



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

MANABÍ

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR SEDE
MANABÍ
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE TITULACIÓN

EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO DE LA AVENIDA OLÍMPICA Y
CALLES TRANSVERSALES DE PORTOVIEJO MEDIANTE EL MÉTODO
PCI.

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
INGENIERO CIVIL**

ESTUDIANTE
DANNY ALBERTO COBO INTRIAGO

TUTOR
ING. FABIÁN RODRIGO ESPINALES CEDEÑO, MGTR.

PORTOVIEJO, ENERO 2026

Certificado de tesis

Ing. Fabián Rodrigo Espinales Cedeño, 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) _____
Ing. Fabián Rodrigo Espinales Cedeño, Mgtr.

C.I 130659765-7

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) _____
Ing. Fabián Rodrigo Espinales Cedeño, Mgtr.
Primer lector

(F) _____
Ing. María Tatiana Ordoñez Zambrano, Mgtr.
Segundo lector

(F) _____
Ing. Jorge Marconi Cevallos Zambrano, 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) _____

Danny Alberto Cobo Intriago
C.I. 1311459760
Dirección: Cdla. Luz de América Urb. Jardines del Norte Correo
electrónico: dcobo9760@pucesm.edu.ec
Celular: 0995802061

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) _____

Danny Alberto Cobo Intriago 1311459760

Dedicatoria

Quiero dedicarle este nuevo logro obtenido en mi vida a nuestro Señor Dios Todopoderoso, por haberme llenado de fuerza, valor y sabiduría, para poder superar todos los desafíos y metas que se generaron en el camino de mi carrera universitaria que me dio el valioso conocimiento para poder obtener mi título profesional.

Esta tesis está dedicada a mi querida familia a mis hijos Dayra, Daniela y Sebastián a mi amada esposa Ginger Ube que fueron y serán mi inspiración día a día para salir adelante y superar todas las adversidades de mi vida.

Una mención especial a mi familia a mis padres Richard Cobo y Janeth Intriago por confiar siempre en mí y brindarme su apoyo en los momentos más complicados en mi vida, así mismo a mis hermanos Richard y a mi hermana Geovanna Cobo por brindarme siempre su apoyo incondicional

Una mención especial para mis seres queridos que por situaciones de la vida no podrán estar junto a mí compartiendo este momento tan importante en mi vida pero que sepan que siempre estarán en mi corazón todos en especial mi querida Tía Fanny que ha sido mi Ángel Guardian que me ha acompañado en todo momento.

Agradecimientos

Agradezco siempre a Dios y todos los Ángeles que están junto a mí en todo momento ayudándome a superar todos los obstáculos que se presentaron a lo largo de la carrera Universitaria y dándome la sabiduría para adquirir los conocimientos necesarios y lograr esta meta.

Doy mi sincera gratitud a la Pontificia Universidad Católica Del Ecuador que es la institución en donde me he formado y adquirido los conocimientos de nuestros docentes y he formado vínculos de amistad con compañeros que serán para toda la vida.

Agradecer a mis amigos profesores que han puesto de una u otra forma un granito de arena en mi formación, a mi tutor de tesis el Mgtr Espinales lo más néctar por su amabilidad y paciencia y al ingeniero Jesús Chavarría por su guía brindada, No menos Importante agradecer al Ing. Yandry Vélez Ing. Claudio Ross y Ing. Jimmy Reyes por ayudarme a encontrar respuestas adecuadas a mis obstáculos.

Extiendo mi más sincero Agradecimiento a mi Amigo el Ingeniero Carlos Intriago y al Ingeniero Palma Pin que dedicaron horas de su valioso tiempo para capacitarme, brindarme sus conocimientos en campo y experiencia para realizar de la mejor manera el proyecto, sin su ayuda esto no sería posible, y a mis compañeros Andrés Bermello y la Ing. Agustina Solís que de una u otra manera contribuyeron a lograr esta meta.

Finalmente, agradezco a mi Familia siempre por su apoyo incondicional y amistades que me dieron soporte y me extendieron su mano amiga son muchos los que me han ayudado a lo largo de esta investigación y mi carrera como son Miguel, Bryan, Jimmy, Andrés, Elian, Carlos, Mathews, Frank, Melissa a todos mis compañeros que me han brindado su mano amiga a lo largo de este arduo camino.

Resumen

La valoración e inspección del estado del pavimento es un aspecto clave en la planificación del mantenimiento vial de cualquier carretera, esta investigación tiene como objetivo estudiar el deterioro y el estado actual del pavimento de la calle Olímpica y sus transversales en Portoviejo, mediante la práctica del método del PCI (Índice de Condición del Pavimento) y la importancia de su comportamiento futuro utilizando una plantilla probabilística como lo es la matriz de Markov. Para ello, se realizó un levantamiento visual detallado de los deterioros existentes en las superficies de rodadura, siguiendo los lineamientos establecidos por la norma ASTM D6433-20. Mediante los datos recopilados se permitió realizar el cálculo del método de PCI para cada tramo de la vía en el estudio, clasificando el estado del pavimento en rangos que van desde “Excelente” hasta “Fallo”. Posteriormente, se empleó una matriz de transición de Markov para estimar la evolución del deterioro a lo largo del tiempo, lo que permitió simular diferentes escenarios de mantenimiento y su impacto en la vida útil del pavimento. Los resultados obtenidos evidencian que un porcentaje significativo de los tramos evaluados se encuentran en condiciones regulares a malas, lo que justifica la necesidad de intervenciones oportunas. Asimismo, se concluye que el uso conjunto del método PCI y la matriz de Markov es una herramienta eficaz para la planificación del mantenimiento vial y la toma de decisiones en la gestión de infraestructura urbana.

Palabras clave: Matriz de Markov, mantenimiento, PCI, pavimento, norma.

Abstract

The assessment and inspection of pavement condition is a key component in the planning of road maintenance for any roadway. This study aims to analyze the deterioration and current condition of the pavement on Olímpica Street and its adjacent roads in Portoviejo through the application of the Pavement Condition Index (PCI) method and the projection of its future behavior using a probabilistic model based on a Markov transition matrix. To achieve this, a detailed visual survey of existing distresses on the road surface was conducted in accordance with the guidelines established in ASTM D6433-20. The data collected enabled the calculation of the PCI for each road segment under study, allowing the pavement condition to be classified within ranges from “Excellent” to “Failed.” Subsequently, a Markov transition matrix was applied to estimate the progression of pavement deterioration over time, allowing the simulation of different maintenance scenarios and their impact on pavement service life. The results show that a significant proportion of the evaluated segments are in fair to poor condition, highlighting the need for timely maintenance interventions. Furthermore, the study concludes that the combined use of the PCI method and Markov matrices constitutes an effective tool for road maintenance planning and decision-making in urban infrastructure management.

Keywords: Markov matrix, maintenance, PCI, pavement, standard.

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
Agradecimientos	vii
Resumen	viii
Abstract.....	ix
Introducción.....	14
Objetivos.....	18
Objetivo General	18
Objetivos Específicos	18
Metodología de la investigación Características de la investigación	19
Contexto geográfico del estudio.....	19
Tabla 1	20
Tramos Evaluados en la zona	21
Índice de Condición del Pavimento (PCI).....	21
Tabla 2	22
En donde:.....	23
Valor Deducido PCI (Deduct Value).....	24
En donde:.....	24
Línea de Deducción PCI.....	24
Método Predictivo Matriz de Markov	26

En donde:.....	27
Etapas del modelo Markov	27
Clasificación y determinación de los tramos.....	28
Herramientas de levantamiento de datos.....	29
Sistema de Georreferenciación aplicado a la gestión de pavimentos (SIG).....	29
Levantamiento de datos en campo	29
Análisis de Datos	30
Resultados.....	33
Discusión	41
Conclusión	43
Bibliografía.....	45
Trabajos citados	46
Anexos.....	50

Índice de tablas

Tabla 1.....	20
Tabla 2.....	22
Tabla 3.....	28

Índice de figuras

Ilustración 1: Mapa de ubicación de la Avenida Olímpica en ArcGIS.....	20
Ilustración 2: Demostración del Método PCI.....	31
Ilustración 3: Resultados del Método PCI.....	31
Ilustración 4: Porcentaje de fallas en las calles estudiadas.....	33
Ilustración 5: Valor numérico PCI de cada calle estudiada.....	34
Ilustración 6: Estados de las calles de la Avenida Olímpica.....	35
Ilustración 7: Tipo de intervención en las calles de la Avenida Olímpica.....	36
Ilustración 8: Calles sin Intervención.....	36
Ilustración 9: Condición del pavimento en proyecciones futuras.....	37
Ilustración 10: Estados de las calles de la Avenida Olímpica.....	37
Ilustración 11: Estado de las Calles de la Avenida Olímpica con un rebacheo.....	37
Ilustración 12: Proyeccion de las calles de la Avenida Olímpica con un rebacheo.....	38
Ilustración 13: Proyección de las calles de la Avenida Olímpica con el rebacheo.....	38
Ilustración 14: Estado de las calles de la Avenida Olímpica con un bacheo	
Ilustración 15: Proyección de las calles de la Avenida Olímpica con un bacheo.....	39
Ilustración 16: Estado de las calles de la Avenida Olímpica después del bacheo.....	39

Introducción

El estado de la infraestructura vial es un factor clave para asegurar la movilidad urbana, la seguridad vial y el desarrollo económico sostenible de una ciudad. Urbanamente, esto se puede observar en el caso de Portoviejo, la ciudad capital de la provincia de Manabí. El deterioro gradual del pavimento está generando una preocupación constante entre los usuarios y los funcionarios responsables de la planificación y mantenimiento de las vías, quienes no saben qué hacer. En particular, la Avenida Olímpica y sus cruces son un eje de alto tránsito, cuyas condiciones actuales requieren de una evaluación técnica rigurosa que permita conocer su estado y proyectar su comportamiento futuro con base en metodologías científicamente reconocidas.

