



**Pontificia Universidad
Católica del Ecuador**
Seréis mis testigos

MANABÍ

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
SEDE MANABÍ
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE TITULACIÓN

EVALUACIÓN FUNCIONAL, PROPUESTA DE INTERVENCIÓN Y
MANTENIMIENTO DEL PAVIMENTO EMPLEANDO EL MÉTODO PCI
EN LA CIUDADELA LOS TAMARINDOS DE LA CIUDAD DE
PORTOVIEJO, PROVINCIA MANABÍ

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

DISEÑO, INFRAESTRUCTURA Y SISTEMAS SOCIALES Y
AMBIENTALES PARA UN HÁBITAT SOSTENIBLE

SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN

AMBIENTE, CIUDAD, TERRITORIO Y SOCIEDAD PARA UN
HÁBITAT SOSTENIBLE, PLANIFICADO, INCLUSIVO Y SEGURO

**PREVIO AL TÍTULO DE
INGENIERA CIVIL**

ESTUDIANTE
MARÍA AGUSTINA SOLÍS CHÁVEZ

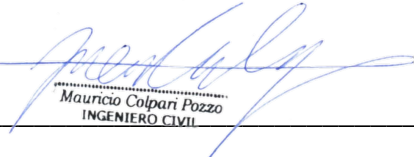
TUTOR
MG. MAURICIO COLPARI POZZO

PORTOVIEJO, OCTUBRE 2024

Certificado de tesis

Ing. Mauricio Henry Colpari Pozzo, Mgtr.

En mi calidad de tutor del trabajo de integración curricular, certifico haber revisado el presente manuscrito de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí, cumpliendo la Normativa del Trabajo de Integración Curricular; en consecuencia, es apto para su presentación y sustentación

(F) 
Mauricio Colpari Pozzo
INGENIERO CIVIL

Ing. Mauricio Henry Colpari Pozzo, Mgtr.

C.I 0965673726

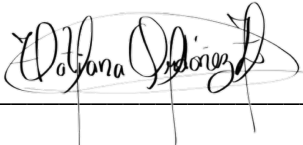
Acta de aprobación del tribunal

El jurado examinador aprueba el presente trabajo de integración curricular en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí:

(F) 
Mauricio Colpari Pozzo
INGENIERO CIVIL


Ing. Mauricio Henry Colpari Pozzo, Mgtr.

Primer lector

(F) 

Ing. María Tatiana Ordoñez Zambrano, Mgtr.

Segundo lector

(F) 

Ing. Fabian Rodrigo Espinales Cedeño, Mgtr.

Tercer lector

Declaración de Originalidad

Este manuscrito no contiene ningún tipo de material que ha sido aceptado para la obtención de un título universitario en otra institución, excepto en forma de información de soporte que ha sido debidamente citada en mi trabajo. Este trabajo es de total responsabilidad del autor, quien declara bajo juramento que ninguna sección de este trabajo de integración curricular infringe los derechos de autor de nadie

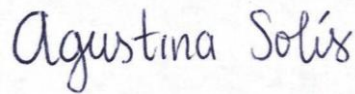


(F)_____

María Agustina Solís Chávez
C.I. 1313397679
Dirección: Av del Ejército
Correo electrónico: msolis7679@pucesm.edu.ec
Celular:0997295734

Declaración de derechos de autor

Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a distribuir este manuscrito de investigación en medios físicos y electrónicos con el fin de promover la divulgación de mis resultados a la comunidad científica y a la sociedad en general. Adicionalmente autorizo el uso de los contenidos de esta investigación como bibliografía para fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, citando como fuente de información al autor de este trabajo



(F) _____

María Agustina Solís Chávez
1313397679

Dedicatoria

Quiero expresar mi gratitud al Dios universo por las bendiciones recibidas en este viaje, agradezco cada día y el aprendizaje en cada etapa del camino.

A ti, Ricardo Chávez, el ingeniero sublime, gracias por brindarme la educación que hizo realidad mis sueños; cada paso que doy a partir de ahora es en tu honor, y te dedico con amor este logro.

Gracias, Mariela Chávez, mi madre, por inculcarme valores, por tu dedicación y paciencia infinita. Te debo la base de mi educación, desde mis primeros pasos hasta este momento.

A mi familia Chávez Reyes, les agradezco por ser mi pilar constante, por apoyarme e inspirarme a creer en mi éxito y recordarme que soy única en este mundo.

Ricardo Cárdenas, gracias por tu apoyo incondicional, por recordarme que cada paso me ha llevado a algo más grande, y por estar a mi lado brindándome tu apoyo.

Mis queridas ingenieras Guacho, Dona y Chamuco aprendieron a mi lado, y juntas nos desvelamos para alcanzar las metas que me propuse.

Este trabajo está dedicado a mis guías protectores y a la guardiana que ha cuidado mis pasos, por las bendiciones y la protección constante que me han acompañado en todo momento.

Agradecimientos

Quiero expresar mi gratitud a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí, por ofrecerme los recursos y conocimientos que me acompañarán a lo largo de mi vida.

Expreso mi sincero agradecimiento al Ing. Mauricio Colpari, Mgtr., por su paciencia y el valioso conocimiento que me transmitió a lo largo de este trabajo. A los ingenieros Tony Palma, Mgtr., y Jimmy Reyes, Mgtr., por compartir su experiencia y tiempo, esenciales para la culminación de este proyecto.

A C+3 Arquitectos, gracias por brindarme el conocimiento y la confianza, cualidades que sé me guiarán hacia el éxito. Su trabajo es impresionante, llevan la arquitectura a nuevas alturas, y en sus manos está la construcción del futuro para muchos profesionales. Extiendo también mi gratitud a su personal de obra, cuya dedicación, respeto y consideración me inspiraron profundamente.

Expreso mi más profundo agradecimiento a los ingenieros de la carrera de Ingeniería Civil por haberme inculcado la pasión y el compromiso hacia la construcción durante estos cinco años de aprendizaje. En especial, agradezco al Ing. Fernando Quiroz, Ing. Fabián Espinales, Ing. José Alarcón, Ing. Tatiana Ordoñez y al Ing. Yandri Vélez por su invaluable guía y apoyo.

Agradezco a mis amigos de todos estos años, futuros colegas, Brayán, Diego, Fernando, Jorge y Elian, por su apoyo incondicional y por ayudarme a superar mis deficiencias. Valoro profundamente su amistad.

Agradezco de corazón a todo el personal de la PUCE Manabí, cada sonrisa y gesto amable durante mis días buenos y malos ha dejado una huella imborrable en mi corazón.

Resumen

El pavimento es crucial para la movilidad urbana, pero sufre deterioro debido a varios factores que reducen su vida útil y funcionalidad. Este estudio se enfoca en analizar el estado del pavimento en la ciudadela Los Tamarindos, en Portoviejo, utilizando el método del Índice de Condición del Pavimento (PCI), conocido por su precisión y bajo costo, aspecto de mucha importancia para el contexto económico de Portoviejo. Con esta metodología, se identificaron los daños en el pavimento mediante visitas a campo y se proyectó su deterioro a cinco y diez años, con y sin intervenciones de mantenimiento. La Ciudadela Los Tamarindos presenta un estado vial calificado como malo, según la tabla de rangos PCI. La principal dificultad radica en la falta de recursos municipales, lo que impide abordar adecuadamente los problemas viales y mejorar tanto la circulación vehicular como la calidad de vida de sus residentes. A través de herramientas de georreferenciación y análisis de datos, se priorizaron las zonas más deterioradas, lo que permitió desarrollar una propuesta de intervención eficaz. Los resultados subrayan la relevancia de implementar mantenimiento preventivo para evitar reparaciones más costosas en el futuro y mantener la seguridad vial. Asimismo, el estudio busca motivar a otros municipios y profesionales en Ecuador a utilizar el PCI como una herramienta clave para gestionar de forma eficiente la infraestructura vial, optimizando los recursos a largo plazo.

Palabras clave: Pavimento, PCI, Fallas, Probabilidad, Mantenimiento

Abstract

Pavement is crucial for urban mobility, but it deteriorates, but it deteriorates due to various factors that reduce its service life and functionality. This study focuses on analyzing the pavement condition in the Los Tamarindos neighborhood in Portoviejo, using the Pavement Condition Index (PCI) method, known for its accuracy and low cost, an aspect of great importance for the economic context of Portoviejo. With this methodology, pavement damages were identified through field visits and their deterioration was projected for five and ten years, with and without maintenance interventions. The Los Tamarindos neighborhood presents a road condition classified as poor, according to the PCI range table. The main difficulty lies in the lack of municipal resources, which prevents adequately addressing road problems and improving both vehicular traffic and the quality of life of its residents. Through georeferencing tools and data analysis, the most deteriorated areas were prioritized, allowing the development of an effective intervention proposal. The results underline the relevance of implementing preventive maintenance to avoid more costly repairs in the future and maintain road safety. Likewise, the study seeks to motivate other municipalities and professionals in Ecuador to use the PCI as a key tool for efficiently managing road infrastructure, optimizing resources in the long term.

Keywords: Pavement, PCI, Failures, Probability, Maintenance

Tabla de contenido

Certificado de tesis.....	ii
Acta de aprobación del tribunal	iii
Declaración de Originalidad	iv
Declaración de derechos de autor	v
Dedicatoria.....	vi
Resumen.....	viii
Introducción	1
Objetivos	4
Objetivo General.....	4
Objetivos Específicos.....	4
Metodología de la investigación	5
Características de la investigación.....	5
Características del Lugar.....	5
Tramos evaluados	6
Índice De Condición Del Pavimento (PCI)	7
Determinación de las Unidades de Muestreo para Evaluación.....	9
Valor Deducido (Deduct Value - DV).....	10
Línea de Dedución	10
Predicción del deterioro (Matriz de Markov)	10

Jerarquización y priorización	11
Sistema de información geográfica aplicado a la gestión de pavimentos.....	12
Instrumentos de recolección de datos en campo.....	13
Recolección de datos en campo	13
Análisis de Datos	15
Resultados	19
Discusión.....	31
Conclusión	34
Bibliografía	36
Anexos	39

Índice de tablas

Tabla 1 Datos de la Ciudadela Los Tamarindos	6
Tabla 2 Rangos de Calificación PCI	8
Tabla 3 Sistema de gestión para priorización de las vías a intervenir	12
Tabla 4 Jerarquización y priorización de las vías y calles de La Ciudadela Tamarindos	29
Tabla 5 Jerarquización y priorización de los estacionamientos de La Ciudadela Tamarindos	30

Índice de figuras

Figura 1 Mapa de ubicación Ciudadela Los Tamarindos en ArcGIS	5
Figura 2 Trabajo en campo para la recolección de datos en la Ciudadela Los Tamarindos	14
Figura 3 Formato PCI- Identificación de fallas, Densidad y Valor deducido	15
Figura 4 Formato PCI- Ajuste del Número del Valor Deducido, Tabla de Valores Deducido, Curva de Deducción para Superficies Asfálticas- Valor PCI.....	16
Figura 5 Proceso de recolección y análisis de datos	18
Figura 6 Frecuencia de fallas encontradas en el pavimento flexible de la Ciudadela Los Tamarindos	19
Figura 7 Valor numérico del Valor Índice de Condición del Pavimento de la Ciudadela Los Tamarindos	20
Figura 8 Condición del Pavimento de la Ciudadela Los Tamarindos	21
Figura 9 Proyección de Matrices de Markov "No hacer nada"	22
Figura 10 Proyección de Matrices de Markov "Sellado de Grietas"	23
Figura 11 Proyección de Matrices de Markov "Recapeo"	24
Figura 12 Sistema de mantenimiento y reparación de la Ciudadela Los Tamarindos	27

Introducción

El pavimento de carreteras es una infraestructura esencial para la conectividad y movilidad de las sociedades contemporáneas. La evaluación de su condición se ha convertido en una práctica fundamental para garantizar su funcionalidad a lo largo del tiempo (Atalaya, 2020).

