparación académica en la ejecución y la supervisión de proyectos de infraestructura vial, quien sirvió de guía durante todo el proceso de elaboración de esta investigación

Las fuentes de información fueron la norma sobre la metodología del PCI (*pavement condition index*): "ASTM.(2004) es un procedimiento estándar que consiste en la determinación a través de inspecciones del índice de condición del pavimento en los caminos y estacionamientos (ASTM D6433), y el Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica: Guía para Profesionales (MAV-2016), que contiene el catálogo de deterioros donde se muestran los deterioros más comunes de los pavimentos flexibles según la norma ASTM D6433.

Por su parte, las fuentes de información de este trabajo consistieron en las investigaciones anteriores relacionados con la materia como informes, guías, catálogos, manuales, congresos, revistas, tesis de grado y artículos técnicos de distintos autores y expertos en materia del sistema de gestión de pavimentos a través de SIG, tanto a nivel nacional como internacional, que contienen información relacionada con el desarrollo de proyectos, el desempeño de pavimentos y las técnicas de conservación vial. Además, se incluyó la información recopilada del curso Vías de Comunicación II, impartido en la Universidad Central de Costa Rica.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La recolección de datos para el desarrollo del proyecto se realizó por medio de varios instrumentos como la base de datos de la Municipalidad de Acosta, las llamadas telefónicas, el correo electrónico y la incorporación del SIG de acuerdo con el SGP. Se procedió con la implementación del software SIG y la recolección de los datos de los deterioros a partir del catálogo de deterioros del Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica: Guía para Profesionales (MAV-2016). Además, se debió utilizar la “Hoja para la auscultación de pavimento flexible”, de acuerdo con el manual para el registro del levantamiento de deterioros, según la metodología del PCI, para así evaluar los pavimentos flexibles. La hoja empleada se muestra a continuación.

Ilustración 17

Hoja para la auscultación del pavimento flexible

Hoja para la auscultación de pavimento flexible (PCI)												
CLASIFICACIÓN DE DETERIOROS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES	Fecha:	Unidad de Muestreo (UM):			Sección de Control:			Estación Inicial:		Estación de Final:		Valor deducido
	Ruta:	Desviación Estándar (σ)	10		Área de UM (m ²):							
		Error admisible (e)	5		Longitud UM:							
							Inspeccionada por:					
	Nivel de Severidad			Extensión	% Densidad	Valor deducido	Extensión Medio	% Densidad	Valor deducido	Extensión Bajo	% Densidad	Valor deducido
	Alto	Medio	Bajo	Alto								
Grupo 1: Grietas												
1.1 Cuero de lagarto												
1.2 Longitudinal transversal												
1.3 Reflejo de juntas												
1.4 Bloque												
1.5 Borde												
1.6 Arco												
Grupo 2: Deformaciones												
2.1 Roderas												
2.2 Abultamientos y hundimientos												
2.3 Corrugación												
2.4 Despeñón												
2.5 Hinchamiento												
2.6 Desplazamiento												
Grupo 3: Textura Superficial												
3.1 Exudación												
3.2 Pulverizado de agregados												
3.3 Desplazamiento de agregados												
3.4 Desgaste superficial												
Grupo 4: Misceláneos												
4.1 Escalonamiento calzada-espaldón												
4.2 Baches												
4.3 Huecos												
4.4 Cruce de línea ferroviaria												

Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica: Guía para Profesionales (MAV-2016).

4. CAPITULO IV. Análisis de Resultados

Esta investigación fue hecha de acuerdo con la propuesta para la implementación del sistema de gestión de pavimentos SGP y se utilizó el parámetro de desempeño para evaluar la condición de los pavimentos flexibles, los cuales se desarrollarán con base en la metodología del PCI (índice de condición del pavimento) para garantizar el funcionamiento óptimo del sistema.

Según la metodología para implementar la evaluación del PCI, es necesario tener en claro algunas características y dimensiones de la vía por intervenir. Dicha vía presenta una estructura de pavimento flexible. Al realizar la visita en campo para realizar el levantamiento, se obtuvieron los siguientes datos de la ruta:

Largo de la ruta: 6800 m.

Ancho promedio de la calzada: 5,50 m.

4.1 Estado del Pavimento Flexible del C1-12-002, camino vecinal Agua Blanca-Bajos de Jorco

4.1.1 Metodología del PCI

La metodología del PCI, bajo la norma ASTM-D6433, es ideal para diagnosticar la condición general de un tramo y gestionar a nivel de proyecto. Se debe seguir un procedimiento de forma rigurosa y repetitiva, el cual consiste en la determinación de la condición del pavimento mediante las inspecciones visuales. A continuación, se detallan los pasos a seguir para la aplicación de la metodología del PCI en cada unidad de muestreo (UM) del camino por intervenir:

4.1.2 Unidad de muestreo (UM)

Se evalúa utilizando el proceso de muestreo con el ancho de calzada y la longitud de la vía. En este caso de estudio, el camino tiene las siguientes dimensiones:

el ancho de la calzada es de 5,50 metros y la longitud, 6800 metros, mientras que el tipo de superficie rodadura es de pavimento flexible. De acuerdo con los datos del camino, se puede determinar cuántas unidades muestreo o tramos se utilizarán para el análisis.

4.1.3 Longitud de la unidad de muestreo (UM)

La longitud de UM dependerá del ancho de la calzada a evaluar, en este caso, es de 5,50 metros y la longitud de la UM, 38 metros. Para este dato, se debe utilizar el cuadro 7 sobre la longitud de las UM en pavimentos flexibles. De acuerdo con el Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica: Guía para Profesionales (MAV-2016), “queda a criterio del usuario” seleccionar la longitud de UM con respecto los datos obtenidos en el sitio.

Cuadro 7

Selección de longitud de las unidades de muestra de los pavimentos flexibles

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

Nota. Tomado de Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica: Guía para Profesionales (MAV-2016).

4.1.4 Número total de unidades de muestreo (N)

Se debe utilizar la ecuación de N con los siguientes datos: la longitud total del proyecto a evaluar es 6800 metros y la longitud de la unidad de muestra seleccionada en el cuadro es de 38 metros. Por ello, se calcula esta ecuación:

Ilustración 18

Cálculo número total de unidades de muestreo (N)

$$N = \frac{\text{Long. Proyecto}}{\text{Long. UM}} = \frac{6800m}{38m} = 178,95$$

4.1.5 Número Mínimo de Unidades a Evaluar (n)

Siempre es recomendable evaluar toda la red, sin embargo, para el ahorro de recursos y tiempos de ejecución, se utiliza la muestra aleatoria en donde se selecciona el mínimo de las unidades de muestreo a través del cálculo n, que son las cantidades por evaluar. La desviación estándar es 10 por ser un pavimento flexible y el error admisible en el estimando del PCI de la sección es 5 %. Por la tanto, la ecuación es:

Ilustración 19

Cálculo número mínimo de muestreo (n)

$$n = \frac{N X \sigma^2}{\frac{e^2}{4} x (N - 1) + \sigma^2} = \frac{178,95 X 10^2}{\frac{5^2}{4} x (178,95 - 1) + 10^2} = 14,76$$

La ecuación anterior es una forma de obtener (n). También se utiliza otro criterio para el cálculo (n) mediante el cuadro 8, según se muestra a continuación:

Cuadro 8

Selección de n bajo criterio técnico

Unidades de muestra en la sección (N)	Número de unidades por inspeccionar (n)
1 – 5	1
6 – 10	2
11 – 15	3
16 – 40	4
Más de 40, pero menos de 200	10 % (redondear hacia arriba a la próxima unidad de muestra)

Nota. Tomado del curso de Vías de Comunicación II, Universidad Central.

Ilustración 20

Cálculo de n bajo criterio técnico

$$n = NX10\% = 178,95X10\% = 17,89 = 18$$

El criterio que se obtiene es de 17,89, el cual se debe redondear al número entero más cercano, que sería 18. De esta forma, se utilizó el valor mayor, ya que, al inspeccionar una mayor cantidad de unidades de muestreo, se pudo llegar a un resultado más real sobre el estado del pavimento del camino por intervenir.

