



DOI: <https://doi.org/10.46296/yc.v7i13.0363>

EVALUACIÓN FUNCIONAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA RED VIAL RURAL DE PORTOVIEJO, ECUADOR

FUNCTIONAL EVALUATION OF FLEXIBLE PAVEMENT IN THE RURAL ROAD NETWORK OF PORTOVIEJO, ECUADOR

Flores-De Valgas Giler Stalin Bladimiro ^{1*}; Mogrovejo-Carrasco Daniel Estuardo ²

¹ Maestría Académica con Trayectoria Profesional en Ingeniería Civil, Mención Vialidad, Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Ecuador.

Correo: sfloresdevalgas4414@utm.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0005-3182-3653>

² Universidad de Cuenca. Cuenca, Ecuador.

Correo: daniel.mogrovejo@ucuenca.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5797-1153>

Resumen

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo diagnosticar el estado del pavimento flexible de la red vial rural, del cantón Portoviejo, provincia de Manabí. La técnica que se utilizó para la evaluación funcional del pavimento fue mediante la recolección de datos, observación y registro de fallas por medio de la metodología PCI (Índice De Condición Del Pavimento), el IRI (Índice De Regularidad Del Pavimento) y el PSI (Índice De Serviciabilidad Del Pavimento). La población objeto de estudio se encuentra ubicada entre el sitio Mejía y el sitio Pechiche, el cual se conectan con una vía rural de 5500 metros (m) de largo y 6.40 m de ancho. Los resultados señalan que la condición del tramo analizado dio una calificación de 77 que lo ubica en la clasificación Muy Bueno, según el índice PCI. A través de este método se determinó que existen 6 tipos de fallas en las 11 unidades de muestra analizadas, en función al grado de incidencia: Fisura longitudinal 22.86%, Ahuellamiento 20.00%, Piel de Cocodrilo 17.14%, Bulto y hundimiento 17.14%, Bache 14.29%, Fisura por deslizamiento 8.57%. Mediante el análisis del PSI obtuvimos una calificación de 4, tomando con el resultado del IRI = 2. Por esta razón se puede concluir que la vía requiere de un mantenimiento del tipo menor y del tipo mayor, puesto que de todos los tipos de fallas localizadas en la carretera de estudio existen fallas con un porcentaje considerable como la de fisuras longitudinales, Ahuellamientos y piel de cocodrilo.

Palabras claves: Evaluación funcional, Pavimentos flexibles, redes viales, rehabilitación vial.

Abstract

The objective of this research work was to diagnose the state of the flexible pavement of the rural road network, in the Portoviejo canton, Manabí province. The technique that was used for the functional evaluation of the pavement was through the collection of data, observation and recording of failures through the PCI (Pavement Condition Index) methodology, the IRI (Pavement Regularity Index) and the PSI (Pavement Serviceability Index). The population under study is located between the Mejía site and the Pechiche site, which are connected to a rural road 5500 meters (m) long and 6.40 m wide. The results indicate that the condition of the section analyzed gave a rating of 77, which places it in the Very Good classification, according to the PCI index. Through this method, it was determined that there are 6 types of failures in the 11 sample units analyzed, depending on the degree of incidence: Longitudinal fissure 22.86%, Rutting 20.00%, Crocodile Skin 17.14%, Lump and collapse 17.14%, Bump 14.29%, Slip crack 8.57%. Through the analysis of the PSI we obtained a rating of 4, taking the result of the IRI = 2. For this reason it can be concluded that the road requires maintenance of the minor type and of the major type, since of all types of localized faults on the study road there are faults with a considerable percentage such as longitudinal cracks, rutting and crocodile skin.

Keywords: Functional evaluation, flexible pavements, road networks, road rehabilitation.

Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 18 de abril de 2023.

Fecha de aceptación: 29 de junio de 2023.

Fecha de publicación: 10 de julio de 2023.