Idrovo (2022), declara que, la detección temprana de problemas y la aplicación de estrategias de mantenimiento adecuadas son esenciales para prolongar la vida útil del pavimento y optimizar la inversión en infraestructura vial.

Elementos como, lluvias, el rápido crecimiento y expansión del tráfico vehicular, la carencia de mantenimiento y conservación, así como fallos cometidos en las construcciones viales, subrayan la necesidad inminente de evaluar las condiciones actuales de las vías, especialmente en pavimentos flexibles, debido a su menor duración en cuanto a vida útil (Cárdenas, Carrillo, Izarra, Murga, & Vásquez, 2023).

Mogrovejo & Guzmán (2017), declaran que el Índice de Condición del Pavimento (PCI) para pavimentos flexibles y rígidos, juegan un papel crucial en la evaluación del nivel de servicio de una vía y en la determinación de las acciones operativas que pueden llevarse a cabo en dicha vía. Estas acciones pueden variar desde tratamientos preventivos y correctivos hasta reconstrucción, o incluso la ausencia de intervención.

Salazar & Chicoma (2024), declaran que, además, al aplicar métodos complementarios como las matrices de Markov, este índice ofrece una visión sobre la evolución del nivel de servicio a lo largo del tiempo, basada en los tratamientos implementados. Esto permite una gestión más efectiva y estratégica de la infraestructura vial.

La presente investigación se enfoca en la evolución de la condición de la capa de rodadura compuesta de pavimento flexible en la ciudadela Los Tamarindos, de tramos viales,

calles y estacionamientos, ubicada en la parroquia Andrés de Vera, ciudad de Portoviejo. Esta área se caracteriza principalmente por su mediano desarrollo, de tal manera, la capa de rodadura asfáltica ha experimentado deterioros significativos debido a factores climáticos, antrópicos y a la creciente expansión urbana. Estos daños han generado problemas que afectan la comodidad, seguridad y transitabilidad de los usuarios de transporte público y privado, que diariamente circulan por esta importante vía de la ciudad. La implementación de acciones de mantenimiento se torna crucial para mejorar el estado actual del pavimento y restablecer la funcionalidad de estas vías clave para Portoviejo.

Mantener el pavimento en condiciones óptimas no solo asegura la seguridad y comodidad de los usuarios, sino que también previene un mayor deterioro que podría resultar en reparaciones más costosas a largo plazo. Además, un pavimento en buen estado contribuye al atractivo estético de la zona y al incremento de su plusvalía, lo que refuerza la importancia de adoptar estrategias de mantenimiento preventivo (Ochoa, Cotes, & Solis, 2023).

Es fundamental que los municipios se comprometan con una inversión periódica y sostenida en el mantenimiento de la infraestructura vial. Esta inversión no solo mejora la movilidad y seguridad ciudadana, sino que también evita que el deterioro avanzado del pavimento comprometa el bienestar de la comunidad. Según Jiménez y Salas (2017), la buena circulación de vehículos en las calles es un elemento clave para el progreso urbano y el desarrollo de las comunidades.

Portoviejo, capital de la provincia de Manabí, se encuentra a 30 km del Océano Pacífico y cuenta con una superficie de 967.5 km². Está dividida en 10 parroquias urbanas y 7 rurales, siendo Andrés de Vera una de las más importantes por su actividad comercial y su rápido crecimiento. De acuerdo con datos del INEC (2010), la ciudadela Los Tamarindos,

ubicada en esta parroquia, ha experimentado un aumento poblacional del 1.92%, en contraste con el 1.83% registrado en 2001 (Gómez & Delgado, 2022).

La ciudadela Los Tamarindos cuenta con tres vías altamente transitadas, en las que el tráfico vehicular aumenta significativamente durante las horas pico debido a la proximidad de dos complejos educativos, que albergando dos colegios y una escuela con horarios matutinos y vespertinos. Además, la cercanía al Coliseo La California y la vía hacia Manta intensifica aún más el flujo vehicular (Chávez, 2024). Sin embargo, la falta de estudios actualizados sobre la infraestructura vial de Portoviejo ha obstaculizado la planificación y ejecución de mejoras que optimicen el tráfico y la movilidad en la ciudad

Por lo tanto, es imperativo llevar a cabo una evaluación exhaustiva de la calidad de las vías y estacionamientos de la Ciudadela Los Tamarindos y su impacto en la experiencia de conducción para los usuarios y residentes, lo que permitirá a las autoridades locales tomar decisiones informadas que contribuyan al desarrollo urbano y al bienestar general de la población.

Este estudio analiza las fallas más comunes en el pavimento de la Ciudadela Los Tamarindos, identificando que la piel de cocodrilo es la más frecuente, seguida de fisuras en bloque y fisuras longitudinales y transversales. Utilizando el Índice de Condición del Pavimento (PCI), se evaluaron 87 tramos, hallando diferentes niveles de deterioro. Mediante el método de matrices de Markov, se proyectaron escenarios de deterioro a cinco y diez años, considerando diferentes estrategias de mantenimiento. La propuesta de conservación busca servir de guía para la planificación de reparaciones viales, destacando la importancia del uso de SIG para visualizar los datos obtenidos.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar la funcionalidad del pavimento empleando el método PCI para el desarrollo de una propuesta de mantenimiento y conservación en la ciudadela Los Tamarindos ubicada en la ciudad de Portoviejo.

Objetivos Específicos

Identificar las fallas presentes en el pavimento clasificándolas según su tipo y severidad para conocer el nivel de servicio.

Aplicar la metodología del Índice de Condición del Pavimento (PCI) para la identificación del estado funcional del pavimento y su proyección en el tiempo mediante matrices de probabilidad de Markov.

Desarrollar una propuesta de intervención mediante un proceso de jerarquización de prioridad según la condición e importancia de orden en calles y estacionamientos a intervenir de la ciudadela Los Tamarindos.

Tabla 1*Datos de la Ciudadela Los Tamarindos*

Datos del lugar de estudio	
Longitud	4918.4 m
Área	369426 m ²
Ubicación	Datum: WGS84 UTM zona 17 S Coordenada X: 58389.10 Coordenada Y: 9883248.05

Nota. En la Tabla 1 se presentan los datos generales de la ciudadela Los Tamarindos, que incluye su longitud, área total y ubicación geográfica.

Tramos evaluados

Del levantamiento realizado en campo se concluyó que, la Ciudadela Los Tamarindos está organizada en 87 tramos de secciones, de los cuales 75 corresponden a vías y carreteras y 12 tramos a estacionamientos compuestos de carpeta asfáltica, para facilitar la evaluación del pavimento. Esta estrategia permite realizar un análisis más efectivo del estado del pavimento, ya que se pueden inspeccionar y evaluar tramos específicos de manera más detallada. Al dividir la ciudadela en secciones, es posible identificar áreas problemáticas y priorizar reparaciones o mantenimiento según la necesidad, lo que optimiza los recursos y el tiempo de intervención.

El próximo capítulo ofrecerá una explicación detallada de la metodología utilizada en la ejecución de este trabajo de titulación. Se describirán los enfoques, herramientas y técnicas aplicadas, junto con los criterios empleados para asegurar la precisión y confiabilidad de los resultados. Asimismo, se expondrá la organización del proceso de recolección y análisis de datos, subrayando la relevancia de cada fase para alcanzar los objetivos propuestos en la investigación.

Índice De Condición Del Pavimento (PCI)

En la actualidad, hay múltiples métodos disponibles para obtener una comprensión precisa del estado actual de un pavimento, lo que facilita a la gestión vial la formulación de planes efectivos de mantenimiento y restauración. Sin embargo, entre estas técnicas, se destaca como una de las más complejas el Índice de Condición de Pavimentos (PCI) (Atalaya, 2020).

Este índice proporciona una evaluación detallada e integral del estado del pavimento, lo que permite a los gestores viales tomar decisiones informadas respecto a las acciones necesarias para mantener o mejorar la calidad de la infraestructura vial (Elhadiby, El-Badawy, & Elbeltagi, 2019).

El Índice de Condición de Pavimentos (PCI) se introdujo como un indicador numérico diseñado para medir el estado de los pavimentos, proporcionando una evaluación cuantitativa del grado de deterioro presente en la superficie del pavimento (Vasquez, 2024).

Este índice se ha convertido en una herramienta esencial para cuantificar y comunicar de manera efectiva el nivel de desgaste y deterioro de una carretera o pavimento, permitiendo a los gestores viales tomar decisiones informadas sobre estrategias de mantenimiento y rehabilitación. En esencia, el PCI se presenta como una medida cuantitativa que simplifica la evaluación del estado general del pavimento (Idrovo, 2022).

Fernández, Ruiz, & Guerrero (2020), declara que el Índice de Condición del Pavimento (PCI) es un indicador cuantitativo que se encuentra en una escala numérica, con valores que oscilan desde cero hasta 100. En términos simples, un valor de cero indica la presencia de fallas significativas o un estado de deterioro considerable en el pavimento, mientras que un valor de 100 señala que el pavimento se encuentra en condiciones óptimas, es decir, en un estado perfecto.

Tabla 2*Rangos de Calificación PCI*

Rango	Clasificación
100-85	Bueno/ Good
85-70	Satisfactorio/ Satisfactory
70-55	Regular/ Fair
55-40	Malo/ Poor
40-25	Muy Malo/ Very Poor
25-10	Grave/ Serious
10-0	Fallado/ Failed

Nota. En la Tabla 2 se presentan los rangos de valores del PCI, que corresponden al Índice de Condición del Pavimento. Estos valores numéricos permiten clasificar el estado del pavimento, atribuyendo su correspondiente condición analítica Vásquez (2024).