4.1.5 Intervalo de la muestra (i)

De acuerdo con la siguiente ecuación, resulta posible identificar cuántos intervalos de muestreo i va a haber entre cada UM por inspeccionar. El valor se determinó como se expone a continuación:

Ilustración 21

Cálculo de i de los intervalos de la muestra

$$i = \frac{N}{n} = \frac{178,95}{18} = 10$$

El cuadro 9 detalla el camino evaluado, donde se hace un resumen de cada a unidad de muestra inspeccionada para lograr la metodología del PCI.

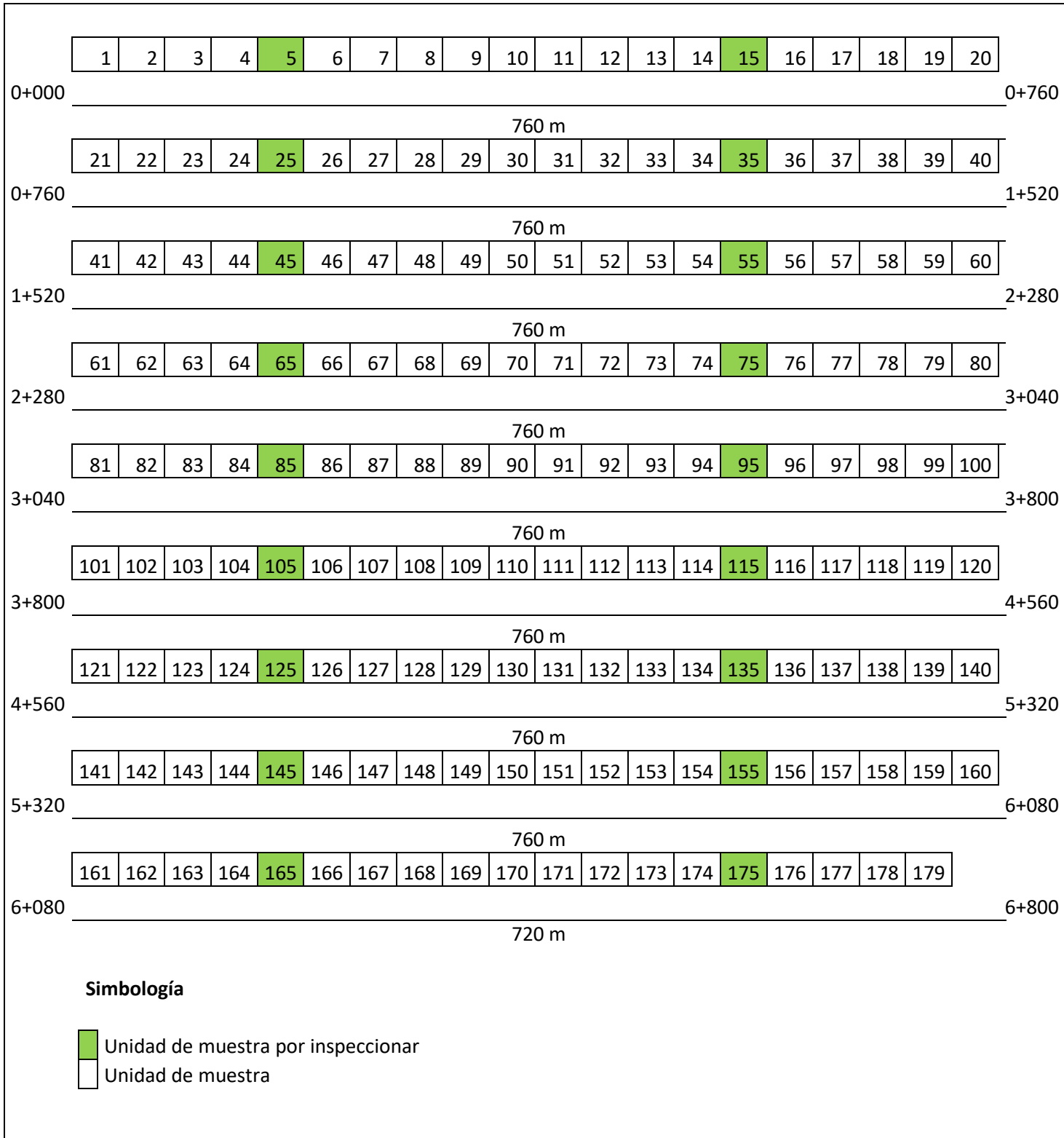
Cuadro 9

Resumen de las unidades por inspeccionar

Orden	UM	Camino	Est. inicial	Est. final	Longitud	Referencia de ubicación
1	5	1-12-002	1+152	1+190	38 m	Frente de la entrada de Construcasa
2	15	1-12-002	1+532	1+570	38 m	Lubricentro Mora
3	25	1-12-002	1+912	1+950	38 m	Entrada primer puente Angosto
4	35	1-12-002	1+292	1+330	38 m	Ferretería de Agua Blanca
5	45	1-12-002	1+672	1+710	38 m	Entrada de escuela de Agua Blanca
6	55	1-12-002	2+052	2+090	38 m	Frente finca El Espavel
7	65	1-12-002	2+394	2+470	38 m	Frente finca Don Lencho
8	75	1-12-002	2+812	2+850	38 m	Pueblo de Lagunillas
9	85	1-12-002	3+192	3+230	38 m	Escuela de Lagunillas
10	95	1-12-002	3+572	3+610	38 m	Cruce de Bajo Cerdas
11	105	1-12-002	3+952	3+990	38 m	Centro del CI
12	115	1-12-002	4+332	4+370	38 m	Restaurante Donde Licho
13	125	1-12-002	4+712	4+750	38 m	Tanque de asada Bajo Cerdas
14	135	1-12-002	5+092	5+130	38 m	El Barranco
15	145	1-12-002	5+472	5+510	38 m	Entrada de Bajos de Jorco
16	155	1-12-002	5+852	5+890	38 m	Tanque de asada Bajos de Jorco
17	165	1-12-002	6+232	6+270	38 m	Iglesia Bajos de Jorco
18	175	1-12-002	6+612	6+650	38 m	Escuela de Bajos de Jorco

Ilustración 22

Diagrama de unidades de muestreo por inspeccionar



4.1.6 Levantamiento de los deterioros del camino por inspeccionar

Es muy importante todo el proceso de recolección de datos de la inspección de campo de la ruta por evaluar, de manera que se debe entender bien el procedimiento de los conceptos de severidad y extensión del deterioro para evitar algún resultado erróneo.

De acuerdo con el procedimiento del manual de auscultación, que en el caso deterioro de la extensión es la unidad de medida que presenta cada uno de los deterioros, la severidad se representa en tres niveles: bajo, medio y alto. Se trata del estado que tiene cada deterioro en la ruta por evaluar. También es muy importante el inspector, ya que brinda el criterio de la inspección visual.

Para evaluar cada unidad de muestreo se deben definir los estacionamientos inicial y final del camino; luego, se procede con el registro de los datos de cada unidad de muestreo mediante la hoja para la auscultación de los pavimentos flexibles.

Con el levantamiento de deterioros de todos los datos en la hoja de registro, se empleó una de todas las unidades de muestreo (UM), para, mediante a esta UM, explicar paso a paso del cálculo del procedimiento, desde la hoja de registro y hasta la obtención del PCI.