En las últimas décadas se han desarrollado diversos índices para medir el estado del pavimento. Entre ellos, se encuentra el Índice de Estado del Pavimento (PCI), introducido por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos y el que mejor cumple con los requisitos de la norma ASTM D6433. Este índice se basa en inspecciones visuales que determinan los diversos tipos de daños en la carretera, que pueden ser los factores principales para la adopción de un valor numérico que va de 0 (estado defectuoso) a 100 (estado excelente). El método PCI ha demostrado ser una herramienta adecuada e imparcial para la programación del mantenimiento y la restauración de carreteras (Pérez et al., 2024).

El uso del PCI en pavimentos urbanos como los de la Avenida Olímpica es muy relevante en el caso de la alta densidad de tráfico y las condiciones ambientales que provocan el deterioro acelerado del pavimento. Estudios recientes han demostrado que la implementación de modelos predictivos basados en el PCI, como las cadenas de Markov, no solo permite evaluar el estado actual del pavimento, sino que también permite pronosticar su cambio futuro en diferentes escenarios de uso y mantenimiento (Radwan et al., 2025; Andrade et al., 2021).

Estos modelos proporcionan una base sólida para la toma de decisiones estratégicas y, por lo tanto, ayudan a ahorrar recursos financieros y a priorizar las intervenciones según el nivel de deterioro previsto.

El problema radica en que, si bien las ciudades cuentan con herramientas como PCI y modelos predictivos, muchas, especialmente en Latinoamérica, no implementan sistemáticamente estas metodologías para el diagnóstico y la gestión de sus redes viales.

Esto genera una gran cantidad de daños acumulados que podrían haberse reducido con acciones preventivas o correctivas oportunas, lo que a su vez incrementa los costos de rehabilitación y disminuye la calidad del transporte urbano (Radwan et al., 2024). En Portoviejo, no existen registros actualizados ni sistemáticos del estado de las carreteras, lo que impide planificar adecuadamente el mantenimiento vial, lo que además afecta negativamente la movilidad urbana.

El uso del método PCI junto con un modelo predictivo como la Matriz de Markov permite resolver el problema de forma integral. El método PCI proporciona una imagen precisa del estado de la superficie de la carretera, mientras que la Matriz de Markov proporciona un pronóstico probabilístico de su deterioro a lo largo del tiempo, considerando diferentes condiciones iniciales y niveles de intervención. Esta combinación metodológica se ha confirmado en varios artículos como una herramienta eficaz para evaluar la vida útil del pavimento e identificar estrategias de gestión del mantenimiento más eficientes (Hao et al., 2025; Andrade et al., 2021).

La justificación de este estudio se basa en la urgente necesidad de herramientas técnicas y científicas que permitan a las autoridades locales de Portoviejo tomar decisiones basadas en hechos sobre la gestión de su infraestructura vial. Evaluar el estado actual del pavimento de la Avenida Olímpica y las calles que la intersecan, representa una gran oportunidad para establecer

políticas de mantenimiento preventivo, distribuir fondos de forma más adecuada y mejorar la calidad del transporte urbano. Además, este tipo de diagnóstico contribuye a la reducción de la probabilidad de accidentes automovilísticos causados por fallas estructurales en el pavimento, lo que representa un paso hacia una mayor seguridad para conductores y peatones (Perri et al., 2025).

Diversos estudios han demostrado la efectividad del modelo de Markov en la gestión de infraestructuras viales. Este enfoque probabilístico estima la transición de estados de condición del pavimento en función del tiempo, tomando como base su condición actual y ciertas condiciones externas como el tráfico o el clima (Radwan et al., 2025). La versatilidad del modelo permite simular diferentes escenarios de intervención, desde la opción de "no hacer nada" hasta la aplicación de acciones preventivas como el bacheo o el recapeo, lo cual ofrece a los responsables municipales una visión integral del deterioro potencial de cada tramo vial y les permite planificar con anticipación y eficiencia los trabajos necesarios (Hao et al., 2025).

En países latinoamericanos, la adopción sistemática de modelos de predicción aún es limitada, lo que dificulta una gestión eficiente de las redes viales. La falta de registros históricos y de datos técnicos impide implementar programas de mantenimiento basados en evidencia, lo que a su vez genera sobrecostos y reduce la vida útil de las infraestructuras (García et al., 2019). En el caso de Portoviejo, las autoridades locales aún no cuentan con una herramienta metodológica clara para prever el deterioro del pavimento, lo que hace urgente la incorporación del modelo de Markov en conjunto con el PCI para desarrollar estrategias preventivas y sostenibles (Cobo Intriago, 2025).

Finalmente, es importante mencionar que la implementación de métodos como PCI y Matrices de Markov no solo mejora la gestión técnica de las carreteras, sino que también se ajusta a los principios de sostenibilidad urbana. La optimización de recursos, la priorización de

intervenciones y la reducción del impacto ambiental asociado a la eliminación de obras innecesarias son solo algunos de los elementos de una nueva visión de la ingeniería vial que busca ciudades más resilientes y eficientes (Radwan et al., 2024; Pérez et al., 2024). Por lo tanto, el presente estudio se sitúa en el epicentro de un movimiento global que impulsa el uso de tecnologías y modelos predictivos para revolucionar la forma en que se inspecciona y mantiene la infraestructura urbana.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar el estado actual del pavimento de la Avenida Olímpica y sus calles transversales en Portoviejo y predecir su evolución en un periodo de 5 años aplicando el método PCI en conjunto con el modelo predictivo Matriz de Markov.

Objetivos Específicos

Diagnosticar el estado físico actual del pavimento de la Avenida Olímpica y sus calles transversales que conectan con la Avenida del Ejército mediante inspecciones visuales detalladas, aplicando la metodología del Índice de Condición del Pavimento (PCI) conforme a la norma ASTM D6433.

Clasificar los tipos y niveles de deterioro presentes en los tramos evaluados, estableciendo categorías de condición del pavimento que permitan la identificación de los sectores con mayor necesidad de intervención.

Aplicar el método Matriz de Markov para obtener información sobre la vida útil del pavimento y obtener una predicción efectiva a futuro.

Proponer estrategias de mantenimiento vial adecuadas a las condiciones detectadas, priorizando la conservación preventiva y correctiva de los tramos críticos para la optimización de recursos y la mejora de la seguridad y funcionalidad de la infraestructura urbana.

Metodología de la investigación

Características de la investigación

Se llevó a cabo una investigación que emplea un enfoque combinado que utiliza métodos cualitativos y cuantitativos para una evaluación integral del estado actual del pavimento, en este caso en la zona de la Avenida Olímpica y sus transversales que conectan con la Avenida del Ejército en la ciudad de Portoviejo, aplicando la norma ASTM D6433-23.

Su diseño metodológico es descriptivo y no experimental, lo que significa, que, esta práctica cubre la determinación de las carreteras y estacionamientos de pavimento a través de encuestas visuales utilizando el método de la condición de pavimento (PCI) método de cuantificación de las condiciones del pavimento. (International, 2024). Esta estrategia es una herramienta eficaz para cumplir los objetivos del proyecto, como el diagnóstico, la clasificación y la propuesta de soluciones técnicas, en función del grado de deterioro detectado durante el estudio de la red vial.

La investigación se centra en el análisis de datos reales del pavimento de la Avenida Olímpica y sus calles transversales que conectan con la Avenida del Ejército para proyectar su evolución mediante el método probabilístico de Markov, utilizando como insumo los resultados obtenidos del método PCI conforme a la norma ASTM D6433 (ASTM International, 2011).

Contexto geográfico del estudio

La investigación se llevó a cabo en la Avenida Olímpica y sus calles transversales que conectan con la Avenida del Ejército, en la ciudad de Portoviejo, provincia de Manabí. Esta avenida es un eje vial principal del tránsito urbano, que está caracterizado por un flujo vehicular alto y una demanda significativa para el mantenimiento. El estudio se focalizó en tramos representativos de la carretera para verificar su estado superficial con el método PCI, con el

objetivo de detectar los deterioros actuales existentes y definir las estrategias adecuadas de conservación y mejora en un futuro.

Ilustración 1:

Mapa de ubicación de la Avenida Olímpica en ArcGIS



Nota. En la Figura 1 se aprecia la zona de la Av. Olímpica en representación a el área de estudio.