El método PCI (Índice de Condición de Pavimento) fue utilizado en este estudio, conforme a lo establecido por Túpac y Ochoa (2017). Este enfoque es particularmente útil en situaciones donde los presupuestos municipales son limitados, ya que proporciona una herramienta práctica y efectiva para evaluar el estado del pavimento.

El método PCI se implementa en el campo sin equipos costosos, lo que lo hace accesible y permite una evaluación representativa del pavimento. Combinando observación directa y análisis sistemático, proporcionó datos precisos y fomentó una gestión proactiva del mantenimiento vial. Su capacidad para ofrecer datos cuantitativos y cualitativos permitió una comprensión integral del estado del pavimento, superando las limitaciones de métodos tradicionales que se enfocan en mediciones numéricas o subjetivas. Además, no requiere de una base de datos previa, lo cual es beneficioso, ya que en muchas localidades no se cuenta con esta información.

Determinación de las Unidades de Muestreo para Evaluación

El estándar ASTM D6433 (2023), establece el número mínimo de unidades de muestreo necesario mediante el uso de la ecuación que a continuación se muestra.

Esta ecuación ofrece una estimación del Índice de Condición del Pavimento (PCI) con un nivel de confianza del 95% (Vásquez, 2024).

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

Donde:

n: Valor mínimo de unidades a evaluar de muestras.

N: Valor total de unidades de muestra en el pavimento seleccionado.

e: Error admisible PCI (e = 5%).

σ : Desviación estándar del método (PCI).

Vásquez, (2024) afirma que durante la primera inspección, se parte del supuesto de una desviación estándar (σ) del Índice de Condición del Pavimento (PCI):

- 10 para pavimento asfáltico (con un rango PCI=25)
- 15 para pavimento de concreto (con un rango PCI=35).

En las inspecciones sucesivas, se empleará la desviación estándar real (o el rango PCI) de la inspección previa para determinar el número mínimo de unidades que deben ser evaluadas (Vásquez R., 2024).

Si este número mínimo es inferior a cinco ($n < 5$), entonces todas las unidades deben ser evaluadas.

Valor Deducido (Deduct Value - DV)

El estándar ASTM D6433 (2023), establece que el valor deducido es un número que representa el impacto de una falla específica en la condición general del pavimento. Este valor se determina a partir de tablas o curvas que relacionan el tipo de falla, la severidad de la falla (baja, media, alta), y la extensión de la falla (área afectada).

Se utilizan curvas o tablas específicas para cada tipo de falla, donde se cruza la severidad y el área afectada para encontrar el DV. Este valor se deduce del puntaje máximo (100), que representaría un pavimento en perfecto estado.

Línea de Dedución

El estándar ASTM D6433 (2023), afirma que es la curva que muestra cómo se afecta el puntaje PCI a medida que aumentan el número y la severidad de las fallas. Estas curvas se generan a partir de datos experimentales y análisis estadísticos, y son específicas para cada tipo de falla.

En un gráfico de línea de deducción, el eje horizontal representa el porcentaje del área afectada por la falla, mientras que el eje vertical muestra el valor deducido. La pendiente de la curva indica cómo de severamente una falla afecta la condición del pavimento establecido en la estándar (ASTM D6433, 2023).

Predicción del deterioro (Matriz de Markov)

El origen de aplicación de las cadenas de Markov se fundamenta en una herramienta que posibilita la evaluación de la probabilidad con la cual un proceso puede ingresar a un estado específico. Sin embargo, a medida que se suceden múltiples transiciones, estas probabilidades tienden a converger hacia valores específicos (Bedoya & Barrera, 2006) .

Atalaya (2020), declara que las cadenas de Markov se definen como funciones de probabilidad que modelan el cambio de una variable en un instante de tiempo dado, basándose en un patrón de transición que no está previamente conocido.

Bustamante (2018), establece que, en el ámbito de la ingeniería de carreteras, las cadenas de Markov han sido empleadas predominantemente en la formulación de modelos probabilísticos. Estos modelos tienen como objetivo estimar el deterioro de pavimentos y otros activos viales, proporcionando una herramienta valiosa para anticipar y planificar intervenciones de mantenimiento y gestión de infraestructuras viales.

A lo largo de una serie de años, será factible anticipar en qué estado se hallará un segmento de la red en el año mencionado (Túpac & Ochoa, 2017).

Taha (2012), muestra la siguiente fórmula:

$$P\left(X_{n+1} = \frac{x_{n+1}}{x_n} = x_n, x_{n-1} = x_{n-1}, \dots, X_2 = X_2, X_1 = X_1\right) = P(X_{n+1} = \frac{x_{n+1}}{x_n} = X_n) \quad (2)$$

Donde:

P = probabilidad de transición

X_n = paso del proceso en el tiempo

n = tiempo

X_i = Estado del proceso en el instante

Jerarquización y priorización

Carpio (2017), declara que la tarea más compleja dentro de un sistema de gestión es la priorización de las vías a intervenir, ya que esta decisión depende de una amplia gama de factores. Esto implica la evaluación de la condición de las vías para articular eficazmente la red vial, permitiendo la calificación de su desempeño y su potencial de desarrollo.

En el marco de la investigación, se tomaron en cuenta cinco factores clave para determinar el índice de ponderación, el cual condujo a la jerarquización y establecimiento del orden de intervención de las vías, calles y estacionamientos de la Ciudadela Los Tamarindos.

Tabla 3

Sistema de gestión para priorización de las vías a intervenir

1. Índice de Condición del Pavimento
2. Criterio de experto
3. Opinión de la comunidad
4. Relevancia de la vía
5. Condiciones de seguridad vial

Nota. En la tabla 3 se presentan los criterios que se toman en cuenta para llevar a cabo el proceso de jerarquización y priorización del proyecto de mantenimiento a ejecutar en la Ciudadela Los Tamarindos.

Sistema de información geográfica aplicado a la gestión de pavimentos

Globalmente, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han ganado una amplia aceptación gracias a su facilidad de integración para la ubicación de datos y la introducción de información esencial en la toma de decisiones en diversos proyectos (Silva & Gualdrón, 2017).

Angulo (2019), afirma que, la base de datos en un Sistema de Información Geográfica (SIG) se destaca como una componente crucial, constituyendo un conjunto de datos estructurados y almacenados para facilitar un acceso directo. En el ámbito de la gestión de pavimentos, la implementación de herramientas en los sistemas de información contribuye de manera significativa a la toma de decisiones, proporcionando información de manera más eficiente y organizada.

Instrumentos de recolección de datos en campo

Para la recolección de datos se utilizó, hojas con formatos que se rijan bajo el estándar ASTM D6433 (2023) y el Manual PCI para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras, este formato es visible en el Anexo A, así mismo es necesario un odómetro de 6 cifras, cinta métrica y flexómetro. Es importante que en las hojas de formato se encuentre la información del área, por ende, se dividió el lugar de estudio con programas de georreferenciación, en tramos no mayores a 110 metros de longitud con un ancho menor a 8 metros, sin contabilizar el parterre de división.

Recolección de datos en campo

En la Ciudadela Los Tamarindos, se llevó a cabo el levantamiento de información mediante la medición detallada del largo y ancho del pavimento, lo que permitió determinar con precisión las dimensiones exactas de la superficie total evaluada.

Esta etapa preliminar fue fundamental para establecer una base de análisis precisa en la evaluación del pavimento.

Posteriormente, se procedió con la identificación visual de las fallas presentes en el pavimento, conforme a las directrices técnicas establecidas por el estándar ASTM D6433 (2023).

Este proceso incluyó la clasificación meticulosa de los defectos observados, lo cual se realizó de acuerdo con los tipos de deterioros especificados en el estándar. A través de esta clasificación, se pudo distinguir con claridad el tipo y severidad de las fallas, garantizando así un análisis exhaustivo y representativo del estado del pavimento.

Una vez completada la identificación de las fallas, se procedió a calcular las áreas afectadas, ya sea en términos de metros cuadrados o lineales, dependiendo de la naturaleza de cada falla.

Este cálculo fue realizado con precisión, utilizando el procedimiento aritmético establecido en la metodología correspondiente al método PCI, asegurando la obtención de resultados confiables para el análisis posterior.

Finalmente, se registraron las coordenadas geográficas exactas del área de estudio utilizando un sistema de posicionamiento global (GPS), el cual permitió georreferenciar con alta precisión las ubicaciones de las calles en estudio.

Figura 2

Trabajo en campo para la recolección de datos en la Ciudadela Los Tamarindos



a)



b)



c)



d)

Nota. En la Figura 2 se presenta el trabajo realizado en campo de la siguiente manera:
a) Utilización de instrumento odómetro para medir el área de las fallas. b) Falla de piel de cocodrilo. c). Falla de fisura en bloque. d). Falla de fisura longitudinal y transversal.

Análisis de Datos

El proceso de evaluación del pavimento en la ciudadela Los Tamarindos comenzó con la identificación de las fallas y el cálculo del porcentaje de densidad de cada una, en función del área total que cubriría cada deterioro. Este cálculo fue fundamental para determinar la proporción exacta del pavimento afectada por cada tipo de falla, así como su nivel de gravedad. Para ello, se compararon las áreas dañadas con el área total de la sección analizada, obteniendo un porcentaje representativo del deterioro en la superficie.

Una vez calculado el porcentaje de densidad, se procedió a establecer el valor deducido por cada tipo de falla, utilizando los resultados del diagrama de curvas, una herramienta esencial dentro del método del Índice de Condición del Pavimento. Este diagrama permitió obtener valores específicos para cada tipo de deterioro, ajustados según su gravedad y extensión, reflejando así con mayor precisión el impacto que las fallas tienen en la funcionalidad y seguridad del pavimento.