A continuación, se presenta la UM número 25 del levantamiento y la evaluación, la cual tiene características interesantes de analizar y permite explicar todo el procedimiento de la metodología del PCI que se debe utilizar en cada unidad de muestreo. Seguidamente, se muestra el registro y la recolección de datos de la UM 25 del camino C1-12-002 de la ruta 209:

Ilustración 23

Hoja de levantamiento de los deterioros de la UM 25 camino C1-12-002 de la ruta 209

Hoja para la auscultación de pavimento flexible (PCI)												
CLASIFICACIÓN DE DETERIOROS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES	Fecha: 20/12/2021	20/12/2021	Unidad de Muestreo (UM)	25	Sección de Control:		1-12-002	Estación Inicial:	Estación de Final:			
	Ruta:		Desviación Estandar σ	10	Área de UM (m ²):		209	0+912	0+950			
	209		Error admisible e	5	Longitud UM (m):		38	Inspeccionada por: Cristal Monge Ortega				
Grupo 1: Grietas	Nivel de Severidad			Extensión	% Densidad	Valor deducido	Extensión	% Densidad	Valor deducido	Extensión	% Densidad	Valor deducido
	Alto	Medio	Bajo									
1.1 Cuero de lagarto	x			20	9,6	58						
1.2 Longitudinal transversal	x			8,3	4,0	20						
1.3 Reflejo de juntas												
1.4 Bloque												
1.5 Borde												
1.6 Arco		x					1	0,5	5			
Grupo 2: Deformaciones												
2.1 Roderas												
2.2 Abultamientos y hundimientos												
2.3 Corrugación	x			7,84	3,8	46						
2.4 Depresión												
2.5 Hinchamiento	x			6,4	3,1	41						
2.6 Desplazamiento												
Grupo 3: Textura Superficial												
3.1 Exudación												
3.2 Pulmineto de agregados												
3.3 Desplazamiento de agregados												
3.4 Desgaste superficial												
Grupo 4: Miscelaneos												
4.2 Baches												
4.3 Huecos			x							1	0,5	20
4.4 Cruce de línea ferroviaria												

Según la unidad de muestreo para su análisis, de acuerdo con los datos obtenidos en campo, se encuentran presentes seis deterioros, que se califican en tres de los cuatro grupos de deterioros. Así fue como se procedió a identificar cada deterioro según su nivel de severidad, ya fuera alto, medio o bajo; luego, se midió su extensión sobre el pavimento con la ayuda de una cinta métrica o un odómetro y otros instrumentos de medición.

4.1.7 Densidad de deterioro-porcentaje (% densidad)

Se calculó la densidad de cada deterioro una vez que se tenían todos los datos mencionados anteriormente. Para dicha densidad se utilizó el ejemplo que se muestra a continuación: grupo 1 de grietas 1.1, cuero de lagarto con una severidad alta.

Ilustración 24

Cálculo de la densidad del deterioro

$$Densidad \% = \frac{Extensión \times 100}{Área UM}$$

Ilustración 25

Ejemplo del cuero de lagarto-cálculo de densidad del deterioro

$$Densidad \% = \frac{Extensión \times 100}{Área UM} = \frac{20 m^2 \times 100}{5,50 m \times 38 m} = 9,6\%$$

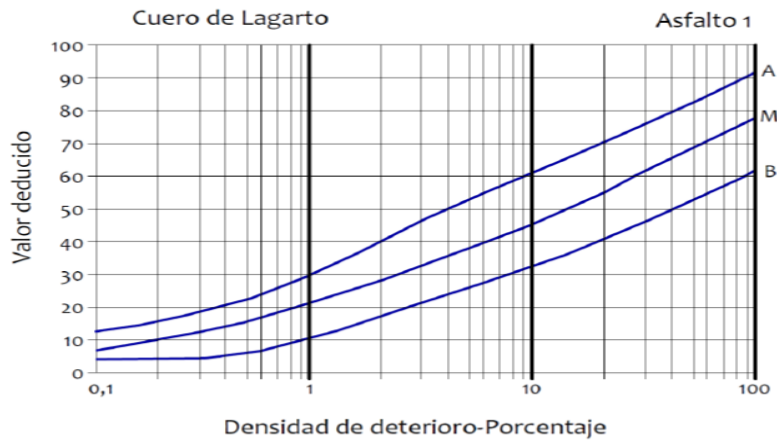
De esta manera, se procedió con el cálculo de los demás deterioros y se avanzó con el siguiente paso.

4.1.8 Valor deducido (VD)

Con el Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica: Guía para Profesionales (MAV-2016) existe una serie de gráficas, según el deterioro que se presente, para el cálculo de los valores deducidos (VD) que se encuentran con el porcentaje de densidad de deterioro. De acuerdo con el ejemplo mencionado, se muestra cómo se encontró el VD:

Ilustración 26

Valor deducido de la gráfica de cuero de largo



Nota. Tomado del apéndice 4, Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica: Guía para Profesionales (MAV-2016) (p. 162).

Como se observa en la gráfica, el ejemplo del cuero de lagarto tiene una densidad de 9,6 % y su VD es 58, el cual se debe leer en la curva A, ya que el nivel de severidad que presenta es alto (A). Dicho nivel se debe realizar con los otros deterioros de acuerdo con la clasificación de los deterioros auscultados, el nivel de severidad y el porcentaje de densidad de cada deterioro, junto con su respectiva gráfica y nivel de curva.

4.1.9 Numero de deducciones admisibles (m)

El cálculo de m permite saber cuáles valores deducidos deben tomarse en cuenta para el cálculo final de PCI. Todos cálculos de los valores deducidos se deben ordenar de mayor a menor, en donde el mayor de estos valores se conoce como mayor valor deducido individual (MCD). Este número de deducciones admisibles se calcula con la siguiente ecuación:

Ilustración 27

Cálculo del número de deducciones admisibles

$$m = 1 + \frac{9}{98} (100 - \text{Max VD}) \leq 10$$

Nota. Tomado del Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica: Guía para Profesionales (MAV-2016)

Cuadro 10

Datos de campo para la UM

Unidad de muestra	Deterioros auscultados	Severidad	Valor deducido (mayor a menor)
25	Cuero de lagarto	Alta	58
	Corrugación	Alta	46
	Hinchamiento	Alta	41
	Longitudinal transversal	Alta	20
	Huecos	Baja	20
	Arco	Media	5

Como se puede ver, de acuerdo con los datos de UM 25 de campo, se procede con el orden de mayor a menor, teniendo en cuenta que el MVD es igual 58 en este caso y utilizado la siguiente ecuación para el cálculo de m:

Ilustración 28

Cálculo del número de deducciones admisibles

$$m = 1 + \frac{9}{98} (100 - \text{Max VD}) = 1 + \frac{9}{98} (100 - 58) \gg m = 4,9$$

Cuadro 11

Unidad de muestra	Deterioros Auscultados	Severidad	Valor Deducido (Mayor a Menor)	m=4,9
25	Cuero de Lagarto	Alta	58	1. 58
	Corrugación	Alta	46	2. 46
	Hinchamiento	Alta	41	3. 41
	Longitudinal transversal	Alta	20	4. 20
	Huecos	Baja	20	5. (20x0.90=18)

Como el m es de 4,9 y se obtuvieron 6 valores deducidos, en este caso se emplearon los primeros 4 valores y el valor de 0,90 como valor 5, según se puede ver en la tabla anterior.

4.1.9 Máximo valor deducido corregido (MVCD)

Dado que el m es 4,9, se utilizaron los primeros 5 deterioros de los valores deducidos (VD) y se procedió con el cálculo del valor deducido corregido (VDC). Los resultados fueron los siguientes:

Cuadro 12

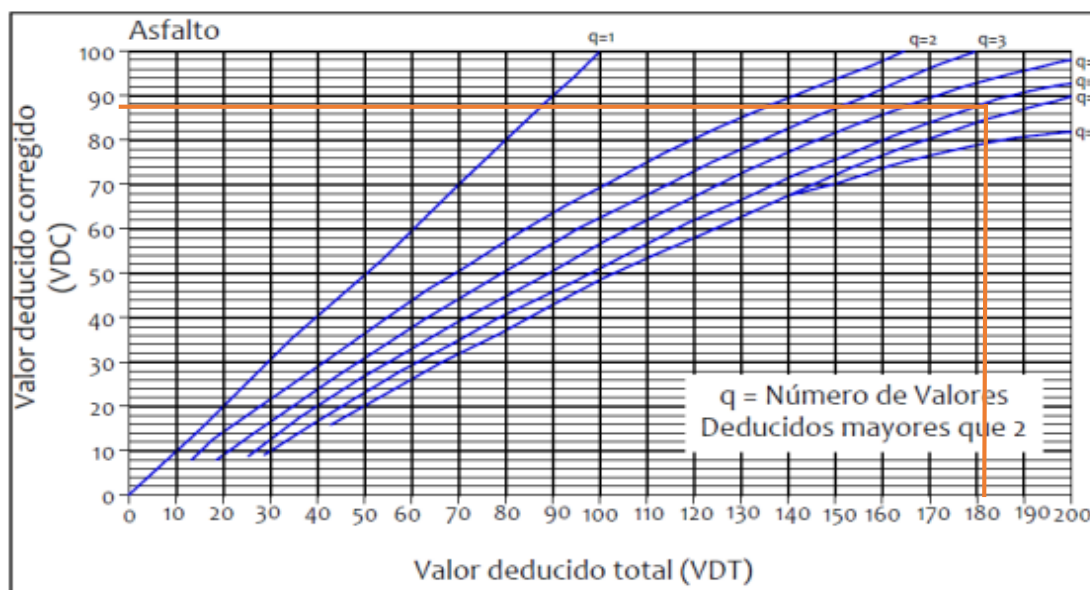
Datos valor deducido total

<i>Deterioros auscultados</i>	<i>Severidad</i>	<i>Valor deducido (mayor a menor)</i>	q=5	q=4	q=3	q=2	q=1
			VD	VD	VD	VD	VD
Cuero de lagarto	Alta	58	58	58	58	58	58
Corrugación	Alta	46	46	46	46	46	2
Hinchamiento	Alta	41	41	41	41	2	2
Longitudinal transversal	Alta	20	20	20	2	2	2
Huecos	Baja	20	18	2	2	2	2
VDT Σ			183	167	149	110	66

Como se observa en la tabla anterior, se define el valor deducido total (VDT) sumando todos los valores deducidos individuales para determinar el valor deducido corregido (VDC) con q y el valor deducido total (VDT) en la curva de corrección. Se debe cambiar a 2 el menor de valores deducidos individuales que sea mayor que 2 y se debe seguir hasta llegar q=1.

Ilustración 29

Gráfica para el cálculo del VDC (pavimentos flexibles)



Nota. Tomado del Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica: Guía para Profesionales (MAV-2016).

En el ejemplo de la muestra número 25, el valor deducido total (VDT) es VDT=183, el valor deducido corregido (VDC) como se muestra en la curva q=5 y el valor serio de 98. Se sigue con los demás VD y se obtiene su VDC como se expone a continuación:

Cuadro 13

Datos valor deducido corregido

UM	Deterioros auscultados	Severidad	Valor deducido (mayor a menor)	q=5		q=4		q=3		q=2		q=1	
				VD	VDC	VD	VCD	VD	VCD	VD	VCD	VD	VCD
25	Cuero de lagarto	Alta	58	58	98	58	99	58	93	58	73	58	63
	Corrugación	Alta	46	46		46		46		46		2	
	Hinchamiento	Alta	41	41		41		41		2		2	
	Longitudinal transversal	Alta	20	20		20		2		2		2	
	Huecos	Baja	20	18		2		2		2		2	
VDT Σ				183		167		149		110		66	

Cuando solo queda un VD que sea mayor, se analizan los VDC obtenidos. Se estableció que el mayor MVDC es el que corresponde a $q=4$. El MCVD es de 99.

4.1.10 Cálculo del PCI de la unidad de muestra analizada

Para el cálculo del PCI de la unidad, se restó de 100 el mayor MVDC, por lo tanto, el MCVD es de 99. Se realizó el cálculo del PCI de la UM 25 del camino 1-12-002 de la ruta 209.

Ilustración 30

Cálculo del PCI unidad de muestreo 25

$$PCI = 100 - (VDC \text{ Máx}) = 100 - 99 = 1$$

Según el rango de calificaciones de la metodología ASTM D6433, existe una escala de una 0-100, donde 0 es la peor condición y 100 la mejor, de acuerdo con el Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica: Guía para Profesionales (MAV-2016).

Por ello, la unidad de muestreo 25 es de 1, porque es un rango fallido en el rango de las calificaciones. De la misma manera, se realizaron las demás unidades muestras a intervenir, que este caso de estudio fueron de 18 UM, para así obtener el PCI como se muestra en la vía. Lo anterior se expone en el siguiente cuadro:

Cuadro 14

Resumen de cálculo de PCI para el camino 1-12-002 de la ruta 209

Orden	UM	Camino	Estación inicial	Estación final	Longitud UM (m)	PCI	Rango de calificaciones PCI	Area UM (m2)	PCI x área
1	5	1-12-002	0+152	0+190	38	54	Pobre	209	11286
2	15	1-12-002	0+532	0+570	38	32	Muy pobre	209	6688
3	25	1-12-002	0+912	0+950	38	1	Fallido	209	209
4	35	1-12-002	1+292	1+330	38	42	Pobre	209	8778
5	45	1-12-002	1+672	1+710	38	36	Muy Pobre	209	7524
6	55	1-12-002	2+052	2+090	38	54	Pobre	209	11286
7	65	1-12-002	2+432	2+470	38	90	Bueno	209	18810
8	75	1-12-002	2+812	2+850	38	44	Pobre	209	9196
9	85	1-12-002	3+192	3+230	38	22	Serio	209	4598
10	95	1-12-002	3+572	3+610	38	90	Bueno	209	18810
11	105	1-12-002	3+952	3+990	38	90	Bueno	209	18810
12	115	1-12-002	4+332	4+370	38	71	Satisfactorio	209	14839
13	125	1-12-002	4+712	4+750	38	85	Satisfactorio	209	17765
14	135	1-12-002	5+092	5+130	38	40	Muy Pobre	209	8360
15	145	1-12-002	5+472	5+510	38	88	Bueno	209	18392
16	155	1-12-002	5+852	5+890	38	90	Bueno	209	18810
17	165	1-12-002	6+232	6+270	38	80	Satisfactorio	209	16720
18	175	1-12-002	6+612	6+650	38	87	Bueno	209	18183
Total								3762	229064
PCIs								60,89	
Rango de calificaciones PCI								Malo	

En el cuadro resumen del cálculo del PCI brinda los datos generales de cada unidad de muestreo. Se debe multiplicar el PCI de las unidades de muestreo por el área respectiva, de manera que, a partir de la sumatoria total del área UM y la sumatoria del cálculo de la multiplicación del PCI por el área, se pueda determinar el PCI general de la ruta de la investigación, según se muestra el cálculo a continuación:

El cálculo de PCI del caso de estudio camino vecinal Agua Blanca-Bajos de Jorco C1-12-002 de Agua Blanca.

Ilustración 31

Cálculo de PCI de la ruta 209

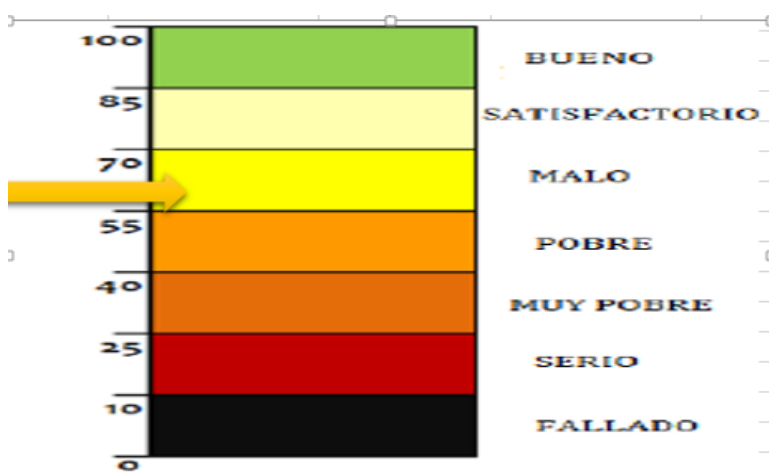
$$PCIs = \frac{\sum_{i=1}^9 (PCI_j * A_i)}{\sum_{i=1}^9 (A_i)} = \frac{229064}{3762} = 60,89$$

El estado del pavimento para del camino 209 es malo con un ponderado de PCI 60,89, por lo que refiere a que se encuentra en una etapa crítica muy cercana al rango de calificaciones de pobre, que es la cuarta categoría, siendo la séptima peor. De esta forma, el pavimento necesita de un mantenimiento adecuado y a tiempo, sino requerirá de tratamientos muy costosos.