Fuente: Elaboración propia con base en el mapa proporcionado por ArcGIS.

Tabla 1

Características geográficas de la zona de estudio

Datos del lugar de estudio	
Longitud	4918.4 m
Área	369426 m ²
Ubicación	Datum: WGS84 UTM zona 17 S
	Coordenada X: 615312.10
	Coordenada Y: 8047075.62

Tramos Evaluados en la zona

En el estudio ejecutado en campo se llegó a la conclusión de que, la Avenida Olímpica y sus calles transversales que conectan con la Avenida del Ejército está constituida en 54 tramos tomadas en secciones de 100 metros, teniendo en cuenta que estos tramos pertenecen a 9 calles estudiadas que están compuestos de carpeta asfáltica o pavimento flexible. De esta manera nos permite desarrollar una investigación más eficaz en respecto a el estado actual del pavimento, porque de esta manera podemos evaluar e inspeccionar de forma detallada cada tramo.

Más adelante, se brindará una interpretación más concreta y detallada en tanto a la metodología que se utilizó en el trabajo de titulación. Se presentarán los recursos y estrategias utilizadas, en conjunto con los criterios que se implementaron para efectuar de manera segura y confiable los resultados obtenidos.

Índice de Condición del Pavimento (PCI)

El Índice de Condición del Pavimento (PCI) es un método estandarizado para determinar el estado de la superficie de las carreteras mediante una inspección visual. Este índice, creado inicialmente por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos y ahora documentado por la norma ASTM D6433-23, describe el estado del pavimento en una escala de 0 a 100, donde 100 es excelente y 0 es completamente deficiente (ASTM D6433-23, 2023). El estudio se basa en el reconocimiento de tipos específicos de síntomas de deterioro, su grado de gravedad (bajo, medio o alto) y su frecuencia relativa en cada unidad de muestreo.

La metodología PCI aplica visual y descriptivamente un enfoque que permite realizar un análisis del estado funcional del pavimento sin utilizar métodos destructivos. Para ello, la superficie se divide en unidades de muestra representativas, generalmente de 2500 pies

cuadrados para pavimentos flexibles, en las que se identifican hasta 20 tipos diferentes de defectos según la normativa (Lu et al., 2025). A cada tipo de deterioro se le asigna un valor de deducción que se modifica, mediante fórmulas específicas, por un valor corregido, a partir del cual se calcula el PCI final restando al valor perfecto (100) el valor corregido más alto encontrado.

Tabla 2

Clasificación del estado del pavimento según el valor del 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. La Tabla 2 muestra los intervalos del Índice de Condición del Pavimento (PCI) y su correspondiente interpretación cualitativa.

Estos rangos permiten categorizar el estado funcional del pavimento, desde condiciones óptimas hasta fallos estructurales, facilitando la toma de decisiones técnicas para el mantenimiento vial conforme a los criterios establecidos por Vásquez (2002).

Una de las significativas cualidades del método PCI es su funcionalidad simple y económica que lo hace ser una herramienta muy popular en la administración del mantenimiento vial, especialmente en los municipios que tienen recursos limitados. Sin embargo, en gran medida, depende de la precisión de la experiencia del inspector y de la formación recibida. Estudios recientes destacan que una formación técnica adecuada puede facilitar una gran disminución en la diferencia de resultados entre varios evaluadores (Li et al., 2025).

En la normativa ASTM D6433, nos brinda que el existe un número mínimo de unidades de muestreo que se realiza mediante el uso de una ecuación que se va a mostrar ahora.

Mediante el uso de esta ecuación podemos apreciar la predicción de datos en el Índice de Condición del Pavimento (PCI) obteniendo un grado de seguridad y confianza del 95% (Vásquez, 2024)

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

En donde:

n: Valor mínimo de unidades de muestras a evaluar.

N: Valor total de unidades de muestreo en los tramos del pavimento.

e: Margen de error permitido en el estimativo del PCI (e= 5%).

σ : Desviación estándar del método PCI entre las unidades.

(Vásquez, 2024) sostiene que durante se realiza el diagnóstico inicial, se asumen las siguientes estimaciones de desviación estándar en el PCI:

- 10 para pavimento asfáltico o pavimento flexible (con un margen PCI=25)
- 15 para pavimento de concreto o pavimento rígido (con un margen PCI=35)

Adicionalmente, es fundamental considerar que, si el número mínimo de unidades a ser estudiadas es menor a cinco ($n < 5$), se debe considerar a evaluar todas las unidades.

Valor Deducido PCI (Deduct Value)

Se comprende que el valor deducido (DV) es una cantidad que expresa la influencia de impacto sobre una falla en específico en la condición general del pavimento.

Para obtener este valor deducido se manejan curvas y tablas para cada tipo de falla identificadas, en donde se tomarán en cuenta el área afectada de la falla y la severidad de la misma. Dicha estimación se comprende a un puntaje máximo equivalente a 100, de esta manera podemos representar que existe un pavimento en excelente estado.

(ASTM, 2004) nos certifica que para obtener el número máximo admisible de valores deducidos (m_i) se logra mediante el empleo de la siguiente ecuación:

$$m_i = 1.00 + \frac{9}{98}(100HDV_i) \quad (2)$$

En donde:

m_i : Valor máximo admisible de valores deducidos.

HDV_i : El valor mayor deducido de manera individual para la unidad de la muestra.

Línea de Deducción PCI

En la metodología ASTM D6433, nos menciona que para cada tipo de falla existe una gráfica de deducción o ábaco predictivo para identificar como se afecta la muestra en base a el puntaje de PCI obtenido y estas aumentan o disminuyen dependiendo del número y de la severidad de las fallas identificadas.

En cada ábaco predictivo, la zona del eje horizontal atribuye al porcentaje de área de la falla estudiada, en cambio en la zona del eje vertical se muestra el valor deducido.

A pesar de su popularidad, el método PCI no está exento de limitaciones. La subjetividad en la identificación y clasificación de los daños puede generar inconsistencias en los resultados, especialmente cuando participan varios inspectores sin un protocolo uniforme. Andrade et al. (2021) han revelado que la variabilidad en la recopilación de datos puede influir significativamente en la precisión de los modelos de predicción del deterioro. Para reducir estos efectos, sugirieron limitar el número de deterioros considerados más representativos mediante el uso de procesos analíticos jerárquicos, lo que, además de simplificar la inspección, aumenta la fiabilidad del índice obtenido.

En la era digital, se han presentado varias soluciones tecnológicas para ayudar al método PCI como el uso de sensores IoT, el aprendizaje automático y los modelos de predicción híbridos. Hao et al. (2025) idearon un modelo de fusión de doble capa (BO-DLFF) basado en redes neuronales y árboles de decisión, que fue optimizado con algoritmos bayesianos. Esta estructura puede conectar la información de los sensores de deformación, las condiciones atmosféricas y el tráfico con el estado del pavimento y así cambiar la predicción del PCI hasta un 92,9% de exactitud en un periodo de ocho años.

Además, el modelo PCI tradicional se ha comparado con otras metodologías alternativas como PASER, VIZIR o el Índice Internacional de Regularidad Vial (IRI). Sin embargo, PCI sigue siendo el más completo gracias a su capacidad para representar el estado de los daños en la carretera, tanto en términos de severidad como de área. Anderson et al. (2021) afirmaron que este método es especialmente adecuado para incorporar características como el tipo de defecto, la intensidad y el número de incidentes, ofreciendo así una visión más completa del estado de la infraestructura. Además, constituye una base ideal para elaborar programas de mantenimiento más precisos, ya que permite distinguir entre los tramos de carretera que solo requieren

mantenimiento preventivo, los que requieren mantenimiento correctivo y los que requieren rehabilitación completa.

La aplicación práctica del PCI implica un proceso de planificación exhaustivo a lo largo de todo el proceso: desde la definición de los tramos a evaluar, la capacitación de los inspectores y la sistematización de datos en plataformas de análisis. Manuales técnicos como el del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (Vásquez, 2002) ofrecen guías paso a paso para todo el proceso. El uso de este enfoque estandarizado en diferentes períodos o regiones permite la comparación, y no solo la administración municipal se beneficia de ello, sino también la toma de decisiones sobre inversiones estratégicas en infraestructura vial.

En definitiva, el método PCI es, sin duda, una herramienta clave en la evaluación técnica del pavimento. Si bien el resultado puede depender de la experiencia del evaluador, la combinación de estos resultados con innovaciones tecnológicas, protocolos de control de calidad y el uso de modelos de predicción avanzados puede aumentar significativamente su precisión y utilidad. El uso sistemático de este método, como eje central de una política integral de mantenimiento vial, no solo permite prolongar la vida útil del pavimento, sino también optimizar recursos y garantizar mejores condiciones de seguridad y confort para los usuarios.

Método Predictivo Matriz de Markov

(Moffatt, 2018) considera que una Matriz de Markov, también conocida como matriz de transición de Markov es una matriz cuadrada que detalla las probabilidades de pasar de un estado a otro dentro de un sistema dinámico, partiendo desde el estado actual sin importar los estados anteriores.