Figura 3
Formato PCI- Identificación de fallas, Densidad y Valor deducido

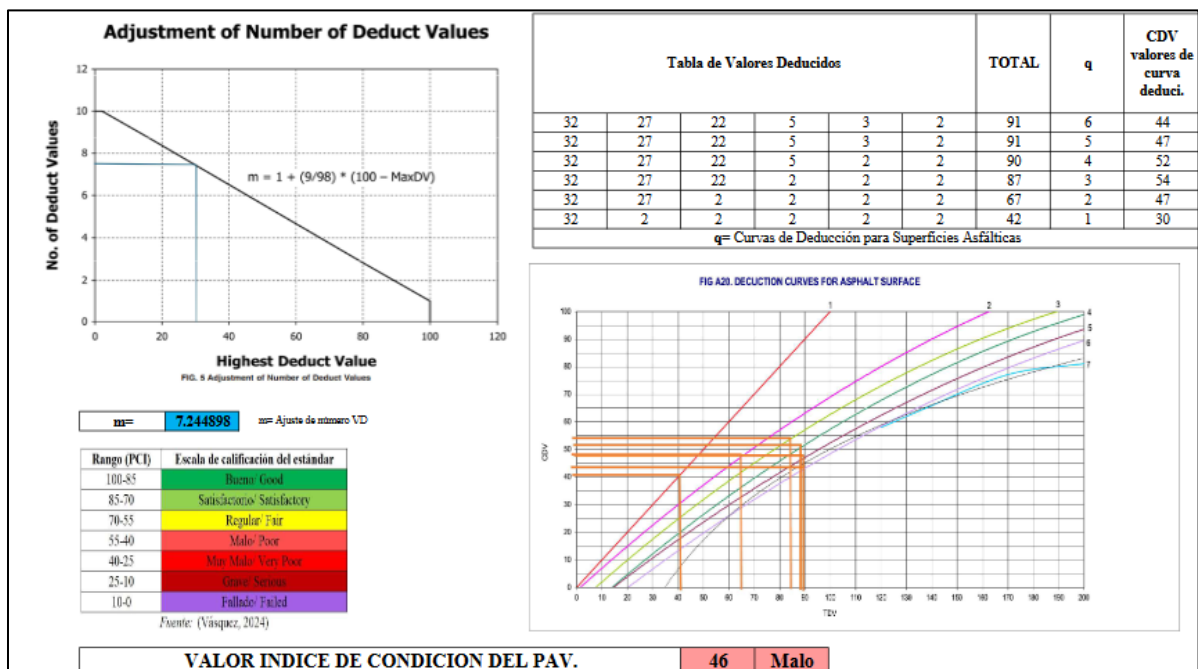
Pontificia Universidad Católica del Ecuador Seréis mis testigos		MANABÍ		INVENTARIO VIAL, PLAN DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS- ANEXO A		INGENIERÍA CIVIL				
				METODO DE EVALUACION PCI						
SECCION 1:	C 1ero de Junio #1	TIPO DE PAVIMENTO:	Pavimento Flexible	CROQUIS						
ANCHO DE VIA:	6	UNIDAD DE MUESTRA	660							
LONGITUD DE LA VIA m:	110	AREA DE MUESTRA								
ESCUESTADO POR:	Agustina Solis	FECHA:	01/10/2024							
1	PIEL DE COCODRILO	6	DEPRESION	11	PARCHE	16	DESPLAZAMIENTO			
2	EXUDACION	7	FISURA DE BORDE	12	AGREGADO PULIDO	17	FISURA POR DESLIZAMIENTO			
3	FISURA EN BLOQUE	8	F. REFLEXION	13	BACHE	18	HINCHAMIENTO			
4	BULTO Y HUNDIMIENTO	9	DESNIVEL C/E	14	CRUCE FERROCAL	19	D. DE AGREGADO			
5	CORRUGACION	10	FISURA L/T	15	AHUELLAMIENTO					
INVENTARIO DE CONDICIÓN DE SUPERFICIES ASFALTICAS										
SEVERIDAD	CANTIDAD							TOTAL	DENSIDAD %	VALOR DEDUCIDO
1L	15.4	3.445	13.2					32.045	4.855	22
1M	0.8	2.8	8.8					12.4	1.879	27
1H	7.5							7.5	1.136	32
1HL	13.3	15.3						28.6	4.333	2
7L	11.5							11.5	1.742	3
1SL	7							7	1.061	5
								0	0.000	0

Nota. La Figura 3 presenta el formato PCI en su versión digital, donde se incluyen la identificación de fallas, la densidad de estas fallas y el valor deducido correspondiente.

Con los valores deducidos ya definidos, se calculó el Índice de Condición del Pavimento (PCI) para cada una de las secciones evaluadas. Este índice, que varía de 0 (pavimento completamente deteriorado) a 100 (pavimento en perfectas condiciones), ofreció una representación cuantitativa clara del estado general del pavimento, facilitando una interpretación objetiva y estandarizada de su condición, las muestras extraídas se encuentran en el Anexo A, siendo estos 87 tramos de secciones; 12 tramos de estacionamientos y 85 tramos de vías y calles.

Figura 4

Formato PCI- Ajuste del Número del Valor Deducido, Tabla de Valores Deducido, Curva de Deducción para Superficies Asfálticas- Valor PCI



Nota. La Figura 4 muestra el formato digital del PCI, que incluye el ajuste del número de valores deducidos, una tabla con los valores deducidos, la curva de deducción correspondiente para superficies asfálticas y el Valor PCI con su respectivo estado.

Posteriormente, mediante el uso de matrices de Markov, se proyectaron los valores del PCI a cinco y diez años, considerando dos escenarios: uno sin mantenimiento y otro con la aplicación de un mantenimiento rutinario. Este análisis permitió prever cómo evolucionarían las condiciones del pavimento bajo diferentes estrategias de intervención. Las matrices de Markov se convirtieron en una herramienta crucial para cuantificar de manera precisa el desgaste futuro del pavimento y evaluar el impacto de diversas políticas de mantenimiento.

Una vez completado el análisis de las proyecciones, se utilizaron Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la representación visual de los resultados obtenidos. Esta herramienta permitió no solo visualizar la información recopilada en campo, sino también plasmar de manera clara y detallada la distribución espacial de las calles afectadas, así como las proyecciones futuras del deterioro del pavimento. El uso de SIG facilitó la comprensión de los resultados, brindando una imagen precisa de las áreas que requieren atención prioritaria.

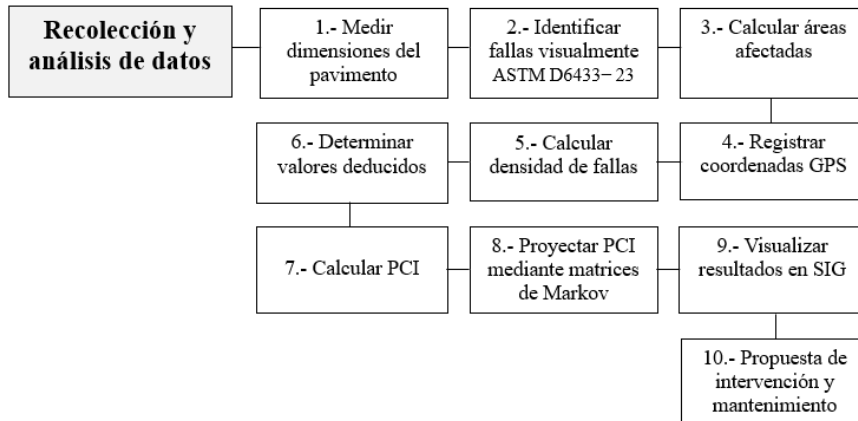
A partir de este análisis exhaustivo, se desarrolló una propuesta de intervención integral, basada en el criterio del autor, los resultados de las matrices de Markov y, sobre todo, el estado actual del pavimento. Este enfoque consideró tanto las proyecciones a cinco y diez años, como los escenarios con y sin mantenimiento, permitiendo una planificación estratégica y priorizada para la intervención en las zonas más críticas.

Finalmente, se presentó un plan de intervención y mantenimiento fundamentado en los resultados de las matrices de Markov y los gráficos georreferenciados. La propuesta priorizó aquellas áreas con los valores de PCI más bajos, indicando tanto acciones correctivas para las fallas más severas, como medidas preventivas para mitigar el deterioro en zonas menos afectadas. Este enfoque garantizó una asignación eficiente de los recursos disponibles,

prolongando la vida útil del pavimento en la ciudadela Los Tamarindos y asegurando su conservación en condiciones óptimas a lo largo del tiempo.

Figura 5

Proceso de recolección y análisis de datos



Nota. En la Figura 5 se ilustra los 10 pasos del proceso de recolección y análisis de datos, los cuales son necesarios para obtener los resultados finales.

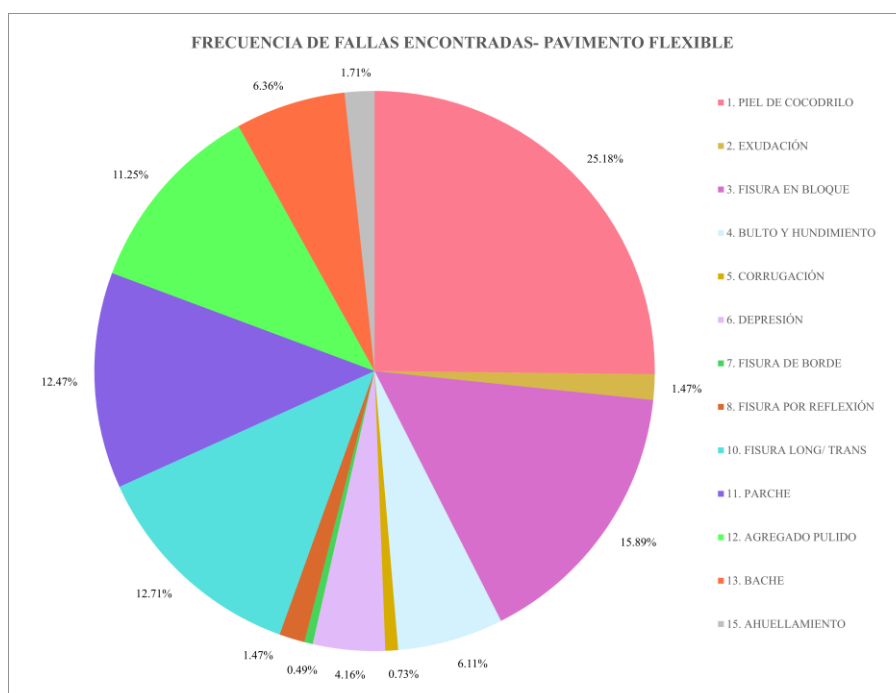
Resultados

En la ciudadela Los Tamarindos se realizó el estudio del Índice de Condición del Pavimento (PCI) en un total de 87 tramos, de los cuales 75 tramos corresponden a vías asfaltadas y 12 tramos a áreas de estacionamiento, ambos constituidos de pavimento asfáltico.

La Figura 6 a continuación, muestra el desglose de las fallas junto con su porcentaje correspondiente, en relación con el total de fallas identificadas en las muestras de la Ciudadela Los Tamarindos.