1. Introducción

La red vial rural es esencial para la conectividad de las comunidades rurales y la economía local. En la gran mayoría de países en vías de desarrollo se han detectado falencias en el estado de las redes viales que permiten la movilidad terrestre por zonas de difícil acceso (Fuentes et al., 2020), lo cual se asocia con el escaso mantenimiento y restauración que se realiza sobre estas carreteras para garantizar la conservación vial (Pérez-Acebo et al., 2018). Ecuador no es la excepción en esta problemática y considerando la gran extensión de territorios rurales, que por su actividad agroeconómica requieren vías de alto tráfico para el tránsito de vehículos de carga pesada (Mera et al., 2017), se han implementado diseños de pavimento flexibles que respondan a las necesidades viales de los territorios rurales (Huang et al., 2019; Singh et al., 2020).

En ese sentido, el pavimento es una parte importante de la infraestructura vial, por tanto, la evaluación de la calidad del pavimento es fundamental para garantizar la seguridad y eficiencia del tráfico

rodado en las zonas rurales. El propósito de este estudio es evaluar la condición de los pavimentos flexibles en la red vial de Portoviejo utilizando una técnica de evaluación funcional que puede identificar áreas críticas que necesitan mantenimiento o reparación. Además, busca brindar recomendaciones sobre cómo mejorar la calidad y vida útil de los pavimentos para garantizar la seguridad de los usuarios y mejorar la conectividad en las zonas rurales. La investigación se llevó a cabo mediante la recopilación de datos en el sitio, la realización de pruebas de laboratorio y el análisis de los resultados obtenidos. Los resultados son de utilidad para los ingenieros de tránsito y los responsables de la planificación y mantenimiento de la red vial rural de Portoviejo, así como para cualquier interesado en la evaluación funcional de pavimentos flexibles en áreas rurales.

Planteamiento, formulación y justificación del problema

Evidentemente, por la escasa planificación vial y los lentos procesos de conservación de la red vial en el Ecuador y principalmente en ciudades que cuentan con una



gran extensión de zonas rurales, en la actualidad se evidencian tramos de carreteras con fallas estructurales que pueden afectar el desarrollo social, económico y productivo de estas localidades (Danchuk et al., 2021; Navarro-Cantú & Rojas-Huacón, 2020). Tal es el caso de Portoviejo, que por su conexión directa con otros cantones de la provincia de Manabí y por el flujo constante de tránsito pesado, cuenta con parroquias rurales que se enfrentan a un deterioro permanente en el estado funcional de la red vial construida con pavimento flexible.

En efecto, la presente investigación se enfoca en dar respuesta a la problemática detectada, misma que se sustenta en conocer cuál es el estado actual del pavimento flexible en la red vial rural de Portoviejo, Manabí, Ecuador mediante evaluaciones in situ; esto con la misiva de identificar las zonas que presentan daños más significativos, así como las causas que han conducido al deterioro de estas vías. Del mismo modo, se pretende aportar conocimiento científico de utilidad para los organismos gubernamentales encargados de la gestión vial en el país, estableciendo

un punto de partida para que se desarrolle mantenimiento preventivo en aquellas vías que aun no se han destruido y rehabilitación en las zonas que presentan falencias.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar el estado funcional del pavimento flexible en la red vial rural de Portoviejo, Ecuador.

Objetivos específicos

- Obtener información científica y técnica basada en metodologías para la evaluación funcional de pavimentos flexibles en redes viales.
- Identificar las fallas funcionales en la red vial rural de Portoviejo, Ecuador.
- Analizar el nivel de deterioro del pavimento flexible de la red vial rural de Portoviejo, Ecuador.
- Exponer posibles soluciones técnicas de mantenimiento y restauración de pavimentos flexibles en función de las falencias detectadas en la red vial de Portoviejo, Ecuador.

2. Metodología

Tipo de investigación

El presente trabajo se realizará en función de una investigación de tipo exploratorio, a partir de la observación y caracterización del fenómeno en estudio. El diseño metodológico se sustenta en una investigación experimental basada en la medición de las variables estudiadas.