De acuerdo con (Jaiswal, 2024) una matriz de Markov compromete un sistema que se encuentra en un estado específico dado en cada paso, con ese estado cambiando de manera

aleatoria entre los pasos. Una matriz de Markov de tiempo discreto quiere decir que es un proceso de variables probables $X_1, X_2, X_3, \dots$ utilizando la propiedad de Markov, de tal forma que la propiedad que está por pasar a el próximo estado solo dependerá de el estado actual de la propiedad, y no de sus estados anteriores. De esta manera presento la fórmula probabilística matemática:

$$P\left(X_{n+1} = \frac{x_{n+1}}{x_n} = x_n, x_{n-1} = x_{n-1}, \dots, X_2 = X_2, X_1 = X_1\right) = P(X_{n+1} = \frac{x_{n+1}}{x_n} = X_n) \quad (3)$$

En donde:

P: Probabilidad entre transiciones.

X_n : Estado del proceso en el tiempo.

n: Tiempo.

X_i : Estado de la propiedad actual.

Etapas del modelo Markov

Primero, se agrupan los tramos de estudio en rangos de condición definidos por el PCI (por ejemplo: excelente, muy bueno, bueno, regular, malo, muy malo, fallado).

Con base en estudios previos y la literatura técnica, se calculan las probabilidades de que un tramo de pavimento pase de un estado a otro en un periodo de un año. Estos valores se integran en una matriz de transición (Radwan et al., 2024).

Se aplica la matriz de transición iterativamente para simular cómo cambiará la distribución de estados de los tramos en los siguientes cinco años, considerando diferentes estrategias de mantenimiento (Boudali & Dufresne, 2004).

Se generan escenarios como “sin intervención”, “bacheo” y “recapeo”, para comparar el deterioro proyectado y evaluar cuál estrategia produce mejores resultados (Pérez et al., 2024).

Los cálculos se realizarán en hojas de cálculo Excel, donde se diseñarán matrices de transición y se ejecutarán simulaciones. También se empleará el software ArcGIS para georreferenciar los tramos evaluados y presentar gráficamente los resultados (Cobo Intriago, 2025).

Clasificación y determinación de los tramos

Según (Chang, 2007) nos comparte que para realizar el proceso de jerarquización de vías, se hace una intervención de evaluación de la infraestructura, en ella se consideran las condiciones actuales, reconociendo problemas como el desgaste, seguridad, atasco y accesibilidad.

De tal manera que podemos establecer una clasificación y priorización de las vías a estudiar, teniendo en consideración los siguientes lineamientos: Importancia estratégica, Impacto social, Estado de la vía e Condiciones de la seguridad vial.

Tabla 3

Sistema de gestión para la clasificación de las vías en estudio

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 esta tabla se presentan los criterios que se tomaron en cuenta para los lineamientos de priorización en base a la ejecución del mantenimiento vial de la zona.

Herramientas de levantamiento de datos

Para el levantamiento de datos en campo, se empleó el uso en la norma ASTM D6433 para la verificación de fallas junto con una plantilla basada en el Manual de PCI para pavimento flexible. De esta manera también se utilizó un odómetro de 6 cifras, un flexómetro, ArcGIS (SIG), cinta métrica, regla metálica, tabla, cono de advertencia y tizas. Dentro de las plantillas se encuentra detallada la información de área de las fallas, así mismo se utilizaron programas de georreferenciación y poder dividir la zona de manera correcta, se dividió en tramos de 100 metros y el ancho de la vía dependerá de la calle, estas sin tomar en cuenta el parterre de cada tramo.

Sistema de Georreferenciación aplicado a la gestión de pavimentos (SIG)

En la actualidad, la gestión de la infraestructura vial es un verdadero reto para los gobiernos locales y nacionales. El uso y la aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) se presenta como una herramienta clave para el análisis y planificación del mantenimiento de pavimentos, ya que con estos sistemas facilitan la georreferenciación de datos técnicos y ayudan a la mejora de toma de decisiones, optimizando así la asignación de recursos y contribuyendo al desarrollo urbano sostenible. (Intriago, 2025)

De esta manera se utilizó un sistema de georreferenciación en el presente trabajo de titulación llamado ArcGIS, ayudándonos a ser más claro en la toma de decisiones sobre el mantenimiento vial de la zona en estudio.

Levantamiento de datos en campo

En la zona de la Avenida Olímpica, se ejecutó el levantamiento de datos mediante la medición a lo largo de los tramos y ancho de la vía, de tal manera que permitió identificar de manera precisa el área de todo el sector estudiado.

Seguidamente, se llevó a cabo la detección visual de irregularidades que se encuentran en el pavimento flexible de la zona, regido en la metodología establecida por la ASTM D6433.

Mediante este proceso se añadió la clasificación de todas las irregularidades encontradas, las cuales se obtuvieron de acuerdo con los tipos de falla que presenta la metodología. De esta manera, se pudo identificar de manera exacta el tipo de falla y su severidad en la misma, obteniendo un análisis representativo y conciso del estado de la vía.

Después de haber realizado la identificación, se procede a determinar las áreas afectadas, puede ser en metros cuadrados o en metros lineales, estas dependen de cada una de las fallas. Por último, se realizaron los cálculos de manera precisa, con ayuda del método aritmético que corresponde a la metodología PCI, obteniendo de manera segura los resultados para los siguientes análisis.

Análisis de Datos

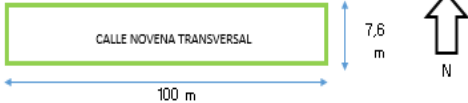
El desarrollo del análisis del pavimento en la Avenida Olímpica y sus calles transversales que conectan con la Avenida del Ejército se dio inicio mediante la clasificación de las fallas y del resultado numérico en cuanto al porcentaje de densidad de cada una de ellas, todo esto en función a el área que cubre cada falla. Este resultado numérico fue significativo para poder identificar de manera exacta la zona afectada por cada falla, tanto como identificar su gravedad también.

En el momento en que se obtuvieron los valores de porcentaje de densidad, se continúa ubicando cada valor deducido conforma a su tipo de falla, y de esta manera culminamos empleando los valores finales del diagrama de curvas, este es un recurso muy importante dentro de la metodología de PCI.

Mediante este método de diagrama de curvas se lograron adquirir valores precisos para cada tipo de falla, esos dependiendo de su área y gravedad.

Ilustración 2:

Demostración del Método PCI.

		INVENTARIO VIAL PLAN DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS				 INGENIER CIVIL				
		MÉTODO DE EVALUACIÓN PCI								
SECCION 1:		NOVENA TRANSVERSAL	TIPO DE PAVIMENTO:	Pavimento Flexible						
ANCHO DE VIA :		7,6 m	UNIDAD DE MUESTRA							
LONGITUD DE LA VIA :		100 m	AREA DE MUESTRA	760						
ESCUESTADO POR :		Danny Alberto Cobo Intriago	FECHA:							
1	PIEL DE COCODRILO	6	DEPRESIÓN	11	PARCHE	16	DESPLAZAMIENTO			
2	EXUDACIÓN	7	FISURA DE BORDE	12	AGREGADO PULIDO	17	FISURA POR DESLIZAMIENTO			
3	FISURA EN BLOQUE	8	FISURA POR REFLEXIÓN	13	BACHE	18	HINCHAMIENTO			
4	BULTO Y HUNDIMIENTO	9	DESNIVEL CARRIL / ESPALD	14	CRUCE FERROCAL	19	DESPRENDIMIENTO DE AGREGADO			
5	CORRUGACIÓN	10	FISURA LONG / TRANS	15	AHUELLAMIENTO					
INVENTARIO DE CONDICIÓN DE SUPERFICIES ASFALTICAS										
SEVERIDAD		CANTIDAD						TOTAL	DENSIDAD %	VALOR D
13M	0,6						0,6	0,08	2	
13L	0,4	0,35					0,75	0,10	2	
19L	2,2						2,2	0,29	2	
7M	1,52						1,52	0,20	5	
10H	5,07						5,07	0,67	12	

Nota: Evidencia y Demostración del Método PCI.

Fuente: Elaboración Propia en base al software Excel.

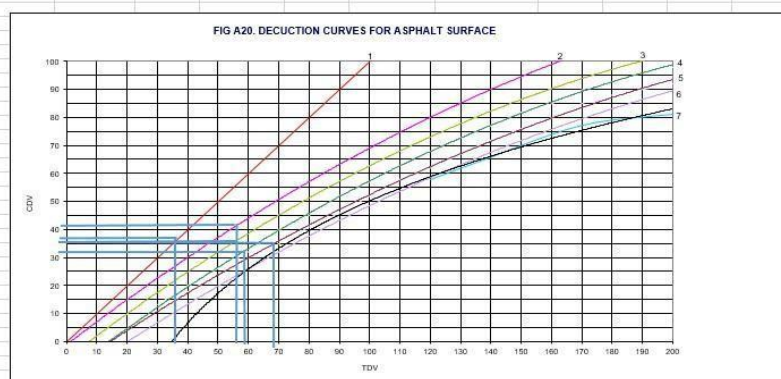
Luego de obtener los valores deducidos precisos, se procede a realizar el cálculo del Índice de Condición del Pavimento para cada tramo estudiado. Este puede comprender una variación entre 0 a 100 (pavimento deteriorado en malas condiciones o pavimento en buenas condiciones). De esta manera obtenemos una interpretación clara, concisa y estandarizada de las condiciones, siendo así 9 calles y 54 tramos de secciones de tramos de vías.