Figura 6

Frecuencia de fallas encontradas en el pavimento flexible de la Ciudadela Los Tamarindos

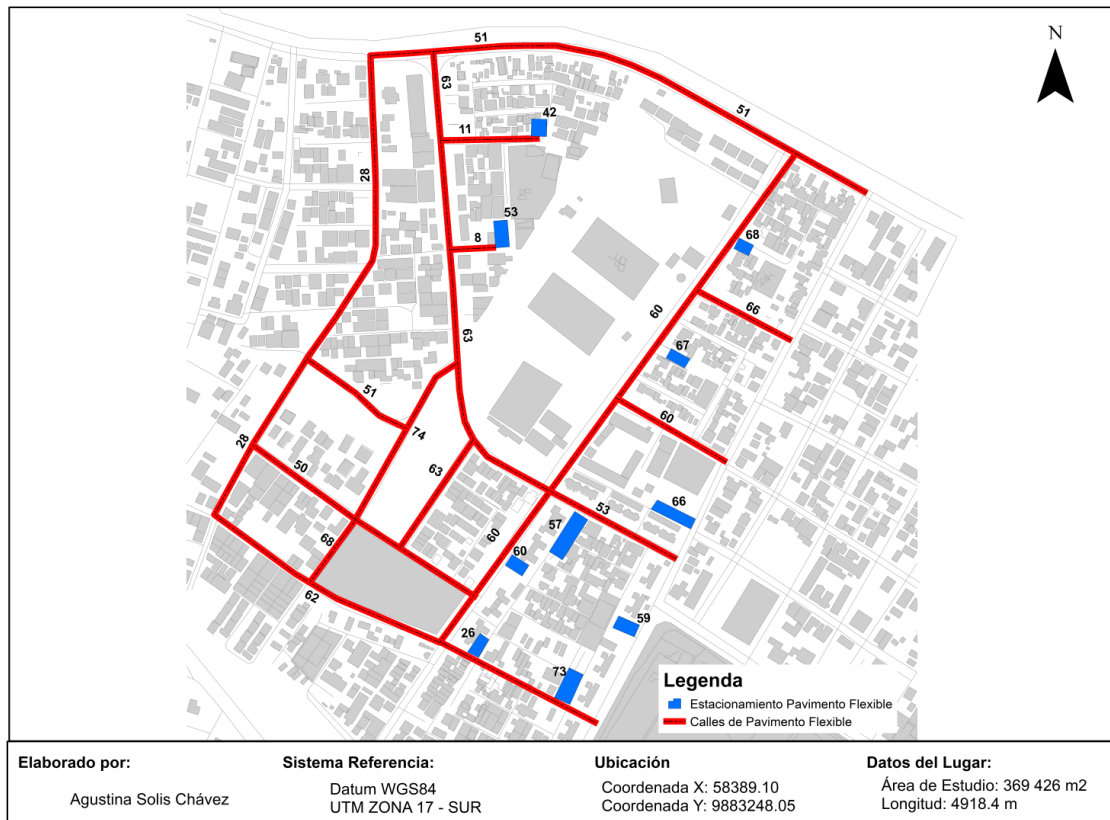


Nota. En la Figura 6 se presenta la frecuencia de fallas observadas visualmente en el pavimento flexible de la ciudadela Los Tamarindos, junto con su porcentaje correspondiente.

Las secciones o tramos evaluados proporcionaron valores numéricos correspondientes a la condición, que se muestran en la Figura 7. Estos valores reflejan el Índice de Condición del Pavimento (PCI) para cada vía.

Figura 7

Valor numérico del Valor Índice de Condición del Pavimento de la Ciudadela Los Tamarindos



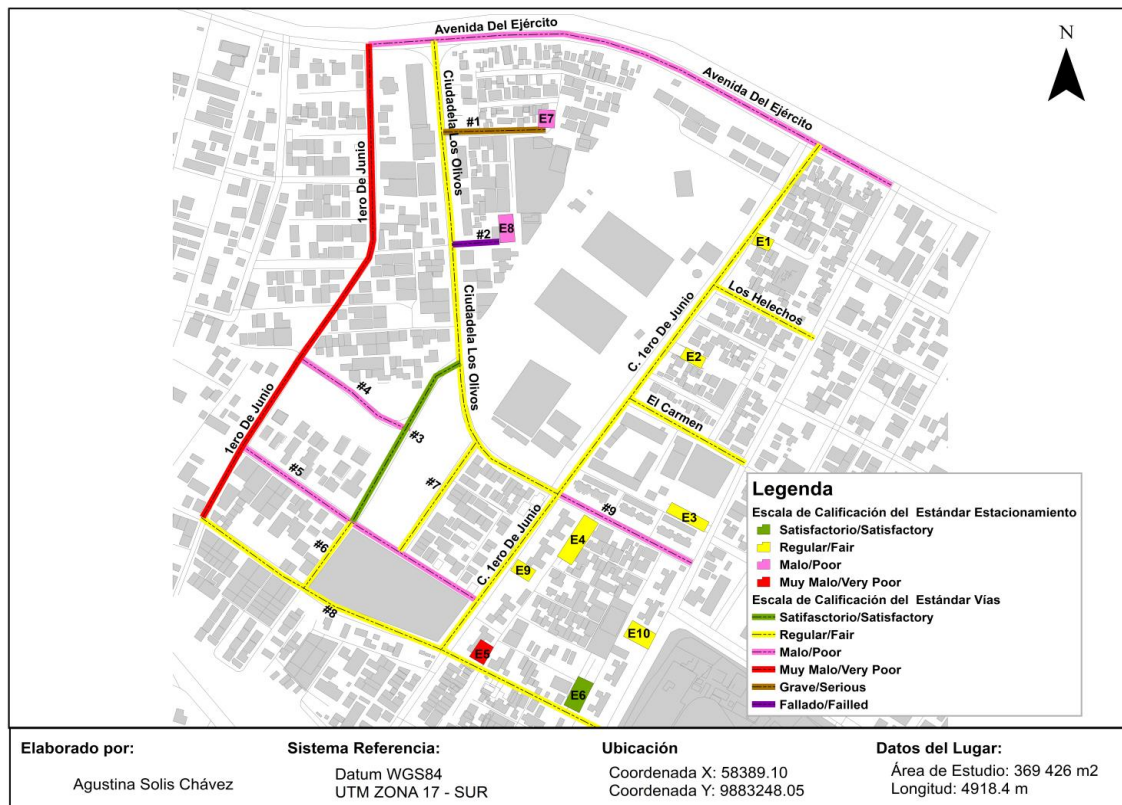
Nota. En la figura 7 se muestra el mapa generado en ArcGIS de la Ciudadela Los Tamarindos, en el que se pueden observar las vías, calles y estacionamientos, junto con sus respectivos valores del Índice de Condición del Pavimento (PCI).

Los cambios climáticos y las precipitaciones intensas en la ciudad de Portoviejo, junto con la falta de un adecuado sistema de drenaje de aguas lluvias, afectan gravemente la integridad del pavimento de la Ciudadela Los Tamarindos. La acumulación de agua provoca la erosión del material de la carretera, la formación de baches y grietas, y reduce la capacidad estructural del pavimento.

Sin un drenaje eficiente, el agua se estanca y filtra en las capas del pavimento, debilitando los materiales y acelerando su deterioro. Esto resulta en un aumento de los costos de mantenimiento y un mayor riesgo de accidentes.

A continuación, en la Figura 8 se muestra el mapa generado en ArcGIS 10.8 que abarca todos los tramos viales, donde se visualiza la condición tanto de las vías asfaltadas como de los estacionamientos compuestos de pavimento flexible.

Figura 8
Condición del Pavimento de la Ciudadela Los Tamarindos



Nota. En la figura 8 se presenta el mapa generado en ArcGIS de la Ciudadela Los Tamarindos, donde se visualiza el estado de las vías, calles y estacionamientos, con sus respectivos colores asignados de acuerdo con el estándar ASTM D6433–2023.

El análisis abarcó 15 calles y 10 áreas de estacionamiento. Los resultados revelaron que 2 de los tramos evaluados se encuentran en estado satisfactorio, 13 presentan una condición regular, 6 se hallan en mal estado, 2 están en condiciones muy malas, 1 se clasifica como grave, y finalmente, otro tramo se encuentra en estado fallado.

Después de llevar a cabo el proceso de Matrices de Markov para proyectar el estado futuro a cinco y diez años de los tramos de vía y estacionamiento de asfalto en la Ciudadela Los Tamarindos, se presentan tres escenarios que ilustran esta evolución aplicada.

1. No hacer nada de intervenciones
2. Sellado de Grietas
3. Recapeo

En la Figura 9, 10, 11 se representan los escenarios de proyección evolutivos hasta el año 2034 para cada tramo de vía y estacionamiento.

Figura 9

Proyección de Matrices de Markov "No hacer nada"

NO HACER NADA						
ESTADO	SATISFACTORIO	REGULAR	MALO	MUY MALO	GRAVE	FALLADO
SATISFACTORIO	83%	7%	4%	3%	2%	1%
REGULAR		72%	12%	7%	5%	4%
MALO			60%	12%	18%	10%
MUY MALO				77%	20%	3%
GRAVE					95%	5%
FALLADO						100%

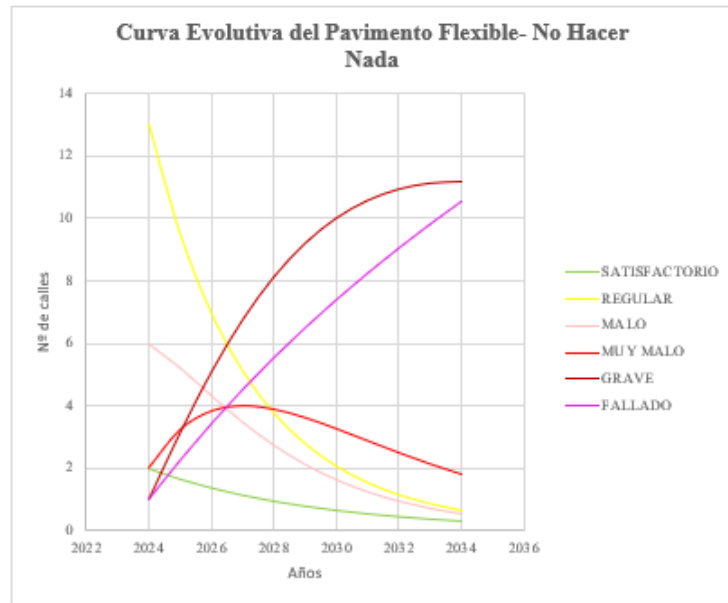
a)

CONDICIÓN ACTUAL DE LAS VIAS 2024	SATISFACTORIO	REGULAR	MALO	MUY MALO	GRAVE	FALLADO
	2	13	6	2	1	1

b)

NO HACER NADA								
N. DE AÑOS		SATISFACTORIO	REGULAR	MALO	MUY MALO	GRAVE	FALLADO	TOTAL
ACTUAL	2024	2	13	6	2	1	1	25
1	2025	2	10	5	3	3	2	25
2	2026	1	7	4	4	5	3	25
3	2027	1	5	4	4	7	5	25
4	2028	1	4	3	4	8	6	25
5	2029	1	3	2	4	9	6	25
6	2030	1	2	2	3	10	7	25
7	2031	1	2	1	3	11	8	25
8	2032	0	1	1	2	11	9	25
9	2033	0	1	1	2	11	10	25
10	2034	0	1	1	2	11	11	25

c)



d)

Nota. En la figura 9 se muestra: a) los criterios del autor para la ponderación de los estados evolutivos, b) el estado actual de las vías y estacionamientos en la Ciudadela Los Tamarindos, c) la proyección del estado del pavimento flexible en calles, vías y estacionamientos de la ciudadela a cinco y diez años, utilizando matrices de Markov, y d) la curva evolutiva del pavimento bajo la acción de "No hacer nada".