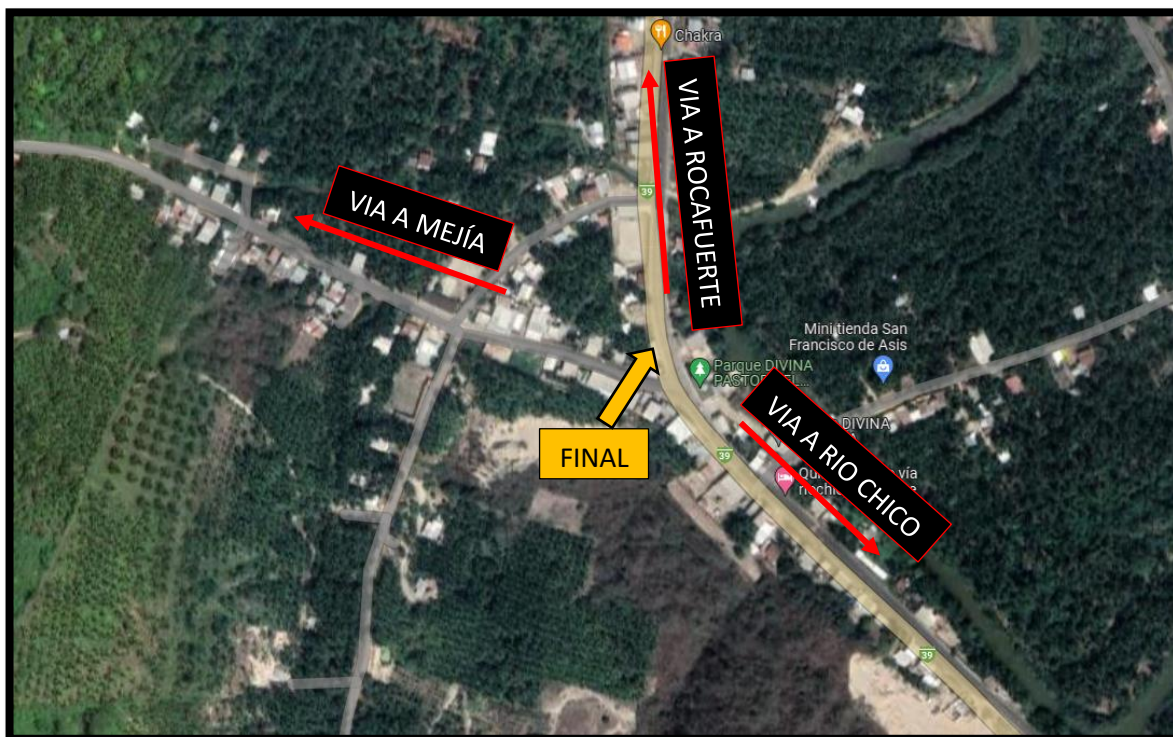
Población y muestra

En esta investigación se define a la red vial rural de Portoviejo, Ecuador como la población. Por su parte, la muestra es el tramo de estudio delimitado que se encuentra ubicada entre el sitio Mejía y el sitio Pechiche, el cual se conectan con una vía rural de 5500 metros (m) de largo y 6.40 m con una capa de rodadura de pavimento flexible (Ver ilustración 1 y 2).

Ilustración 1. Inicio de la zona de estudio.



Ilustración 2. Fin de la zona de estudio.



Métodos, técnicas e instrumentos de investigación.

La investigación tendrá un enfoque mixto cuali-cuantitativo, debido a que permite describir teóricamente el estado funcional del pavimento flexible de la red vial rural del cantón Portoviejo, y además, se obtendrán datos numéricos generados en la evaluación de la zona estudiada a través de la técnica del Índice de Condición del Pavimento.

Marco teórico

El estado de las carreteras es un factor clave para el transporte, por tanto, se requiere de inversiones constantes para el mantenimiento y

mejoras de las vías. De este modo, el mantenimiento se puede definir de acuerdo con Leguía y Pacheco (2016: p.27) como los trabajos, actividades, operaciones, acciones y cuidados rutinarios, periódicos o de emergencia, destinados a lograr que la infraestructura vial preserve la condición superficial, funcional, estructural y de seguridad requerida, a efectos de asegurar la satisfacción de los usuarios y en general atender de manera adecuada el tránsito.