Rango de PCI general del caso de estudio

Ilustración 32

Resultado del PCI obtenido según escala y rangos de clasificación del caso de estudio C1-12-002.



4.2. Plan de mantenimiento para el caso de estudio C1-12-002, camino vecinal Agua Blanca – Bajos de Jorco

Con el resultado del PCI, se procedió a hacer una propuesta de mejoramiento para la caso de estudio de la vía a intervenir, de acuerdo con cada necesidad que presenta. Según la inspección realizada, se determinan los deterioros presentes y su extensión a lo largo de vía.

El sistema de gestión propone un periodo de doce años de mantenimiento y realizar cada tres años un mantenimiento rutinario. El periodo inicial (año cero) sería el 2022 y el periodo final (año doce) sería el año 2034. De esta manera, se podrá cumplir con el periodo propuesto con mantenimientos cada tres años. La proyección del presupuesto se realiza con la referencia de Peshkin (2011) y la investigación de Arteta (2021).

Ilustración 33

Costos estimados para los tratamientos de los pavimentos MAC

Table 2.13. Estimated Treatment Costs for Preservation Treatments on HMA-Surfaced Pavements

Treatment	Relative Cost (\$ to \$\$\$\$)	Estimated Unit Cost
Crack filling	\$	\$0.10 to \$1.20/ft
Crack sealing	\$	\$0.75 to \$1.50/ft
Slurry seal	\$\$	\$0.75 to \$1.00/yd ²
Microsurfacing (single-course)	\$\$	\$1.50 to \$3.00/yd ²
Chip seal (single-course)	\$\$ (conventional) \$\$\$ (polymer modified)	\$1.50 to \$2.00/yd ² (conventional) \$2.00 to \$4.00/yd ² (polymer modified)
Ultra-thin bonded wearing course	\$\$\$	\$4.00 to \$6.00/yd ²
Thin HMA overlay (dense graded)	\$\$\$	\$3.00 to \$6.00/yd ²
Cold milling and thin HMA overlay	\$\$\$	\$5.00 to \$10.00/yd ²
Ultra-thin HMA overlay	\$\$	\$2.00 to \$3.00/yd ²
Hot in-place recycling (excluding thin HMA overlay for surface recycle and remixing types)	\$\$/\$\$\$	\$2.00 to \$7.00/yd ²
Cold in-place recycling (excluding thin HMA overlay)	\$\$	\$1.25 to \$3.00/yd ²
Profile milling	\$	\$0.35 to \$0.75/yd ²
Ultra-thin whitetopping	\$\$\$\$	\$15.00 to \$25.00/yd ²

Nota. Tomado de Peshkin *et al.* (2011). *Guidelines for the Preservation of High Traffic Volume Roadways.*

Según Arteta (2021), se propone un factor de corrección equivalente a 1,1, como se puede observar en el siguiente cuadro:

Cuadro 15

Prepuestado del plan de mantenimiento en 2022

<i>Mantenimiento</i>	<i>Unidad de medida</i>	<i>Vida útil del mantenimiento</i>	<i>Costo por unidad 2021 (\$)</i>	<i>Costo por unidad 2022 (\$)</i>
Sellado de grietas	m	2 a 4 años	0,76	0,89
Sellado de viruta	m2	3 a 7 años	2,76	3,01
Sellado tipo lechada	m	3 a 5 años	0,51	0,56
Sobre capa delgada de MAC	m2	5 a 12 años	8,28	9,03
Reciclado en frío en sitio / bacheo	m2	6 a 8 años	4,14	4,52
Reciclado en caliente en sitio	m2	6 a 10 años	9,66	9,66
Reconstrucción	m2	N/A	34,49	37,63

Una vez resumido el mantenimiento que corresponde a cada deterioro, la siguiente ilustración define la vida útil de la actividad:

Ilustración 34

Mantenimiento de la vida útil de los pavimentos

Table 2.11. Expected Performance of Preservation Treatments Applied to HMA-Surfaced Pavements

Treatment	Expected Performance	
	Treatment Life (yr)	Pavement Life Extension (yr)
Crack filling	2-4	NA
Crack sealing	3-8	2-5
Slurry seal	3-5	4-5
Microsurfacing		
Single course	3-6	3-5
Double course	4-7	4-6
Chip seal		
Single course	3-7	5-6
Double course	5-10	8-10
Ultra-thin bonded wearing course	7-12	NA
Thin HMA overlay		
Dense graded	5-12	NA
Open graded (OGFC)	6-12	NA
Gac graded (SMA)	NA ^a	NA
Cold milling and thin HMA overlay	5-12	NA
Ultra-thin HMA overlay	4-8	NA
Hot in-place recycling		
Surface recycle and thin HMA overlay	6-10 ^b	NA
Remixing and thin HMA overlay	7-15 ^b	NA
Repaving	6-15	NA
Cold in-place recycling and thin HMA overlay	Between 6-8 and 7-15 ^c	NA
Profile milling	2-5	NA
Ultra-thin whitetopping	NA	NA

Sources: Peshkin et al. 1999; Lamptey et al. 2005; Peshkin and Hoerner 2005; Dunn and Cross 2001; Newcomb 2009; Cuelho et al. 2006; Okpala et al. 1999; Caltrans 2006; NCDOT 2002.

Nota. Tomado de Peshkin et al. (2011). *Guidelines for the Preservation of High Traffic Volume Roadways.*

4.2.1 Plan de mantenimiento para el caso de estudio C1-12-002, camino Vecinal Agua Blanca–Bajos de Jorco:

Se detalla cada deterioro según la información suministrada del levantamiento realizado en campo.

Cuadro 16

Resumen de deterioros presente en el C1-12-002

Deterioro	Nivel de severidad	Unidad	Cantidad
1.1 Cuero de lagarto	Alto	m2	20
1.1 Cuero de lagarto	Medio	m2	57,2
1.1 Cuero de lagarto	Bajo	m2	3,4
1.2 Longitudinal transversal	Alto	m	37,3
1.2 Longitudinal transversal	Medio	m	4
1.2 Longitudinal transversal	Bajo	m	4,6
1.5 Borde	Alto	ml	29
1.6 Arco	Medio	m2	63
2.2 Abultamientos y hundimientos	Medio	ml	17,3
2.2 Abultamientos y hundimientos	Alto	ml	55
2.3 Corrugación	Alto	m2	22,4
2.5 Hinchamiento	Alto	m2	6,4
3.3 Desplazamiento de agregados	Bajo	m2	4
3.4 Desgaste superficial	Medio	m2	4
3.4 Desgaste superficial	Alto	m2	16
3.4 Desgaste superficial	Bajo	m2	10
4.1 Escalonamiento calzada-espaldón	Medio	m	11,5
4.2 Baches	Alto	m2	11,44
4.2 Baches	Bajo	m2	13
4.3 Huecos	Bajo	unidad	2
4.3 Huecos	Alto	unidad	1

Se definen los deterioros y el nivel de severidad según la cantidad de su extensión y de acuerdo con su unidad de medida para realizar la propuesta de mantenimiento:

Cuadro 17

Propuesta de plan de mantenimiento caso estudio C1-12-002, camino vecinal Agua Blanca-Bajos de Jorco