Ilustración 3:

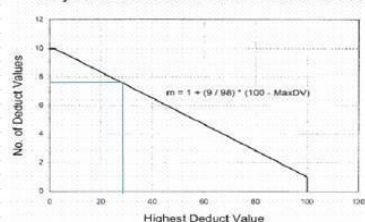
Resultados del Método PCI

TOTAL VALORES DEDUCIDOS					TOTAL	Q	CDV
28	22	2	5	12	69	5	35
28	22	2	5	2	59	4	32
28	22	2	2	2	56	3	35
28	22	2	2	2	56	2	41
28	2	2	2	2	36	1	36

m² = 7,61



Adjustment of Number of Deduct Values



VALOR INDICE DE CONDICIÓN DE PAV 59 BUENO

PCI	CONDICIÓN
85-100	Excelente
70-85	Muy bueno
55-70	Bueno
40-55	Regular
25-40	Pobre
10-25	Muy pobre
0-10	Fallado

Nota: Resultados de la condición del pavimento según el método

Fuente: Elaboración propia en base al software Excel.

Más adelante, con la utilización de las matrices de Markov, se proyectaron las probabilidades del PCI a cinco años, teniendo en cuenta tres condiciones: sin intervención, bacheo y recapeo. Mediante este estudio nos permitió darnos cuenta de que manera evolucionan las condiciones del pavimento en forma a las condiciones que se trabajaron.

Finalmente, se manifestó una propuesta a un plan de Bacheo y de Recapeo con sustento en los gráficos que fueron georreferenciados y a los resultados numéricos de las matrices de Markov. En dicha propuesta se enfatizó que la mayoría de las calles de la

Avenida Olímpica y sus transversales, necesitan de un Bacheo y de un Recapeo, dependiendo de las zonas más afectadas.

De esta manera se garantiza prolongar la vida útil del pavimento flexible presente en la Avenida Olímpica y sus calles, preservando la conservación de la misma con el paso de los años.

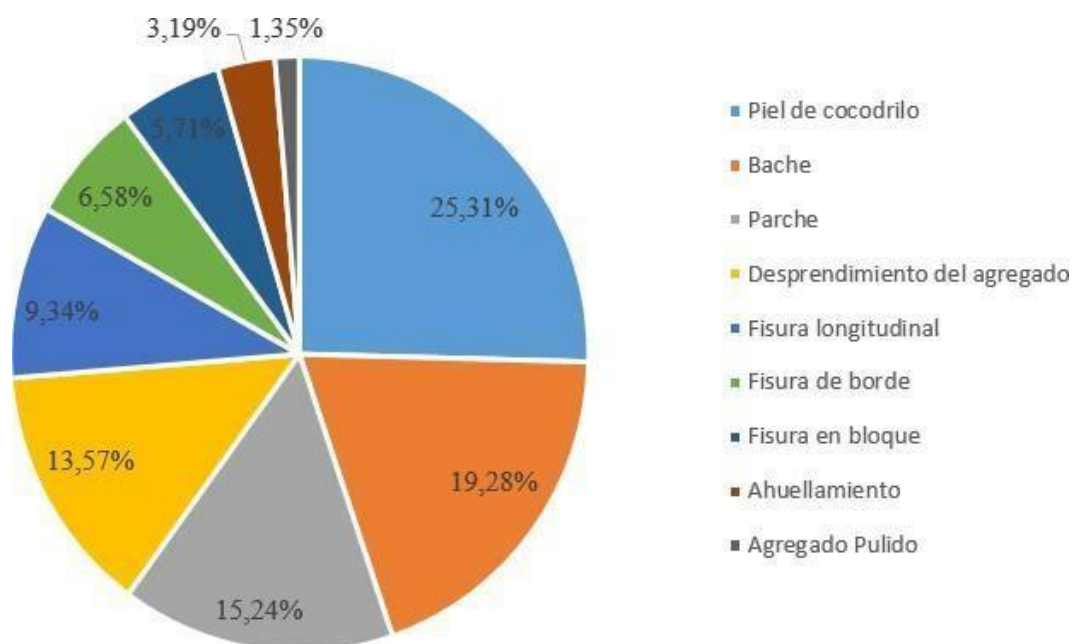
Resultados

En la Avenida Olímpica y sus calles transversales que conectan con la Avenida del Ejército, lugar donde se realizó el levantamiento de datos para realizar el estudio del método del Índice de Condición del Pavimento (PCI) conformando 54 tramos que corresponden a sus 9 calles estudiadas, compuestas por pavimento flexible.

A continuación, se presenta un gráfico desplegado con porcentajes de los tipos de fallas y sus datos correspondientes que fueron halladas en la zona de estudio de la Avenida Olímpica.

Ilustración 4:

Porcentaje de fallas en las calles estudiadas



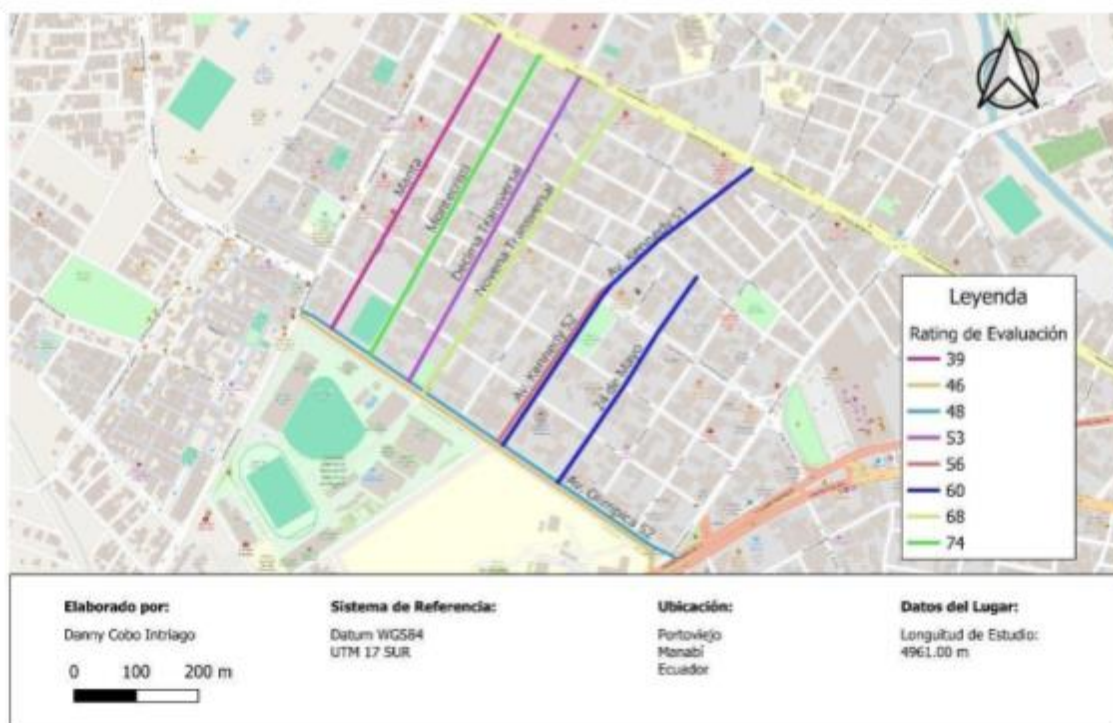
Nota: Se evidencia el porcentaje de cada falla que hay en la Avenida Olímpica.

Fuente: Elaboración Propia con ayuda del software Excel.

En la figura anterior podemos apreciar las fallas que se presentaron con mayor frecuencia en la zona de estudio fue la piel de cocodrilo, baches y parches.

Ilustración 5:

Valor numérico PCI de cada calle estudiada



Nota: En la figura se muestra la imagen generada por ArcGIS (SIG), donde se aprecia el valor numérico de PCI para cada calle estudiada.