En tal sentido, el transporte es un sector estratégico en la economía de cualquier país a nivel mundial, por lo que unas redes de viales en óptimas condiciones se hacen necesarias para el correcto funcionamiento de la

circulación vehicular tanto de personas particulares, como del transporte de pasajeros, mercancías y de bienes y servicios.

Índice de condición del pavimento PCI

Orozco (2004) afirma que “para seleccionar la estrategia de conservación más eficiente y que mejor se adapta a la realidad, es fundamental conocer el estado actual del pavimento, obtenido por una evaluación objetiva del mismo.” En torno a esto, “el método Pavement Condition Index (PCI); constituye el modo más completo para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos, siendo ampliamente aceptado y formalmente adoptado como procedimiento estandarizado. Leguía y Pacheco (2016: p.16). Igualmente, Riveros y Gaitan (2019:

p.16) señalan que “la metodología PCI es norteamericana; estas identifican el estado actual y el grado de deterioro en vías existentes de una forma cualitativa.” De tal modo que, el PCI es un índice numérico, desarrollado para obtener el valor de la irregularidad de la superficie del pavimento y la condición operacional de este. Leguía y Pacheco (2016: p.42).

Además, esta metodología califica la condición integral del pavimento en base a una escala que varía entre “0” para un estado fallado y un valor de “100” para un estado excelente. Leguía y Pacheco (2016: p.42). Para ilustrar esto, se muestra a continuación los rangos del PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento.

Tabla 1: Escala de Clasificación PCI.

RANGOS DEL PCI	CLASIFICACIÓN
85 - 100	Exelente
70 - 85	Muy bueno
55 - 70	Bueno
40 - 55	Regular
25 - 40	Malo
10 -25	Muy malo
0- 10	Fallado

Fuente: Procedimiento estándar PCI según ASTM D 6433-03. Elaboración propia.



De igual forma, de acuerdo con Tacza y Rodríguez (2018: P.36) “el método Pavement Condition Index (PCI) considera 19 clases de fallas más comunes en el deterioro progresivo del pavimento flexible, las cuales, son agrupadas en 4 categorías, a saber:

1. -) Fisuras y grietas: Piel de Cocodrilo; Agrietamiento en bloque; Grieta de Borde; Grieta de Reflexión de Junta; Grietas Longitudinales y transversales; Cruce de vía férrea y Grietas parabólicas.

2.-) Deformaciones superficiales: Abultamientos y Hundimientos; Corrugación; Depresión; Ahuellamiento; Desplazamiento e Hinchamiento.

3.-) Desprendimientos: Huecos y Desprendimiento de Agregados

4.-) Otras fallas: Exudación; Pulimento de Agregados; Desnivel Carril / Berma y Parcheo y acometidas.

Sobre la base de las consideraciones anteriores el objetivo de este estudio fue diagnosticar mediante el método PCI el estado del pavimento flexible, de

la vía ubicada entre el sitio Mejía y el sitio Pechiche de la ciudad de Portoviejo, provincia de Manabí.

Índice de Irregularidad Internacional (IRI)

La regularidad superficial es una medida del comportamiento funcional de un pavimento, a veces la única característica que percibe el usuario de la carretera, fundamentalmente, a través de la sensación de mayor o menor comodidad en la circulación. Se puede definir como el conjunto de efectos causados en los vehículos por las variaciones en el perfil real de la calzada, respecto del teórico del proyecto (Pinilla V., 2007, pág. 66).

El Índice de Rugosidad Internacional es el primer índice de perfil ampliamente utilizado, donde el método de análisis está adaptado para trabajar con diferentes tipos de equipos de medición de rugosidad y se puede decir que es una propiedad del perfil de un camino.