Deterioro	Nivel de severidad	Unidad	Cantidad	Tarea de mantenimiento	Costo de tarea (dólares)	Año 0	Año 3	Año 6	Año 9	Año 12
1.1 Cuero de lagarto	Alto	m2	20	Reconstrucción	37,63	752,6	827,86	910,65	1001,71	1101,88
1.1 Cuero de lagarto	Medio	m2	57,2	Sellado de grietas	0,89	50,908	56,00	61,60	67,76	74,53
1.1 Cuero de lagarto	Bajo	m2	3,4	Sellado de grietas	0,89	3,026	3,33	3,66	4,03	4,43
1.2 Longitudinal transversal	Alto	m	37,3	Sellado de grietas	0,89	33,197	36,52	40,17	44,19	48,60
1.2 Longitudinal transversal	Medio	m	4	Sellado de grietas	0,89	3,56	3,92	4,31	4,74	5,21
1.2 Longitudinal transversal	Bajo	m	4,6	Sellado de grietas	0,89	4,094	4,50	4,95	5,45	5,99
1.5 Borde	Alto	ml	29	Reciclado en caliente en sitio	9,66	280,14	308,15	338,97	372,87	410,15
1.6 Arco	Medio	m2	63	Bacheo	4,52	284,76	313,24	344,56	379,02	416,92
2.2 Abultamientos y hundimientos	Medio	ml	17,3	Bacheo	4,52	78,196	86,02	94,62	104,08	114,49
2.2 Abultamientos y hundimientos	Alto	ml	55	Bacheo	4,52	248,6	273,46	300,81	330,89	363,98
2.3 Corrugación	Alto	m2	22,4	Sellado de grietas	0,89	19,936	21,93	24,12	26,53	29,19
2.5 Hinchamiento	Alto	m2	6,4	Reconstrucción	37,63	240,832	264,92	291,41	320,55	352,60
3.3 Desplazamiento de agregados	Bajo	m2	4	Sellado de grietas	0,89	3,56	3,92	4,31	4,74	5,21
3.4 Desgaste superficial	Medio	m2	4	Sellado de grietas	0,89	3,56	3,92	4,31	4,74	5,21
3.4 Desgaste superficial	Alto	m2	16	Sellado de grietas	0,89	14,24	15,66	17,23	18,95	20,85
3.4 Desgaste superficial	Bajo	m2	10	Sellado tipo lechada	0,56	5,6	6,16	6,78	7,45	8,20
4.1 Escalonamiento calzada-espaldón	Medio	m	11,5	Reciclado en caliente en sitio	9,66	111,09	122,20	134,42	147,86	162,65
4.2 Baches	Alto	m2	11,44	Bacheo	4,52	51,7088	56,88	62,57	68,82	75,71
4.2 Baches	Bajo	m2	13	Sobrecapa delgada de mac	9,03	117,39	129,13	142,04	156,25	171,87
4.3 Huecos	Bajo	unidad	2	Sobrecapa delgada de mac	9,03	18,06	19,87	21,85	24,04	26,44
4.3 Huecos	Alto	unidad	1	Bacheo	4,52	4,52	4,97	5,47	6,02	6,62

Costo mantenimiento rutinario	2 329,5778	2 562,54	2 818,79	3 100,67	3 410,73
Costo de intervención por ml	7,53	8,28	9,11	10,02	11,02

Costo total de mantenimiento de la ruta	\$	14 222,31
--	-----------	---------------------

El plan de mantenimiento para la gestión del camino C1-12-002 se proyecta a un plazo de doce años con un mantenimiento preventivo cada tres años, en donde se aplica el factor de corrección en los precios. Como se puede observar, la inversión total para el plan de mantenimiento propuesto durante el plazo de los doce años es un monto equivalente a \$14.22, 31.

4.3 Sistema de gestión de pavimento

Para comenzar a realizar el formato del SGP, se debieron considerar con sus componentes, elementos y funciones, los cuales son de vital importancia para un funcionamiento óptimo del sistema.

Un adecuado plan de gestión de comunicaciones define las funciones de los involucrados, esto implica tener una guía de comunicación durante la ejecución del proyecto, la cual puede contar con distintos cambios según las necesidades.

4.4 Componentes y elementos del sistema con sus respectivas funciones

4.4.1 Recursos humanos

Se requiere de un plan de gestión del recurso humano, en donde se establezca y se defina a los involucrados con su nivel de importancia para este proyecto: “Propuesta para la implementación de un sistema de gestión de pavimentos dirigido a la red vial cantonal pavimentada de la Municipalidad de Acosta: caso estudio C1-12-002, camino vecinal Agua Blanca-Bajos de Jorco”.

Se debe tener una guía de las comunicaciones durante el ciclo de vida del proyecto, la cual esté sujeta a actualizaciones, según cambien las necesidades

de este. Dicho plan identifica y define las funciones de las personas que participan. Asimismo, incluye una matriz de comunicaciones, que busca regirse dentro de los requisitos de comunicación de este proyecto para que el sistema funcione de forma óptima.

4.4.2 involucrados y enfoque

El SGP-SIG estará dirigido por el departamento de la UTGV a cargo del director Técnico, quien será el responsable de administrar el proyecto el costo de operación tanto para la reconstrucción y la conservación como para la toma decisiones conforme a los demás funcionarios como el alcalde, la junta vial y el concejo Municipal.

La función principal del director del proyecto es aprobar cualquier cambio a realizar en plan de ejecución. A su vez, estos cambios pueden estar sujetos diferentes variaciones en la proyección, por lo que se deben dar las instrucciones necesarias para realizar las modificaciones.

4.5 Resumen del plan de gestión de recursos humanos

A continuación, se muestra un organigrama con la estructura de los involucrados del proyecto, sus funciones, sus condiciones de capacitación requerida para el personal, así como toda la información necesaria para garantizar el funcionamiento del SGP y lograr cada etapa de este. El director técnico es el encargado de desarrollar las partes mencionadas con ayuda del alcalde municipal.

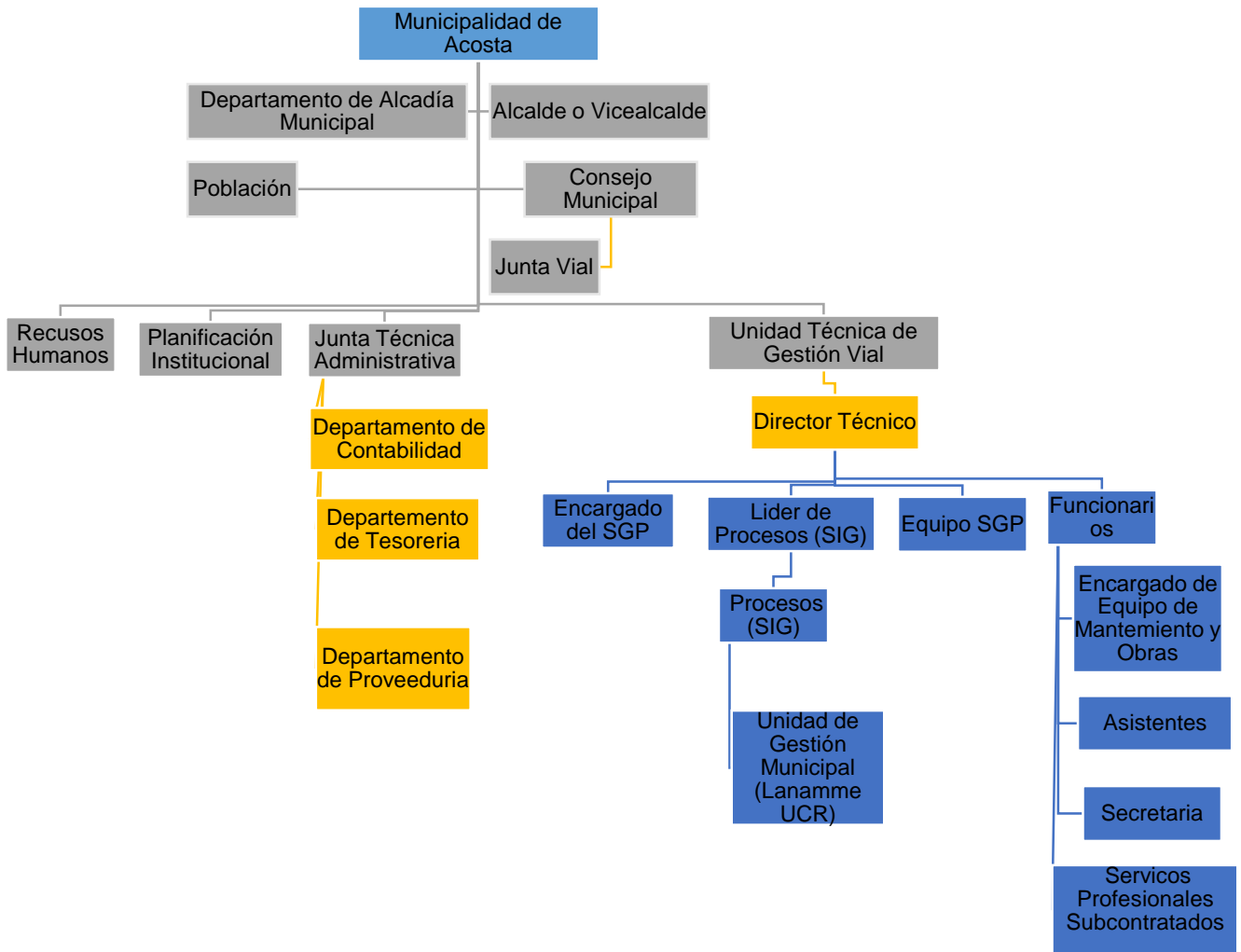
Capacitación personal:

Se realizarán reuniones de inducción con el personal involucrado en el proyecto, en donde se hablará de diferentes temas de inducción como el funcionamiento óptimo del sistema de gestión de los pavimentos flexibles de la red vial cantonal, la implementación del software, la importancia del control y la evaluación de pavimentos y las metodologías por implementar en la Unidad Técnica de Gestión

Vial. Dicha charlas serán impartidas por el director técnico con el personal experto en temas que sean considerados esenciales por el encargado.

Ilustración 35

Organigrama del SGP-SIG

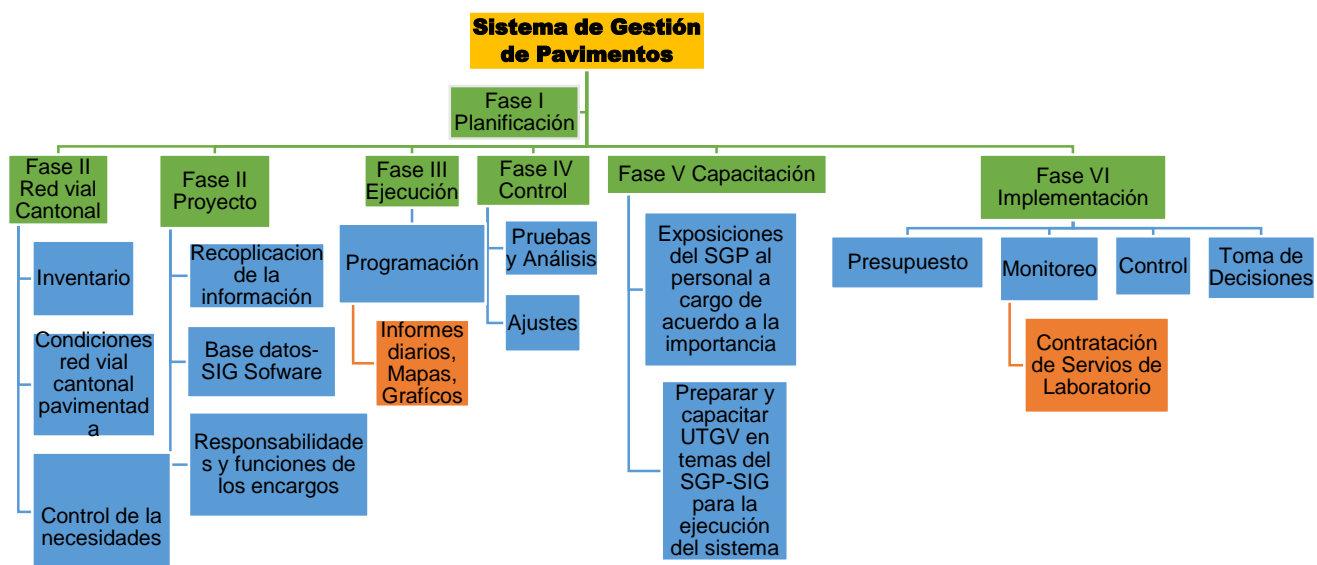


4.6 Estructura del desarrollo de trabajo (EDT)

A continuación, se detalla la estructura de desarrollo de trabajo (EDT) y se muestran las etapas para implementar la propuesta de un sistema de gestión de pavimentos (SGP). Dichas etapas son ejecución, control, planificación y diseño del SGP-SIG, el cual no se encuentra en el alcance de este proyecto.

Ilustración 36

EDT SGP-SIG



El sistema deberá garantizar un funcionamiento óptimo para la Municipalidad de Acosta de los pavimentos flexibles de las rutas cantonales, según la recomendación del sistema y utilizando la ruta de estudio el caso estudio C1-12-002, camino vecinal Agua Blanca-Bajos de Jorco. Este sistema se basa en la condición actual y adopta un plan de mantenimiento para utilizar de propuesta e implementarlo en las demás caminos de cantón. Para ello, se toman en consideración los presupuesto municipales anuales, con el objetivo de tener una planificación para su ejecución según la priorización de los caminos por intervenir.

4.7 Puntos de la propuesta del sistema de gestión de los pavimentos

1. Encargado: el sistema estará a cargo del director técnico, el alcalde y los demás funcionarios para cumplir con el plan de gestión a realizar.
2. Un sistema que facilite el proceso de gestión a las personas encargadas. La municipalidad no posee ninguna plataforma o alguna licencia oficial con un software que le posibilite implementar el SGP-SIG. De esta forma, es necesario

que exista un software para realizar funciones representando la información georeferenciada, el cual permita interpretarla a través de mapas, gráficos y cuadros, así como almacenarla en una base de datos.

Para este caso, se propuso el SIG por medio de la plataforma Quantum GIS. Esta plataforma proporciona capacidades de funciones básicas como es lo es gestionar, editar y diseñar mapas, características fundamentales en un SGP. Sin embargo, el servicio del SIG es esencial para funcionamiento del SGP propuesto, por lo que un cambio de plataforma a futuro resultará indispensable.

3. La base de datos deberá actualizarse constantemente para que la información suministrada sea el dato más real posible y lo más beneficioso del sistema. Los nuevos datos deberán ser suministrados al director del SGP, que es el profesional a cargo, y serán utilizados para tomar las mejores decisiones de intervención red vial y así mejorar la vida útil de los pavimentos flexibles del cantón y reducir costos. El encargado de darle el soporte al sistema requerirá contar con fundamentos técnicos ingenieriles, así como una licenciatura en Ingeniería Civil. También es importante que conozca las áreas relacionadas con la conservación vial.

4. La planificación del recurso económico debe actualizarse un plazo determinado, ya que el desarrollo del puede variar considerando las variables ambientales, sociales y económicas. Además, se debe ayudar a mantener un control de los resultados del SGP. Se determinará la forma más adecuada de inversión de los recursos del cantón de Acosta con una distribución uniforme de cada distrito utilizando el proceso analítico jerárquico. De ese porcentaje se obtendrán los recursos para intervenir en los distritos.

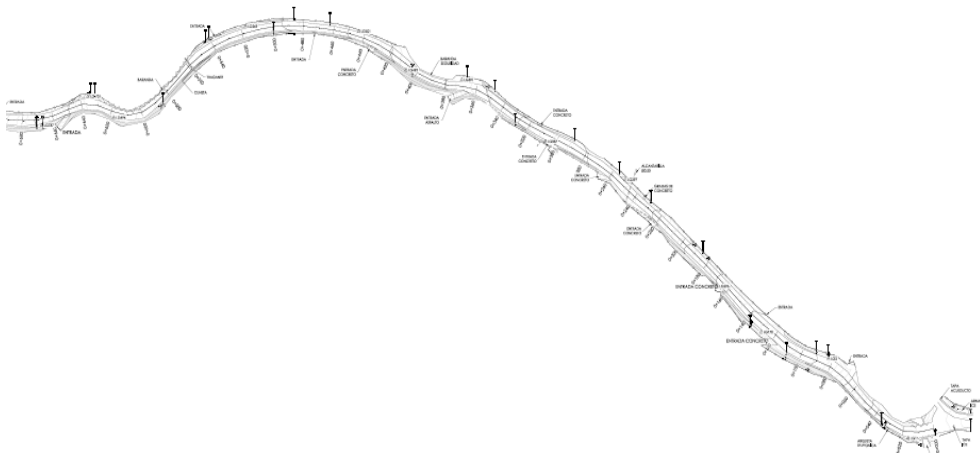
4.8 Software SIG-base de datos

Para alimentar la base de datos se consideraron a todos los funcionarios a cargo del sistema de gestión pavimentos de la UTGV, pues, de esta manera, se podrá tener la más actualizada. Los funcionarios estarán guiados por director técnico y el encargado del SIG. Este proceso es de suma importancia para un adecuado control del almacenaje de la información del sistema para gestionar los pavimentos flexibles del cantón.