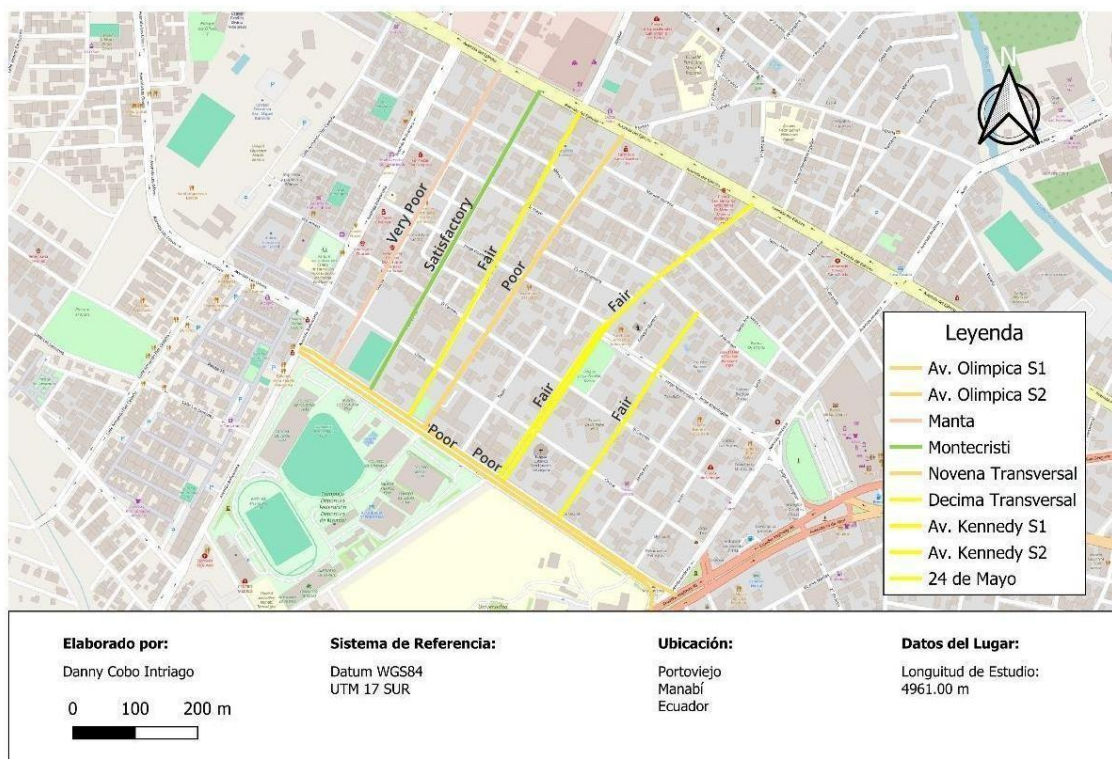
Fuente: Elaboración propia con ayuda del software ArcGIS.

El aumento de población vehicular en Portoviejo es uno de los motivos más visuales que afectan a las calles de la ciudad, así como también los cambios climáticos que afectan al sector. Un mal manejo en los estudios de construcción en cuanto al sistema de drenaje de la zona también es un factor para tomar en cuenta, ya que de esta manera el agua provoca el daño del material asfáltico, y así, generando lo que son las grietas y los baches que se encuentran presentes en la zona de estudio.

En la siguiente ilustración que fue generada en ArcGIS (SIG) se indican los tramos viales estudiados en la zona, donde se puede observar la clasificación de los tramos viales dependiendo de su valor numérico de PCI.

Ilustración 6:

Estados de las calles de la Avenida Olímpica



Nota: En la presente figura se puede apreciar el estado de las vías de la Avenida Olímpica y sus calles transversales que conectan con la Avenida del Ejército, bajo el lineamiento ASTM D6433.

Fuente: Elaboración propia con ayuda del software ArcGIS.

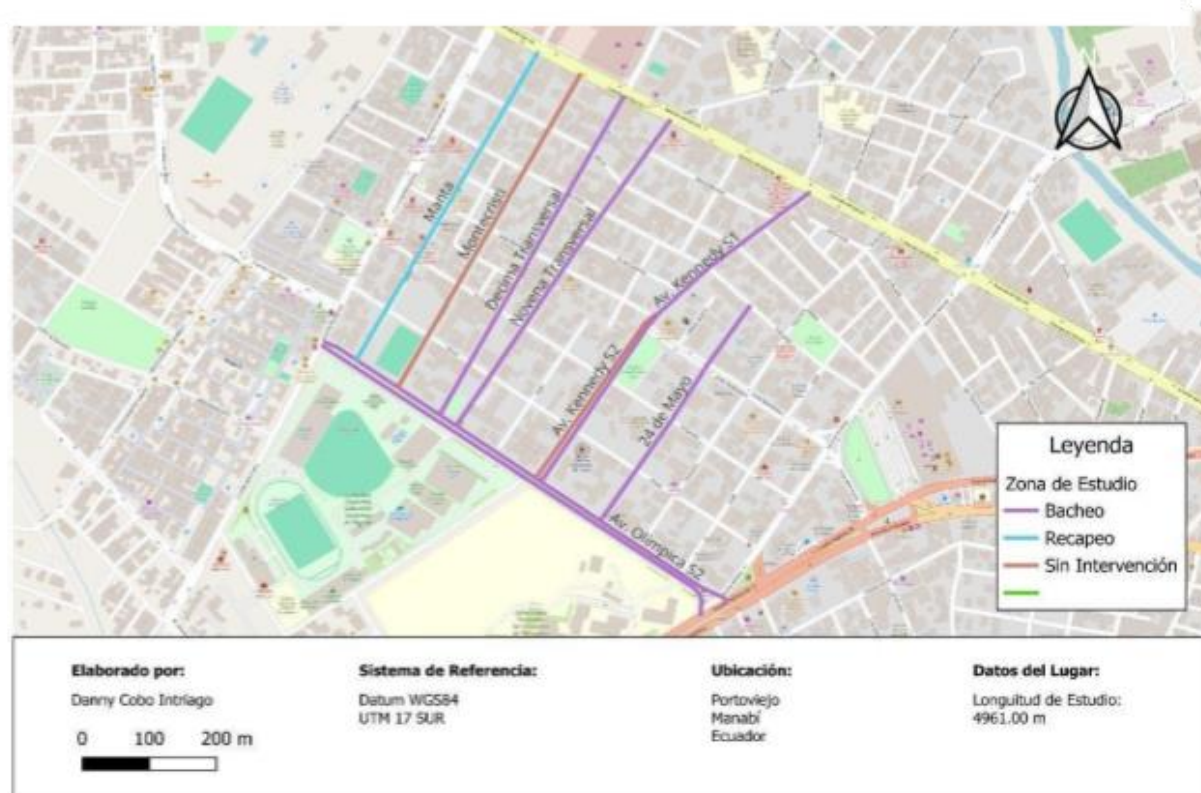
La inspección comprende las 9 calles la zona estudiada, cuyos valores son revelados de la siguiente manera, 1 tramo en condición satisfactorio, 4 tramos se hallan en estado regular, 3 tramos en condiciones malas y 1 tramo en estado muy malo, de esta manera podemos clasificar los tramos investigados en base a la normativa Índice de Condición de Pavimento.

Luego de completar el procedimiento de Matriz de Markov proyectando el estado de la vía a cinco años en la Avenida Olímpica, se plantean tres condiciones que muestran la transición de esta.

- Sin Intervención
- Bacheo
- Recapeo

Ilustración 7:

Tipo de intervención en las calles de la Avenida Olímpica



Nota: Tipo de intervención en las calles de la avenida.

Fuente: Elaboración propia con ayuda del software ArcGIS.

En las figuras que se presentan a continuación se puede apreciar el desarrollo de y evolución de las Matrices de Markov para cada tramo de vía.

Ilustración 8:

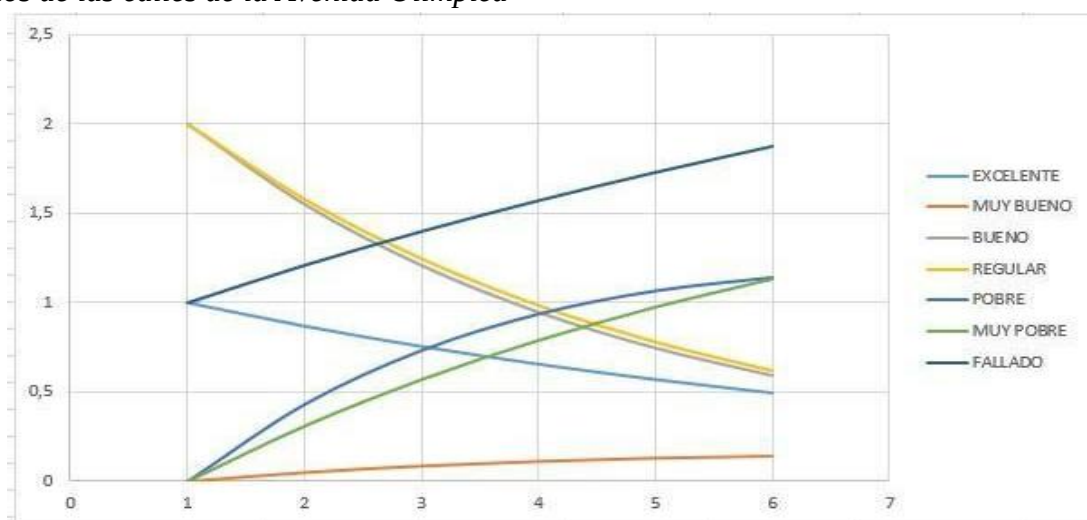
Calles sin Intervención.