El cálculo del Índice Internacional de Rugosidad se basa en un modelo matemático llamado Cuarto de Carro (Quarter-Car). El sistema del Cuarto de Carro calcula la deflexión de la

suspensión de un sistema mecánico simulado como una respuesta similar a la que tuviera el pasajero. Los desplazamientos de la suspensión del modelo son acumulados y divididos entre la distancia recorrida para dar el Índice Internacional de Rugosidad, y está representado en unidades de m/km., mm/m, in/mi, etc. (Zevallos G., 2016 pág. 27).

Las unidades de IRI en m/km son comúnmente usadas en países de Latinoamérica y en el lado oeste de Europa; por otro lado, las unidades pulg/milla son usadas comúnmente por el estado americano y países al este de Europa; así como los países asiáticos.

La Norma Ecuatoriana tiene por objetivo establecer requisitos mínimos para: el diseño, construcción, mantenimiento, rehabilitación y reposición de pavimentos, desde el punto de vista de la mecánica de suelos y de la ingeniería de pavimentos con el fin de asegurar la durabilidad, y el correcto comportamiento de pistas y estacionamientos de pavimentos urbanos, a lo largo de su vida de servicio.

En el sexto volumen de la NEVI-12, correspondiente a "Conservación vial", en su capítulo 6.200 "Manual de estudios para programar obras de conservación de pavimentos de carreteras", en la subsección 6.203.3 "Medición del perfil y de la regularidad superficial del pavimento" existen controles, modelaciones y tolerancias del índice de regularidad (IRI) para el mantenimiento o rehabilitación del pavimento. El presente estudio busca cumplir con los parámetros establecidos en lo que concierne a regularidad superficial o rugosidad:

- ✓ Para la mejor interpretación y aplicación de las medidas, éstas deben realizarse en cada carril sobre las huellas de circulación de los vehículos.
- ✓ Los resultados de las mediciones deberán ser convertidos a unidades de IRI, mediante alguna ecuación apropiada de correlación o mediante algún programa computacional apropiado.
- ✓ La medición de la rugosidad en pavimentos se realizará finalizada la obra como control final de calidad y aceptación de la misma.



- ✓ El límite establecido para pavimentos asfálticos con gran regularidad superficial es de 2 m/km para volumen de tránsito medio y alto.
- ✓ No hay un límite de regularidad superficial establecido para el

caso de pavimentos rígidos. En otros países, por ejemplo, Uruguay, hacen una distinción entre los valores del IRI para cada tipo de pavimento (Arriaga et al., 1998), como se observa en la Tabla 2.

Tabla 2: Límites de IRI aplicados en Uruguay.

Condición del camino	Pavimento asfáltico	Pavimento hidráulico
	IRI (m/km)	IRI (m/km)
Muy bueno	< 3.2	< 2.8
Bueno	3.2 – 3.9	2.8 – 3.5
Regular	4.0 – 4.6	3.6 – 4.3
Malo	> 4.6	>4.3

Fuente: (Arriaga et al., 1998).

Para el método de medición se utilizará el programa IRI-Calc-Free que permite calcular el IRI con los sensores de vibración y el GPS de los dispositivos móviles con sistema operativo Android. Realiza gráficas e informes además de permitir su calibración, teniendo en cuenta que el cálculo es aproximado y se presenta como una gran opción debido a que es una herramienta de uso gratuito.

Debe conocerse que para que la aplicación proporcione resultados confiables es necesario que se realice el recorrido a una velocidad constantes de 80km/h.

Índice de serviciabilidad del pavimento (PSI)

La serviciabilidad se define como la percepción que tienen los usuarios del nivel de servicio del pavimento, por tal razón es que la opinión de ellos es la que debe ser medida para calificar la serviciabilidad.

Se definió una escala de evaluación de 0 a 5. En ella una evaluación con nota 5 significa una superficie perfecta, mientras que una nota 0 significa intransitable. De acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 3: Escala de serviciabilidad.

PSI	TRANSITABILIDAD
0 - 1	MUY MALA
1 - 2	MALA
2 - 3	REGULAR
3 - 4	BUENA
4 - 5	MUY BUENA

Fuente: (Del Aguila R., 1999).