A partir del levantamiento de los requerimientos, se utilizó la ruta del caso estudio C1-12-002, camino vecinal Agua Blanca-Bajos de Jorco, y se creó el modelo dentro de la base de datos geográfica de acuerdo con el fundamento de la metodología del PCI.

Ilustración 37

Levantamiento caso estudio C1-12-002, camino vecinal Agua Blanca-Bajos de Jorco



5. CAPÍTULO V. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

El parámetro del PCI es una metodología de la norma ASTM D6A33-11, el cual valora el índice de la condición del pavimento con la auscultación visual y el levantamiento de los deterioros. Por su parte, mediante la elaboración del SGP-SIG, se puede generar una base de datos con el caso de estudio C1-12-002, camino vecinal Agua Blanca-Bajos de Jorco, para así gestionar los pavimentos flexibles dirigidos a la red vial cantonal pavimentada de la Municipalidad de Acosta. De esta manera, se organiza la información vial para la UTGV, lo que permite documentar la información de la condición de los pavimentos para la toma de decisiones.

El estado del pavimento para la ruta del caso de estudio C1-12-002, camino vecinal Agua Blanca-Bajos de Jorco tiene un PCI de 60,89, lo que lo califica como malo.

Para la ruta bajo estudio se realizó plan de mantenimiento de doce años plazo con intervenciones periódicas cada tres años, con el fin de mejorar la condición a partir de una inversión 14 222,31 dólares.

El sistema SGP-SIG propuesto gestiona la información de una forma más real al caso de estudio, ya que se encuentra georreferenciado al pavimento flexible al camino C1-12-002, mediante la plataforma del SIG. Se posible presentar la información a través de mapas, gráficos y cuadros para los informes técnicos de gestión de los pavimentos. La base de datos de información puede ser alimentada con el paso del tiempo para desarrollar los diferentes modelos de los pavimentos flexibles de la red vial cantonal, pues así se mejorará la gestión y se beneficiará la inversión de los recursos del cantón de San Ignacio de Acosta.

5.2 Recomendaciones

Elaborar un sistema de gestión de pavimentos que contemple una proyección a futuro de las condiciones de los pavimentos y actualizar la base de datos con las demás rutas de la red vial.

Realizar un levantamiento con los demás activos presentes en la infraestructura vial como son las aceras, los alcantarillados, el cordón y el caño, los tragantes, los reductores de velocidad, la señalización, los puentes, etc.

Es recomendable aumentar el personal actual de la Unidad Técnica de Gestión Vial de la Municipalidad de Acosta para tener un mayor rendimiento en los trabajos.

Se recomienda generar una sección adicional al SGP-SIG para pavimentos no clasificados como lastre, rígidos y semirrígidos y así incorporar estas otras opciones constructivas en las carreteras cantonales.

Se sugiere considerar la compra a futuro de algunos equipos para la UTGV con el objetivo de mejorar los procesos constructivos y atender la red vial de forma más efectiva.

Se recomienda calcular el indicador PCI de forma ordenada a la hora de realizar el levantamiento de los deterioros, ya que un posible mal dato modificaría los resultados.

6. CAPÍTULO VI. Referencias Bibliográficas

Arteta, Y. (2021). *Evaluación comparativa de Planes de Intervención para el mejoramiento de las vías de acceso a la comunidad de las Isla de Moravia, mediante el uso de la metodología del PCI y metodología de Toma de decisiones multivariable*. Universidad Central, Costa Rica.

AASHTO. (2008). *Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide. A Manual of Practice*. [Guía de diseño de pavimento empírico-mecanicista. Manual de Práctica]. Washington D.C. Estados Unidos de América.

Flores Uña, A. (2017). *Estudio comparativo de construcción de taludes en carreteras, considerando su huella de carbono*. Repositorio Unican. <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/12949/Flores%20U%C3%B1a.pdf?sequence=1>

Fonseca Hernández, R., Rodríguez Ramos, N. y Brenes Jiménez, S. (12 de mayo del 2015). *Estimación de Huella de Carbono de la Municipalidad de Barva*. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/pensamiento-actual/article/view/19201>

García-Ochoa, J., Quito, J., Rodríguez, J. y Perdomo Moreno, A. (2020). Análisis de la huella de carbono en la construcción y su impacto sobre el ambiente. https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/16031/2/2020_Analisis_huella_carbono.pdf

ISO Tools Excellence-Plataforma Tecnológica para la Gestión de la Excelencia. (24 de septiembre del 2018). *Cuantificación de la huella de carbono: nueva ISO 14067: 2018*. <https://www.isotools.org/2018/09/24/cuantificacion-huella-carbono-nueva-iso-14067-2018/>

Ledesma Oloriz, M. (junio del 2015). *Estudio de comparación de procedimientos constructivos de Buenas Prácticas Ambientales en Carretera*. Repositorio Unican. <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/6958>

Mandle, L. (2020). *Gestión de las dependencias y de los efectos sobre los servicios ecosistémicos para inversiones sostenibles en infraestructura vial*.

<https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Carreteras-y-capital-natural-Gesti%C3%B3n-de-las-dependencias-y-de-los-efectos-sobre-los-servicios-ecosist%C3%A9micos-para-inversiones-sostenibles-en-infraestructura-vial.pdf>

MOPT. (2016). *Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica: Guía para Profesionales (MAV-2016)*.

MOPT. (2014). *Manual de Especificaciones Técnicas para Realizar el Inventario y Evaluación de la Red Vial Cantonal*.

Revista Construir América Central y El Caribe. (21 marzo del 2021). *Neutralización de huella de carbono en el sector de la construcción*. https://revistaconstruir.com/it_connect/neutralizacion-de-huella-de-carbono-en-el-sector-de-la-construccion/

Rivero-Camacho, C. (2020). *Estudio de huellas en el ciclo de vida del edificio residencial*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=283147>

Sampedro Rodríguez, A. (25 de marzo del 2020). *Determinación de la Huella de Carbono de las Mezclas Asfálticas en Caliente y sus técnicas sostenibles*. <https://www.caminosmadrid.es/determinacion-de-la-huella-de-carbono-de-las-mezclas-asfalticas-en-caliente-y-sus-tecnicas-sostenibles>

Sandí Zúñiga, A. (julio del 2018). *Herramientas para la estimación de Huella de Carbono de proyectos constructivos*. Repositorio TEC.

https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10011/herramientas_para_estimacion_huella_carbono_proyectos_constructivos.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Secretaría Técnica Nacional Ambiental (2020). *Viabilidad Ambiental*.
<https://www.setena.go.cr/>

Sieca. (2011). *Manual Centroamérica de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial*.

Solano-Quesada, S. y Ortiz-Malavassi, E. (julio-septiembre del 2016). Metodología de medición de la huella de carbono para edificaciones en Costa Rica y su aplicación en el módulo habitacional Trópika. *Revista Tecnología en Marcha*.
https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0379-39822016000300073

Vargas, Y. (2018). Propuesta de un plan de mantenimiento para la Ruta Nacional N° 122 mediante la evaluación de los niveles de deterioros presentes en el pavimento utilizando el método del PCI. Universidad Central, Costa Rica.