SIN INTERVENCIÓN							
ESTADO	EXCELENTE	MUY BUENO	BUENO	REGULAR	POBRE	MUY POBRE	FALLADO
EXCELENTE	87%	5%	3%	2%	1%	1%	1%
MUY BUENO		87%	5%	3%	2%	2%	1%
BUENO			76%	9%	6%	5%	4%
REGULAR				69%	15%	10%	6%
POBRE					91%	5%	4%
MUY POBRE						98%	2%
FALLADO							100%

Nota: Calles sin intervención en la Avenida Olímpica.

Ilustración 9:*Condición del pavimento en proyecciones futuras.*

CONDICION ACTUAL DEL PAVIMETNO	EXCELENTE	MUY BUENO	BUENO	REGULAR	POBRE	MUY POBRE
2025	1	0	2	2	0	0
2026	1	0	2	2	0	0
2027	1	0	1	1	1	1
2028	1	0	1	1	1	1
2029	1	0	1	1	1	1
2030	0	0	1	1	1	1

Nota: Condición del pavimento en un periodo futuro de 5 años.**Ilustración 10:***Estados de las calles de la Avenida Olímpica***Nota:** Estados actual de las calles de la Avenida Olímpica.

En la figura se aprecia el estado actual del tramo estudiado, en base a este estado

comienza la proyección de evolución con las otras matrices

Ilustración 11:*Estado de las Calles de la Avenida Olímpica con un rebacheo.*

BACHEO							
ESTADO	EXCELENTE	MUY BUENO	BUENO	REGULAR	POBRE	MUY POBRE	FALLADO
EXCELENTE	95%	1%	1%	1%	1%	1%	0%
MUY BUENO		88%	3%	3%	3%	2%	1%
BUENO			81%	7%	5%	4%	3%
REGULAR			73%	20%	3%	2%	2%
POBRE				52%	24%	14%	10%
MUY POBRE					52%	28%	20%
FALLADO						5%	95%

Nota: Estado de las calles de la avenida Olímpica después de un rebacheo.

Ilustración 12

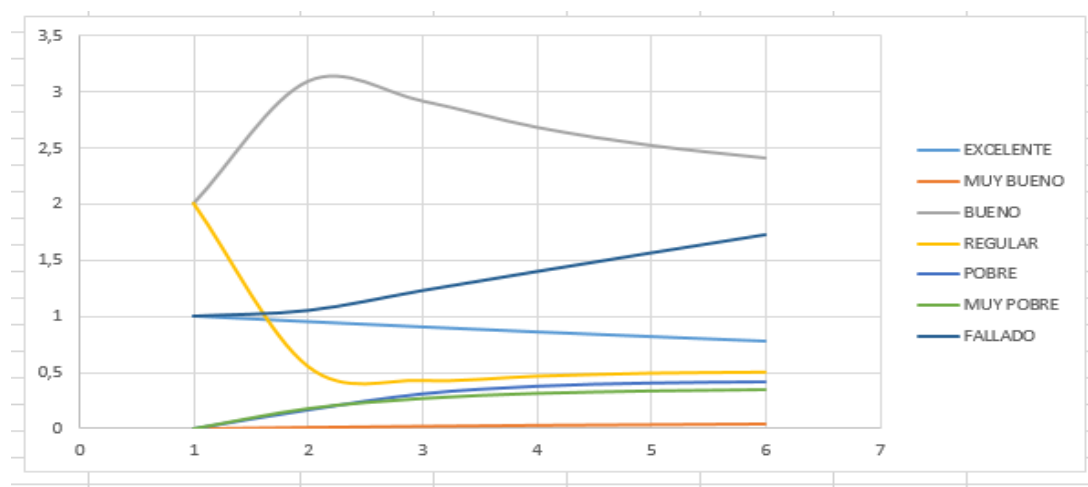
Proyección de las calles de la Avenida Olímpica con un rebacheo

CONDICION ACTUAL DEL PAVIMETNO	EXCELENTE	MUY BUENO	BUENO	REGULAR	POBRE	MUY POBRE
2025	1	0	2	2	0	0
2026	1	0	3	1	0	0
2027	1	0	3	0	0	0
2028	1	0	3	0	0	0
2029	1	0	3	0	0	0
2030	1	0	2	0	0	0

Nota: Condición del pavimento en un periodo próximo de 5 años con un rebacheo.

Ilustración 13:

Proyección de las calles de la Avenida Olímpica con el rebacheo.



Nota: Proyección de las calles en 5 años con un rebacheo.

A continuación, se muestra la evolución del estado del tramo de vía en cuanto a la

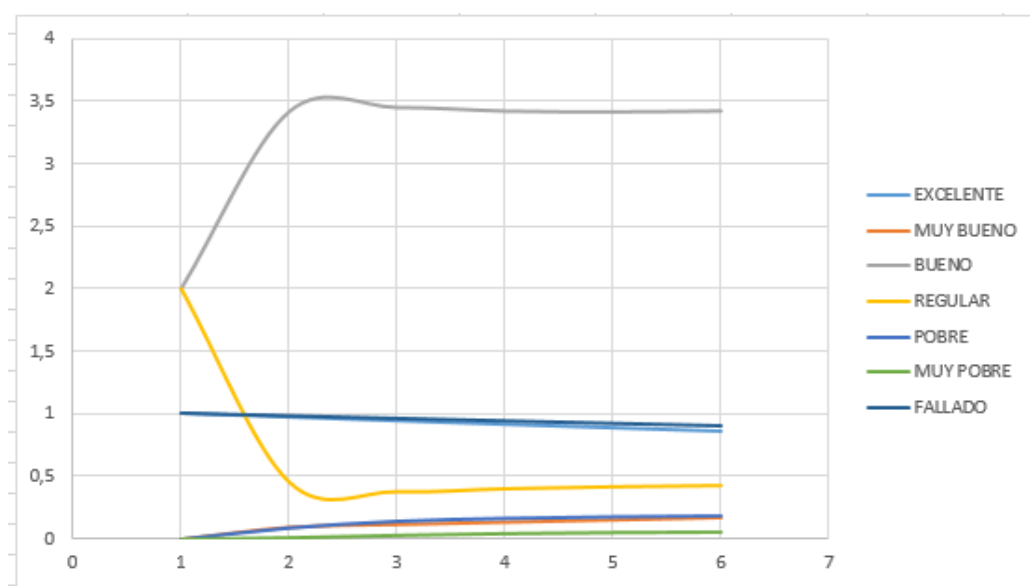
Ilustración 14:

Estado de las calles de la Avenida Olímpica con un bacheo

RECAPEO							
ESTADO	EXCELENTE	MUY BUENO	BUENO	REGULAR	POBRE	MUY POBRE	FALLADO
EXCELENTE	97%	1%	1%	1%	0%	0%	0%
MUY BUENO		94%	3%	3%	0%	0%	0%
BUENO			90%	7%	3%	0%	0%
REGULAR		4%	80%	15%	1%	0%	0%
POBRE			3%	60%	22%	15%	0%
MUY POBRE				2%	70%	28%	0%
FALLADO					1%	1%	98%

Ilustración 15:*Proyección de las calles de la Avenida Olímpica con un Bacheo*

CONDICION ACTUAL DEL PAVIMETNO	EXCELENTE	MUY BUENO	BUENO	REGULAR	POBRE	MUY POBRE	FALLADO
2025	1	0	2	2	0	0	1
2026	1	0	3	0	0	0	1
2027	1	0	3	0	0	0	1
2028	1	0	3	0	0	0	1
2029	1	0	3	0	0	0	1
2030	1	0	3	0	0	0	1

Ilustración 16:*Estado de las calles de la Avenida Olímpica después del bacheo*

Nota. En la presente ilustración se muestra la evolución del estado del tramo de vía en cuanto a la acción de un recapeo en la zona.

Mediante el uso de la Matriz de Markov se permitió brindar una estimación a cinco años en los tramos analizados, teniendo en cuenta que, si no se realiza ningún tipo de intervención o mantenimiento en la carpeta asfáltica del pavimento, estará expuesto a un deterioro continuo de sus componentes con el tiempo.

En la condición “Sin intervención” se encontraron que 1 tramo se encuentra en excelente estado, 2 tramos se encuentran en buen estado y 2 tramos en condición regular y 1 tramo se encuentra en estado fallado.

Ahora consideraremos la condición de “Bacheo” a una proyección de cinco años en donde obtenemos los valores en los tramos de, un tramo en excelente estado, 2 tramos se encuentran en buen estado y 2 tramos se encuentra en pésimas condiciones considerada como pavimento fallado.

Por otro lado en la siguiente condición de “Recapeo” se muestra una solución y mejora dentro de los cinco años propuestos, exponiendo que, seguirá con un tramo en excelente estado, en cambio en ya tendremos tres tramos en buenas condiciones y tenderemos un solo tramo en pésimas condiciones considerado pavimento fallado.