Para el cálculo del PSI, luego de encontrar IRI del Pavimento, los investigadores decidieron correlacionar al IRI con el PSI, empleando los siguientes modelos de Ecuación:

Ecuación de Paterson:

$$PSIp = 5 * e^{(-0,18*IRI)}$$

Ecuación de Al Omari y Darter:

$$PSIp = 5 * e^{(-0,261*IRI)}$$

Ecuación de Dujisin y Arroyo:

$$PSIda = 5,85 - 1,68 * IRI^{(0,5)}$$

Materiales y Equipos

En el desarrollo de las actividades además de los materiales de oficina, se necesitó la utilización de los siguientes equipos y materiales:

Tabla 4: Materiales y equipos para el estudio.

Materiales de campo	Flexómetro
	Cinta Métrica
	GPS
	Cámara fotográfica
	Celular Xiaomi Redmi Note 9
Materiales de oficina	Computadora
	Bolígrafos
	Libretas
	Hoja de registro

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con las mediciones en el campo se obtuvieron los siguientes datos:

- ✓ Longitud de la vía: 5500 metros.
- ✓ Ancho de Calzada: 6.40 metros.

- ✓ Número de Carriles: 2.
- ✓ Tipo de Pavimento: Flexible



3. Resultados y discusión

Índice de condición del pavimento pci

Los resultados obtenidos se presentan siguiendo una secuencia ordenada: En primer lugar, se realiza la identificación de las fallas existentes en la zona de estudio mediante una hoja de registro; en segundo lugar, se muestran los valores calculados del PCI en las diferentes unidades de muestra analizadas y toda la sección del tramo en estudio y en tercer lugar se presenta un resumen con todas las alternativas de intervención propuestas en función a las fallas que inciden en las diferentes unidades de muestra analizadas y al

valor del PCI que está asociada con el tipo de intervención requerido para mejorar la condición de la vía.

Severidad de las fallas.

La utilización del método del PCI incluye la clasificación de las fallas según su tipo de severidad que estas presentaron cuando se realizó la inspección del pavimento en la zona de estudio. Así, las clases de severidad se clasifican en baja (L), media (M) y alta (H), el criterio de evaluación varía según el tipo de falla en análisis. Los resultados obtenidos para las fallas incidentes que se presenta el pavimento en estudio de las 11 Unidades de Muestra de la vía entre el sitio Mejía y el sitio Pechiche. (Ver tabla 5)

Tabla 5: Resultados obtenidos de la severidad de fallas incidentes que presenta la vía entre el sitio Mejía y el sitio Pechiche, del cantón Portoviejo, provincia de Manabí.

No.	TIPO DE FALLA	SEVERIDAD		
		L	M	H
1	FISURA LONGITUDINAL	15	9	
2	AHULLAMIENTO	3	12	6
3	BACHE		9	6
4	PIEL DE COCODRILO	3	9	6
5	FISURA POR DESLIZAMIENTO	3	6	
6	BULTO Y HUNDIMIENTO		15	3

Fuente: Elaboración propia.

Fallas incidentes.

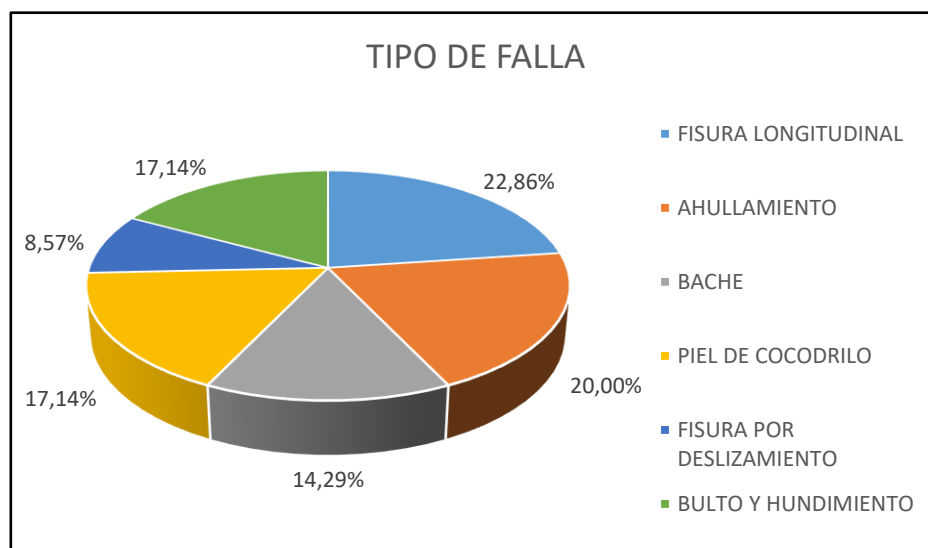
Como el total de los tipos de fallas existentes en las unidades de muestras intervenidas fueron de 6