Figura 10

Proyección de Matrices de Markov "Sellado de Grietas"

SELLADO DE GRIETAS						
ESTADO	SATISFACTORIO	REGULAR	MALO	MUY MALO	GRAVE	FALLADO
SATISFACTORIO	83%	7%	5%	3%	2%	0%
REGULAR		74%	13%	6%	4%	3%
MALO		1%	60%	10%	14%	15%
MUY MALO			2%	65%	24%	9%
GRAVE				3%	95%	2%
FALLADO					6%	94%

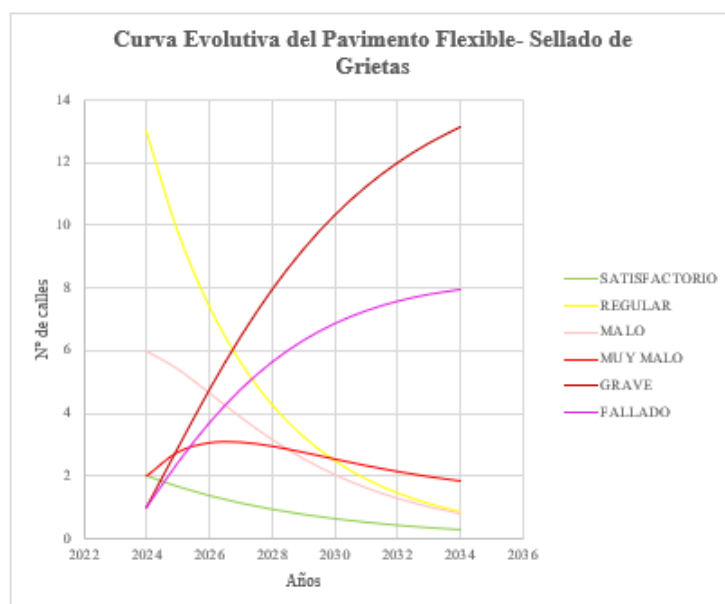
a)

CONDICIÓN ACTUAL DE LAS VIAS 2024	SATISFACTORIO	REGULAR	MALO	MUY MALO	GRAVE	FALLADO
	2	13	6	2	1	1

b)

SELLADO DE GRIETAS								
N. DE AÑOS		SATISFACTORIO	REGULAR	MALO	MUY MALO	GRAVE	FALLADO	TOTAL
ACTUAL	2024	2	13	6	2	1	1	25
1	2025	2	10	5	3	3	2	25
2	2026	1	7	5	3	5	4	25
3	2027	1	6	4	3	6	5	25
4	2028	1	4	3	3	8	6	25
5	2029	1	3	3	3	9	6	25
6	2030	1	3	2	3	10	7	25
7	2031	1	2	2	2	11	7	25
8	2032	0	1	1	2	12	8	25
9	2033	0	1	1	2	13	8	25
10	2034	0	1	1	2	13	8	25

c)



d)

Nota. En la figura 10 se presenta: a) los criterios del autor para la ponderación de los estados evolutivos, b) el estado actual de las vías y estacionamientos en la Ciudadela Los Tamarindos, c) la proyección del estado del pavimento flexible en calles, vías y estacionamientos de la ciudadela a cinco y diez años, utilizando matrices de Markov, y d) la curva evolutiva del pavimento bajo la acción de "Sellado de Grietas".

Figura 11

Proyección de Matrices de Markov "Recapeo"

RECAPEO						
ESTADO	SATISFACTORIO	REGULAR	MALO	MUY MALO	GRAVE	FALLADO
SATISFACTORIO	91%	5%	2%	1%	1%	
REGULAR	0%	87%	8%	3%	2%	
MALO	70%			17%	10%	3%
MUY MALO	27%			65%	5%	3%
GRAVE				30%	60%	10%
FALLADO						100%

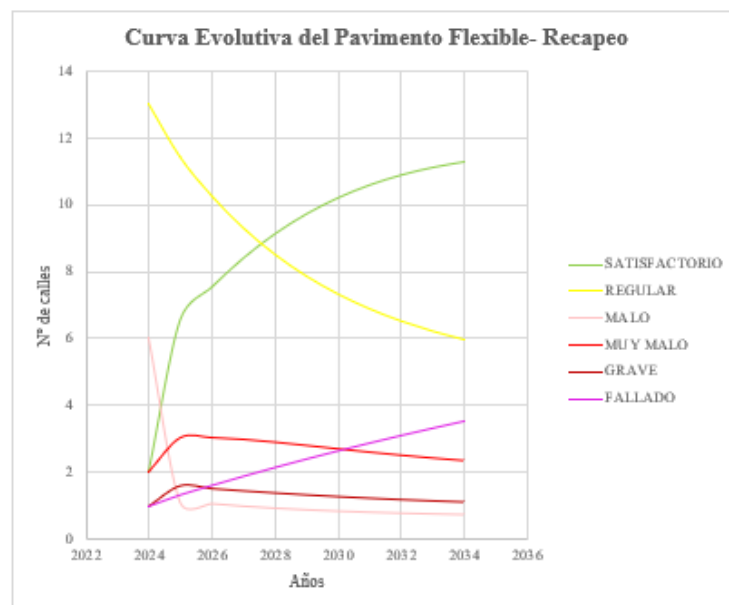
a)

CONDICIÓN ACTUAL DE LAS VIAS 2024	SATISFACTORIO	REGULAR	MALO	MUY MALO	GRAVE	FALLADO
	2	13	6	2	1	1

b)

RECAPEO								
N. DE AÑOS		SATISFACTORIO	REGULAR	MALO	MUY MALO	GRAVE	FALLADO	TOTAL
ACTUAL	2024	2	13	6	2	1	1	25
1	2025	7	11	1	3	2	1	25
2	2026	8	10	1	3	2	2	25
3	2027	8	9	1	3	1	2	25
4	2028	9	9	1	3	1	2	25
5	2029	10	8	1	3	1	2	25
6	2030	10	7	1	3	1	3	25
7	2031	11	7	1	3	1	3	25
8	2032	11	7	1	3	1	3	25
9	2033	11	6	1	2	1	3	25
10	2034	11	6	1	2	1	4	25

c)



d)

Nota. En la figura 11 se muestra: a) los criterios del autor para la ponderación de los estados evolutivos, b) el estado actual de las vías y estacionamientos en la Ciudadela Los Tamarindos, c) la proyección del estado del pavimento flexible en calles, vías y estacionamientos de la ciudadela a cinco y diez años, utilizando matrices de Markov, y d) la curva evolutiva del pavimento bajo la acción de "Recapeo".

Las matrices de Markov nos permiten estimar, con una probabilidad a cinco y diez años, que, si no se lleva a cabo ningún tipo de acción de recuperación o mantenimiento de la capa asfáltica del pavimento, este sufrirá un deterioro gradual con el tiempo. Esta deficiencia se debe a la vida útil del material y a factores como el tráfico vehicular y las condiciones climáticas. De tal manera en los 5 primeros años, se obtiene que 1 tramo se hallará en condición satisfactoria, 3 tramos se mantendrán en condición regular, 2 tramos presentan una

condición mala, 4 tramos se clasifican como muy mala, 9 tramos se encuentran en estado grave y 6 tramos evolucionan a estado fallado.

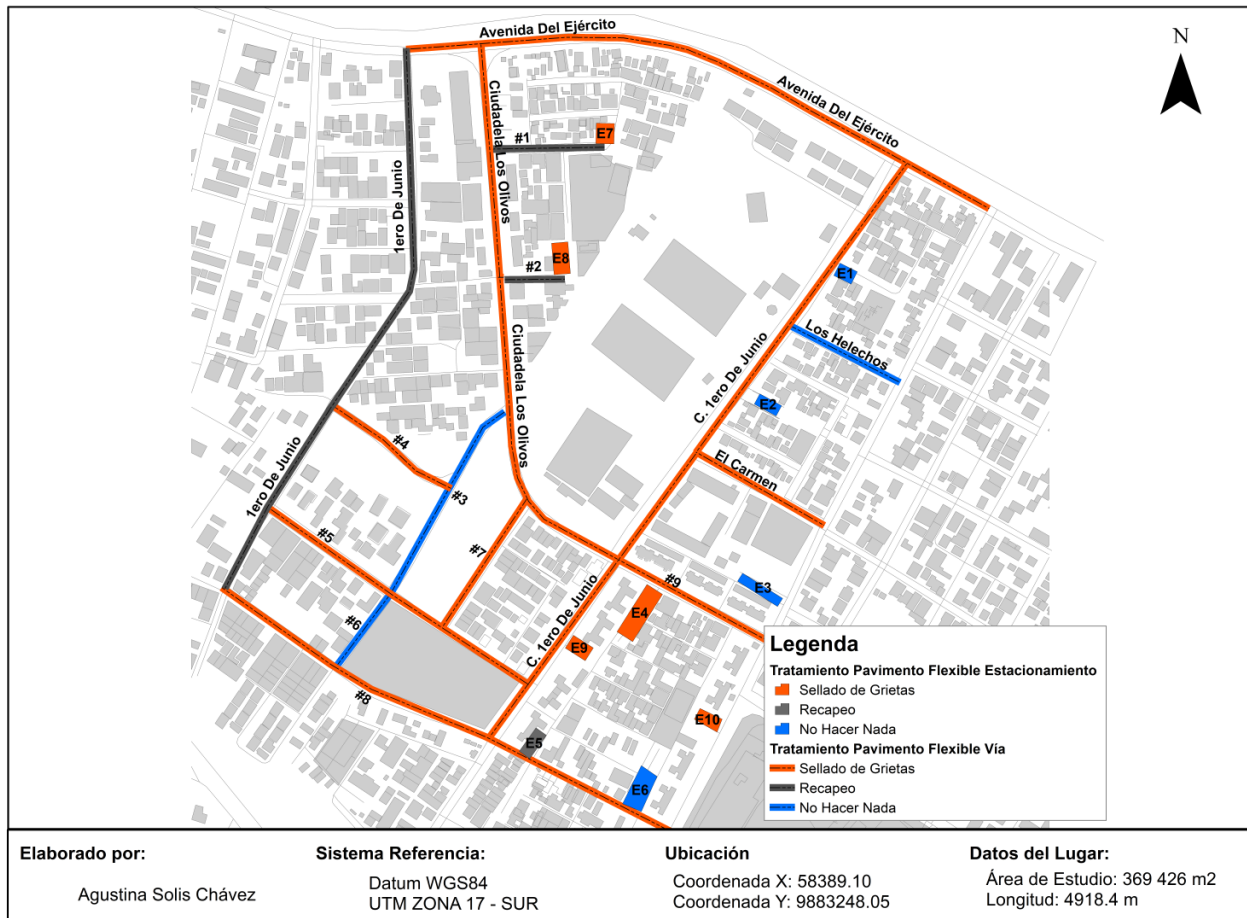
Al considerar los escenarios de reparación y mantenimiento planificados, se obtiene que, si se implementa el método de sellado de grietas, en cinco años se observarán 1 tramo en estado satisfactorio, 3 tramos en estado regular, 3 tramos en estado malo, 3 tramos evolucionarán a estado muy malo, 9 tramos pasarán a estado grave y finalmente 6 tramos en estado fallado.