Teniendo en cuenta todos los datos analizados de toda la zona, se optará por ajustarse al mantenimiento de Bacheo y Recapeo en las calles de la Avenida Olímpica y sus calles transversales que conectan con la Avenida del Ejército. De esta manera logramos preservar y prolongar la vida útil de la carpeta asfáltica de la zona, obteniendo un valor numérico de Índice de Condición del Pavimento más alto en los años proyectados

Discusión

La investigación realizada en la avenida Olímpica y sus calles transversales que conectan con la avenida del Ejército del cantón Portoviejo permitió obtener información precisa sobre el estado del pavimento flexible utilizando el método PCI, conforme a la norma ASTM D6433-23. Esta metodología se aplicó en la zona con un total de 54 tramos que atribuyen a 9 de sus vías, y que nos permitió cumplir los objetivos que fueron planteados.

En cuanto al primer objetivo, que consistía en evaluar el estado actual del pavimento y proyectar su evolución en un periodo de cinco años, los resultados indicaron que la mayoría de los tramos presentan una condición entre regular y mala. Esto se refleja en los valores de PCI obtenidos, donde el tramo más deteriorado fue la calle Manta (PCI = 39), y el de mejor condición fue la calle Montecristi (PCI = 74). Este diagnóstico preliminar fue confirmado por la inspección visual, que identificó como fallas predominantes la piel de cocodrilo, parches y baches, características típicas del deterioro estructural por fatiga del pavimento flexible (López, 2023).

La clasificación de los tipos y niveles de deterioro, correspondiente al segundo objetivo específico, permitió organizar los tramos según su estado y severidad. Esta categorización es clave para planificar futuras intervenciones. Adicionalmente, mediante la proyección del estado funcional en cinco años, se observó que, aplicando ciertas estrategias de conservación, al menos 10 secciones podrían mantenerse en condiciones satisfactorias, lo cual expresa que el empleo de una conservación selectiva de manera consecutiva coopera a extender la vida útil del pavimento de forma precisa. Este hallazgo coincide con lo señalado por Mejía (2024), quien destaca la eficacia de la planificación basada en el PCI como herramienta de gestión vial.

Respecto al tercer objetivo, orientado a aplicar la matriz de Markov como herramienta predictiva, los resultados confirmaron que el estado del pavimento tiende a deteriorarse gradualmente si no se aplican intervenciones adecuadas. La simulación de condiciones de mantenimiento revela que las secciones que no obtengan un mantenimiento (Sin Intervención) lleguen a topar condiciones muy pobres o críticas antes del último año proyectado. De esta manera, al realizar las intervenciones selectivas, como lo son el bacheo o el recapeo, se consigue mantener un nivel funcional de la vía muy aceptable. Este análisis está basado en las proyecciones que fueron implementadas por Hossain y El-Halaby (2019), quienes expresan la utilidad de la metodología de Markov en la predicción del desempeño del pavimento a futuro.

Por último, en relación con el cuarto objetivo, se propusieron estrategias de mantenimiento vial ajustadas a las condiciones encontradas. En este sentido, se sugiere aplicar parches utilitarios en los tramos con deterioro localizado, como solución inmediata de bajo costo, y programar intervenciones más integrales en aquellas secciones que presentan múltiples tipos de fallas. Esta propuesta responde a una lógica de conservación progresiva, donde se prioriza la funcionalidad de las vías urbanas más transitadas y se evita el deterioro estructural avanzado.

En conjunto, los resultados de esta investigación no solo permitieron diagnosticar el estado actual del pavimento, sino también establecer criterios técnicos para planificar su mantenimiento en el corto y mediano plazo. Las proyecciones desarrolladas

mediante el método PCI y de matriz de Markov constituyen una base objetiva para la toma de decisiones en la gestión de infraestructura vial urbana, dando la razón de que la intervención temprana y planificada es fundamental para preservar la calidad del servicio de red vial en el cantón Portoviejo.

Conclusión

El análisis de las fallas de la Avenida Olímpica y sus transversales permitió cumplir con el primer objetivo específico, el cual era evaluar el estado actual del pavimento y predecir su evolución en un periodo de 5 años aplicando el método PCI. Una inspección visual preliminar reveló que algunas de las fallas más comunes en la zona eran piel de cocodrilo, parches utilitarios y baches.

En cuanto al primer objetivo específico, el cual se basó en diagnosticar el estado físico actual del pavimento de la avenida Olímpica mediante la norma ASTM D6433, se deja en evidencia que las calles analizadas se encuentran en una condición regular, relativamente mala. Esto nos indica que estas calles necesitarían un mantenimiento programado y esto dependerá del uso que estas vayan a tener.

En relación con el segundo objetivo específico, el cual habla de clasificar los tipos y niveles de deterioro presentes en los tramos evaluados, la estrategia de recaída proyecta una mejora significativa en la condición de las carreteras de 10 secciones, que permanecerían en una posición satisfactoria después de cinco años. Este descubrimiento enfatiza la importancia de priorizar esta oportunidad en la política de protección vial.

En relación con el tercer objetivo específico, que buscaba aplicar el modelo de matriz de Márkov para obtener información de la vida útil del pavimento y obtener una predicción efectiva, las intervenciones y los pronósticos hicieron hasta cinco años, utilizando el método de Markov, contaron claramente el impacto de varias estrategias de mantenimiento en su primer corte. Si se seleccionan grietas, se espera que la condición de las carreteras se deteriore gradualmente, donde varias secciones alcanzan condiciones muy graves o sin éxito. Esto fortalece la necesidad de considerar una intervención más completa y profunda.

Para terminar el cuarto y último objetivo específico nos habla de proponer estrategias de mantenimiento vial adecuadas a las condiciones detectadas lo principal sería realizar un mantenimiento con parches utilitarios para así resanar algunos baches y así hacer la vida útil de las calles mucho más larga.

Finalmente, este trabajo ha permitido identificar claramente los errores más importantes en las calles de la avenida Olímpica y algunas de sus transversales, así como evaluar su estado actual y diseñar su desarrollo a lo largo del tiempo. La propuesta de mantenimiento está diseñada para una guía práctica para la gestión de la carretera, que, si se implementa adecuadamente, no solo mejorará la funcionalidad de la carretera, sino que también reducirá significativamente el largo costo de la rehabilitación.

La intervención oportuna es esencial para evitar un mayor deterioro y, por lo tanto, garantizar la seguridad y la resistencia de la infraestructura vial en el área.

Bibliografía

- Al-Hamdan, A. B., Alatoom, Y. I., Nlenanya, I., & Smadi, O. (2024). Weighting variables for transportation assets condition indices using subjective data framework. *CivilEng*, 5(4), 949–970. <https://doi.org/10.3390/civileng5040048>
- Andrade, A., Castillo, G., & Chacater, C. (2021). *Efectos de la variabilidad de los datos iniciales en el índice de condición del pavimento y predicción de su deterioro*. Novasinergia, 4(1), 102–114. <https://doi.org/10.37135/ns.01.07.06>
- Hao, J., Sun, Z., Xing, Z., Pei, L., & Feng, X. (2025). Dual-layer fusion model using Bayesian optimization for asphalt pavement condition index prediction. *Sensors*, 25(8), 2616. <https://doi.org/10.3390/s25082616>
- Lu, S.-H.; Lin, J.-D.; Chiou, Y.-S. (2025). Analysis and Verification Results of Manual Inspection of Pavement Condition Index. *Appl. Sci.* 15, 5600. <https://doi.org/10.3390/app15105600>
- Pérez, A., Sánchez, C. N., & Velasco, J. (2024). Damage Importance Analysis for Pavement Condition Index Using Machine-Learning Sensitivity Analysis. *Infrastructures*, 9(157). <https://doi.org/10.3390/infrastructures9090157>
- Perri, V.; Ketabdari, M.; Cimichella, S.; Crispino, M.; Toraldo, E. Proposal of an Integrated Method of Unmanned Aerial Vehicle and Artificial Intelligence for Crack Detection, Classification, and PCI Calculation of Airport Pavements. *Sustainability* 2025, 17, 3180. <https://doi.org/10.3390/su17073180>
- Radwan, M. M., Zahran, E. M. M., Dawoud, O., Abunada, Z., & Mousa, A. (2025). Comparative Analysis of Asphalt Pavement Condition Prediction Models. *Sustainability*, 17(109). <https://doi.org/10.3390/su17010109>

Radwan, M.M.; Mousa, A.; Zahran, E.M.M. Enhancing Pavement Sustainability: Prediction of the Pavement Condition Index in Arid Urban Climates Using the International Roughness Index. *Sustainability* 2024, 16, 3158. <https://doi.org/10.3390/su16083158>

Vásquez, R. (febrero de 2002). Pavement Condition Index (PCI). Para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras. <https://snavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-pci1.pdf>

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

Trabajos citados

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>

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>

- 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 Engineering:
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 metodología para la evaluación 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>
- International, A. (15 de Noviembre de 2024). *ASTM International*. Obtenido de
<https://store.astm.org/d6433-23.html>

- 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>
- 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. (2012). *Investigación de Operaciones*. México.
- 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, L. (2020). *Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras*. Obtenido de Wordpress: <https://sjnavarro.wordpress.com/wp-content/uploads/2008/08/manual-pci1.pdf>

Vásquez, R. (Febrero de 2002). *Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras*. Obtenido de Wordpress:
<https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-pci1.pdf>

Anexos