Por otra parte, al seleccionar el Recapeo como solución, se anticipa una mejora considerable en los próximos 5 años. Se prevé que 10 tramos de las vías estarán en estado satisfactorio, 8 tramos se espera que presenten un estado regular, 1 tramo se proyecta en estado malo, 3 tramos estarán en condición muy mala, 1 tramo alcanzará una condición grave y finalmente, 2 tramos se encontrarán en estado fallido.

A partir de los datos analizados y evaluados, se optó por implementar un sistema de mantenimiento y reparación en la Ciudadela Los Tamarindos, con el fin de prolongar la vida útil de las carreteras y estacionamientos. Este enfoque está orientado a garantizar la comodidad de los residentes y usuarios de estos tramos de carpeta asfáltica, tal como se muestra en la Figura 12.

Figura 12

Sistema de mantenimiento y reparación de la Ciudadela Los Tamarindos



Nota. La figura 12 presenta el mapa creado en ArcGIS, el cual expone la propuesta basada en los datos numéricos cuantificables sobre el mantenimiento y reparación de las vías, calles y estacionamientos de la Ciudadela Los Tamarindos.

La clasificación y selección de las vías y calles a intervenir en el proyecto de mantenimiento y reparación de la Ciudadela Los Tamarindos se basó en cinco criterios, los cuales se ponderaron, considerando los siguientes factores:

1. El índice numérico del pavimento, que varía de 100 a 0, donde 100 indica una condición excelente y disminuye gradualmente, basado en la evaluación previamente realizada.

2. La valoración realizada por expertos, quienes tomaron en cuenta el mismo índice previamente citado, apoyándose en criterios relacionados con la infraestructura vial, clasificó las condiciones en diferentes categorías: excelente con 100 puntos, muy buena con 80 puntos, buena con 70 puntos, regular con 60 puntos, mala con 40 puntos, muy mala con 20 puntos y fallida con 10 puntos.

3. La percepción de los residentes y usuarios habituales del área se obtuvo mediante encuestas de satisfacción cuyo modelo se encuentra en el Anexo B, en las que se les preguntó sobre el estado de las vías. Las respuestas se clasificaron de la siguiente manera: si los encuestados consideran que la vía no necesita reparaciones, se le otorgan 100 puntos, indicando en buen estado y no requiere reparaciones urgentes; si se encuentra en estado regular, se asignan 50 puntos; para las vías en estado malo, se les otorgan 25 puntos; y si la vía es intransitable, recibe solo 5 puntos.

4. La relevancia de cada vía de la Ciudadela Los Tamarindos donde se evalúa la importancia estratégica de la vía dentro de la red vial. Considera que si conecta zonas residenciales con áreas comerciales, industriales, educativas o si es una vía principal o secundaria los puntajes serán: No Conecta puntos estratégicos 100 puntos, Regular 50 puntos, Conecta puntos estratégicos recibe un puntaje de 25 puntos.

5. La calidad de la señalización y los problemas de seguridad vial presentes en la vía. Las vías serán calificadas de acuerdo con los siguientes criterios: aquellas con excelente señalización recibirán 100 puntos, las vías con señalización buena recibirán 60 puntos, aquellas en que la señalización sea regular se puntuará con 30 puntos y finalmente, las vías que no cuenten con señalización y presenten graves problemas de seguridad vial obtendrán 10 puntos.

En la Tabla 4 se presenta la propuesta de jerarquización y priorización de todas las vías y calles de la ciudadela Los Tamarindos.

Tabla 4

Jerarquización y priorización de las vías y calles de La Ciudadela Tamarindos

Nombre de la vía/tramo	Factores considerados para Jerarquización y Priorización					Valor numérico de Jerarquización (100 pts)	Orden prioritario de intervención
	0.6	0.1	0.1	0.1	0.1		
	1	2	3	4	5		
Avenida del Ejército	51	60	50	25	60	50.1	7
1.ero de Junio	28	10	5	25	10	21.8	3
C. 1.era de Junio	60	60	50	25	60	55.5	11
C. Ciudadela Los Olivos	63	60	50	25	60	57.3	12
Los Helechos	66	60	50	100	30	63.6	14
El Carmen	60	60	50	50	30	55	10
Tramo #1	11	10	5	100	30	21.1	2
Tramo #2	8	10	5	100	10	17.3	1
Tramo #3	74	60	50	50	10	61.4	13
Tramo #4	51	40	25	50	10	43.1	5
Tramo #5	50	40	25	50	10	42.5	4
Tramo #6	68	60	50	100	30	64.8	15
Tramo #7	63	60	25	50	30	54.3	9
Tramo #8	62	60	50	25	30	53.7	8
Tramo #9	53	40	25	25	60	46.8	6

Nota. La Tabla 4 muestra la ponderación numérica de los datos evaluados sobre las vías y calles de la Ciudadela Los Tamarindos, destacando el orden jerárquico de las intervenciones. Este orden establece las prioridades de mantenimiento y reparación, con base en la gravedad y necesidad de atención de cada vía o calle.

La jerarquización y priorización de los estacionamientos a intervenir se realizó utilizando los mismos factores empleados en la evaluación de las vías, centrándose en la satisfacción y condición del estacionamiento. Este proceso incluyó la evaluación de la seguridad del área, considerando aspectos como la iluminación, la señalización y la presencia de cámaras de seguridad. Además, se tuvo en cuenta la importancia del estacionamiento en relación con su ubicación, así como la opinión de los usuarios, la cual fue obtenida a través de encuestas. De este modo, se estableció un orden de priorización que se ilustra en la Tabla 5.

Tabla 5*Jerarquización y priorización de los estacionamientos de La Ciudadela Tamarindos*

Nombre del estacionamiento	Factores considerados para Jeraquización y Priorización					Valor numérico de Jeraquización (100 pts)	Orden prioritario de intervención
	0.6	0.1	0.1	0.1	0.1		
	1	2	3	4	5		
Estacionamiento #1	68	60	50	25	10	55.3	7
Estacionamiento #2	67	60	50	25	10	54.7	6
Estacionamiento #3	66	60	50	50	10	56.6	9
Estacionamiento #4	57	60	50	25	30	50.7	4
Estacionamiento #5	26	20	25	50	10	26.1	1
Estacionamiento #6	73	60	50	50	10	60.8	10
Estacionamiento #7	42	40	25	100	10	42.7	2
Estacionamiento #8	53	40	25	100	10	49.3	3
Estacionamiento #9	60	60	50	25	60	55.5	8
Estacionamiento #10	59	60	50	50	10	52.4	5

Nota. La Tabla 5 muestra la ponderación numérica de los datos evaluados sobre los estacionamientos de la Ciudadela Los Tamarindos, destacando el orden jerárquico de las intervenciones. Este orden establece las prioridades de mantenimiento y reparación, con base en la gravedad y necesidad de atención de los estacionamientos.

Para obtener el resultado numérico, se consideró que el tramo o estacionamiento con el menor puntaje será el prioritario, mientras que aquel con el puntaje más alto ocupará la última posición en el orden de priorización. Se estableció el siguiente esquema de ponderación:

1. La evaluación del PCI se contará como el 0.60 de la calificación final.
2. La valoración realizada por expertos representará un 0.10.
3. La relevancia de la vía también obtendrá un puntaje de 0.10.
4. La percepción de los usuarios y residentes se asignará un 0.10.
5. La calidad de la seguridad vial se considerará con un 0.10.

Discusión

Los resultados revelaron que las secciones de calles y vías presentan un valor PCI de 51, considerado como estado malo, mientras que los estacionamientos están en condición regular con un índice de 57. Por lo tanto, podemos afirmar que la Ciudadela Los Tamarindos se encuentra en estado malo, con un índice general de 54, según la tabla de rangos PCI, no obstante, el crecimiento demográfico y comercial de la zona genera la necesidad imperiosa de implementar medidas de mantenimiento preventivo con el fin de evitar un deterioro acelerado en el futuro cercano, aumentando la presión sobre la mejora de sus infraestructuras viales. El método PCI, clasificó las fallas del pavimento según su tipo y severidad, y permitió en este estudio proyectar su desgaste a lo largo del tiempo mediante matrices de Markov, a cinco y diez años, tanto en un escenario sin mantenimiento como en uno donde se implementan acciones rutinarias de conservación.

Estos hallazgos están en línea con investigaciones previas realizadas en la ciudad de Portoviejo como es el trabajo investigativo de Palma, Magrovejo, & Abreu (2023), donde los resultados proyectados en el primer corte de 5 años, mediante la aplicación de matrices de Markov, se obtuvo una correlación directamente proporcional: a mayor paso de los años, mayor es el desgaste del pavimento.

En la implementación de sistemas de gestión en ciudades con presupuestos limitados para la evaluación del deterioro vial, se realizaron comparaciones con otros estudios, como el de Túpac & Ochoa (2017). Este análisis mostró que existe una relación clara entre los métodos de evaluación utilizados y los recursos económicos disponibles. Para municipalidades con presupuestos reducidos, se identificó que el método más efectivo es el cálculo de la condición vial utilizando el estándar D6433.

En relación con el estudio de Palma, Magrovejo y Abreu (2023), se compararon los hallazgos obtenidos, destacando la importancia de las matrices de probabilidad de transición Markovianas. Estas matrices, al ajustarse en dimensiones según las necesidades, permitieron clasificar la condición de los pavimentos en función de los tratamientos disponibles para la rehabilitación y el mantenimiento. Esta ventaja se aplicó también en el sistema de gestión propuesto para la ciudadela Los Tamarindos, donde se ajustaron las dimensiones de las matrices de probabilidad de transición de acuerdo con el Manual PCI de Vázquez (2024). Además, se catalogó la salud vial en función del número de mantenimientos disponibles en Portoviejo, tales como el sellado de grietas, el recapeo y la opción de no realizar ningún mantenimiento.

En términos de jerarquización y priorización, el presente trabajo presenta los resultados basados en cinco criterios, tanto de autores como de la comunidad, logrando ajustar de la mejor manera la decisión de intervención a la realidad de la Municipalidad de Portoviejo y su base de datos, así como la información disponible. Además, la herramienta de jerarquización y priorización propuesta permite ponderar la aportación de cada criterio (con un puntaje de 0 a 100 puntos) en función de la disponibilidad de datos y del criterio técnico del personal encargado del mantenimiento. Este enfoque es consistente con estudios similares, como los realizados por Palma, Magrovejo y Abreu (2023).

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) facilita la visualización y comprensión tanto de la situación actual como de las proyecciones futuras del pavimento, optimizando así la planificación de intervenciones de manera ordenada y efectiva.

Este estudio tiene el propósito de brindar una solución técnica específica a los desafíos viales de la ciudadela Los Tamarindos, al tiempo que busca motivar a la comunidad académica, profesionales del sector y entidades municipales en Ecuador a incorporar

metodologías como el Índice de Condición del Pavimento (PCI). El empleo de esta herramienta es clave para una planificación óptima del mantenimiento vial. De esta forma, se capacita a los gestores públicos para priorizar intervenciones, maximizando el uso de los recursos disponibles con un enfoque más estratégico y rentable.

Se les recomienda a las municipalidades abordar el cuidado vial y la salud del pavimento implementando proyectos que no solo mejoren las carreteras, sino que también generen empleo y modernicen los métodos de evaluación del estado de las vías. Es crucial utilizar herramientas cuya eficiencia esté demostrada para diagnosticar la condición actual del pavimento y, con base en ello, seleccionar las soluciones más adecuadas para el resane de la carpeta asfáltica. Además, resulta fundamental jerarquizar correctamente los espacios viales, tomando en cuenta arterias principales, vías secundarias y terciarias, ya que, a menudo, los caminos secundarios fomentan la expansión y el progreso de sectores clave.

Esta investigación servirá como base para futuros estudios relacionados con el Índice de Condición del Pavimento (PCI). Posibles líneas de investigación incluyen: diseño estructural de vías basado en el PCI, planificación urbana según la calidad del pavimento en zonas de media y alta densidad, estrategias de mantenimiento preventivo para alargar la vida útil, evaluación de costos entre reparaciones y rehabilitación completa, y desarrollo de métodos sostenibles para mejorar la durabilidad vial.

Las principales limitaciones para obtener el Índice de Condición del Pavimento en la Ciudadela Los Tamarindos fueron la identificación y medición de las fallas, dadas las condiciones de alto tránsito. Para minimizar inconvenientes, los trabajos se realizaron en horarios de menor flujo vehicular, asegurando la seguridad durante todo el proceso, sin que se registraran incidentes relevantes.

Conclusión

El análisis de las fallas en el pavimento de la ciudadela Los Tamarindos permitió cumplir con el primer objetivo específico, el cual era identificar y clasificar los problemas en las vías según su tipo y severidad. La inspección visual reveló que la falla más frecuente fue la "piel de cocodrilo", representando el 25.18% del total de daños observados. Este tipo de deterioro está estrechamente relacionado con el constante tráfico en la zona, lo que pone en evidencia la necesidad de una intervención inmediata en las áreas de mayor flujo vehicular. Otras fallas notables incluyeron fisuras en bloque (15.89%) y fisuras longitudinales y transversales (12.71%), las cuales están ligadas tanto al desgaste natural de los materiales como a las condiciones climáticas de la región.

En cuanto al segundo objetivo, que involucraba la evaluación del estado del pavimento mediante el Método de Índice de Condición del Pavimento (PCI), se inspeccionaron un total de 87 tramos, abarcando calles y estacionamientos. Los resultados fueron reveladores: solo 2 tramos se encontraban en estado satisfactorio, mientras que la mayoría se catalogaron en condiciones regulares o malas, lo que demuestra la urgencia de implementar estrategias de mantenimiento adecuadas para prevenir un deterioro mayor.

Las proyecciones realizadas a cinco y diez años, utilizando el método de Markov, también dejaron claro el impacto de diferentes estrategias de mantenimiento en su primer corte. Si se opta por el sellado de grietas, se espera que el estado de las vías se deteriore progresivamente, con varios tramos llegando a condiciones muy graves o fallidas. Esto refuerza la necesidad de considerar intervenciones más completas y profundas. Por otro lado, la estrategia de recapeo proyecta una mejora notable en la condición de las vías, con 10 tramos que se mantendrían en un estado satisfactorio tras cinco años. Este hallazgo subraya la importancia de priorizar esta opción dentro de las políticas de conservación vial.

En relación con el tercer objetivo, que buscaba desarrollar una propuesta de mantenimiento y conservación, se diseñó una intervención priorizada, enfocada en las vías más deterioradas y relevantes. Este enfoque asegura una gestión eficiente de los recursos y maximiza el beneficio para la comunidad. Además, la incorporación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) facilitó una representación visual clara y efectiva del estado actual del pavimento, mejorando la planificación y monitoreo de las futuras intervenciones.

Finalmente, este trabajo ha permitido identificar claramente las fallas más importantes en el pavimento de la ciudadela Los Tamarindos, así como evaluar su estado actual y proyectar su evolución en el tiempo. La propuesta de mantenimiento desarrollada ofrece una guía práctica para la gestión vial, que, si es implementada de manera adecuada, no solo mejorará la funcionalidad de las vías, sino que también reducirá significativamente los costos de rehabilitación a largo plazo. La intervención oportuna es crucial para evitar un mayor deterioro, garantizando así la seguridad y durabilidad de las infraestructuras viales en la zona.

Bibliografía

Angulo, J. (2019). Sistema de Gestión De Pavimentos utilizando el software ARCGIS para la conservación de pavimentos de las vías locales principales del distrito de los Baños del Inca– Cajamarca. Obtenido de Repositorio Institucional Universidad San Martín de Porres: <https://repositorio.usmp.edu.pe/handle/20.500.12727/6575>

ASTM International. (2023). Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys. Obtenido de ASTM: D6433– 23

Atalaya, R. (2020). Sistema de gestión de pavimentos basado en el modelo estocástico probabilístico para la asignación de los recursos económicos destinados a la conservación de pavimentos en la carretera Conococha - Huaraz, 2018. Obtenido de Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo: <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3355061>

Bedoya, J., & Barrera, M. (2006). Convergencia de las cadenas de Markov. Obtenido de Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84911652014>

Bustamante, A. (2018). Diseño de un sistema de gestión de infraestructura vial sustentable en la Municipalidad de Gualaceo. Obtenido de Repositorio institucional Universidad de Cuenca: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/31420>

Cárdenas Resines , C. L., Carrillo Sinche, J. L., Izarra Vargas, A. D., Murga Tirado, C. E., & Vásquez Salazar, A. G. (2023). Herramientas tecnológicas de evaluación de fallas en la superficie de pavimento flexible, una revisión sistemática. *Llamkasun*, 4(2), 10–23. <https://doi.org/10.47797/llamkasun.v4i2.121>

Carpio, F. (2017). Sistema institucional para la gestión de estrategias de planificación y conservación de caminos rurales en la provincia del Azuay. Obtenido de Repositorio Institucional Universidad de Cuenca: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28465>

Chávez, M. (2 de Noviembre de 2024). Entrevista sobre el estado actual de la Ciudadela Los Tamarindos. (A. Solís, Entrevistador)

Elhadiby, A., El-Badawy, S., & Elbeltagi, E. (2019). A simplified pavement condition index regression model for pavement evaluation. . Obtenido de International Journal of Pavement Engeneering:

https://www.researchgate.net/publication/334285379_A_simplified_pavement_condition_index_regression_model_for_pavement_evaluation

Fernández, H., Ruiz, P., & Guerrero, D. (2020). Propuesta de motología para la evaluacaión de pavimentos mediante el índice de condición del pavimento PCI. Obtenido de Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181358738015>

Gómez, J., & Delgado, D. (2022). El congestionamiento vehicular, análisis y propuesta de solución: intersección semaforizada entre avenidas américa y reales tamarindos, Portoviejo, Ecuador. Obtenido de Universidad Técnica de Ambato: <https://revistas.uta.edu.ec/erevista/index.php/dide/article/view/1732/1576>

Idrovo, J. (2022). Gestión sostenible del pavimento rígido y flexible de las principales calles de la cabecera cantonal de Biblián – provincia del Cañar (Master's thesis). Obtenido de Repositorio Institucional de la Universidad de Cuenca: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/40261>

Jiménez Serpa, J. C., & Salas Rondón, M. H. (2017). Aplicación de modelos econométricos para estimar la aceptabilidad de una tasa por congestión vehicular. IngeCuc.

Mogrovejo, D., & Guzmán, G. (2017). Gestión sostenible del pavimento flexible, rígido y articulado del centro urbano del Cantón Girón. Obtenido de Publicaciones

Universidad de Cuenca:

<https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/article/view/1980/1413>

Ochoa, L., Cotes, C., & Solis, G. (2023). *Guía metodológica de planificación estructural de pavimento rígido en las vías urbanas del municipio de Villanueva, La Guajira*.

Obtenido de Universidad de la Guajira:

<https://repositoryinst.uniguajira.edu.co/entities/publication/225ca938-3d27-4a87-b975-af49a3095f91>

Palma, T., Magrovejo, D., & Abreu, D. (2023). Sistema De Gestión De Pavimentos Basado En El Empleo De Un Sistema De Información Geográfica. Obtenido de Revista Ciencia y Construcción: <https://rcc.cujae.edu.cu/index.php/rcc/article/view/169/124>

Pattillo, B. (1988). Consideraciones generales sobre diseño de pavimentos asfálticos Pág. 94 –110. Obtenido de Portal de revistas Pontificia Universidad Católica de Chile: <https://ojs.uc.cl/index.php/ric/article/view/18025/14945>

Salazar, L., & Chicoma, F. (2024). *Evaluación de fallas en el pavimento flexible aplicando la metodología PCI, en avenida Chiclayo, distrito José Leonardo Ortiz*. Obtenido de Universidad Señor de Sipán: <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/13024>

Silva, A., & Gualdrón, D. (2017). Sistema de gestión de pavimentos flexibles, basado en sistema de información geográfica. Obtenido de Repositorio Institucional Pedagógica y Tecnológica de Colombia: <https://librosaccesoabierto.uptc.edu.co/index.php/editorial-uptc/catalog/download/144/175/3167?inline=1>

Taha, Investigación de Operaciones, México: Novena Edición, 2012.

Túpac, E., & Ochoa, D. (2017). Optimización de recursos económicos en la conservación de pavimentos rurales de tercera clase utilizando un sistema de gestión de

pavimentos basado en el método estocástico - probabilístico. Obtenido de Repositorio
Universidad San Ignacio de Loyola: <https://repositorio.usil.edu.pe/handle/usil/2854>

Vásquez, R. (Febrero de 2024). Índice de Condición del Pavimento.