tipos y teniendo en consideración que la propuesta de intervención, debe realizarse en función a cada falla registrada en la zona de estudio, se decidió considerar a los 6 tipos de

fallas existentes como fallas incidentes, En la ilustración 3, se muestra la distribución de las fallas

incidentes consideradas en función al porcentaje que representa cada una.

Ilustración 3: Distribución de las fallas incidentes consideradas en función al porcentaje que representa cada una de las encontrada en el pavimento de la vía entre el sitio Mejía y el sitio Pechiche, del cantón Portoviejo, provincia de Manabí.



Fuente: Elaboración propia.

Valor del PCI por unidad de muestra.

Una vez definidos los parámetros necesarios: Tipo de falla, Cantidad, Severidad, Densidad, Valor deducido, entre otros, para la evaluación del pavimento mediante

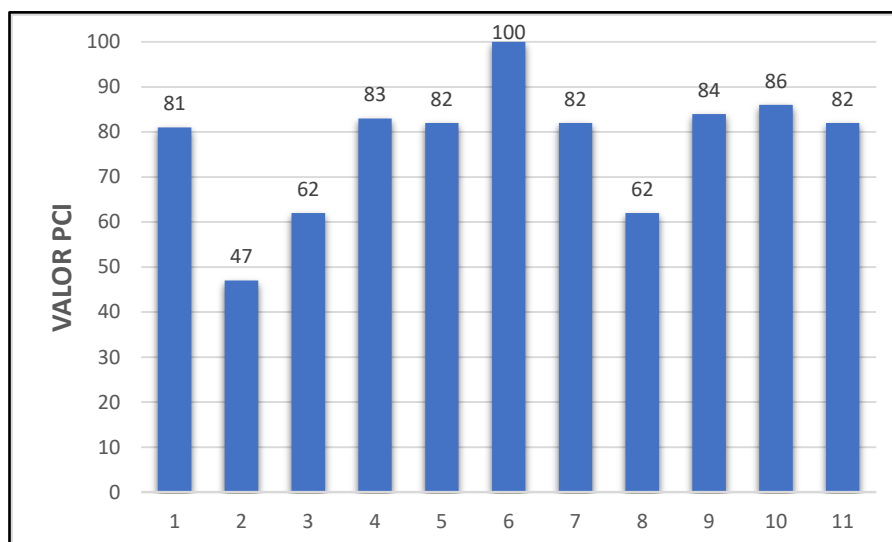
el método PCI, se procedió a aplicar dicho método a las 11 Unidades de muestra para poder conocer sus valores y la condición en la que se encuentran actualmente. Se muestran los resultados consolidados de las 26 Unidades de muestras en estudio.

Tabla 6: Resultados consolidados de las 11 Unidades de muestra en el estudio de la vía entre el sitio Mejía y el sitio Pechiche, del cantón Portoviejo, provincia de Manabí.

UNIDADES DE MUESTRAS	ABSC. INICIAL	ABSC. FINAL	VALOR PCI	CONDICIÓN
1	0+000	0+500	81	Muy Bueno
2	0+500	1+000	47	Regular
3	1+000	1+500	62	Bueno
4	1+500	2+000	83	Muy Bueno
5	2+000	2+500	82	Muy Bueno
6	2+500	3+000	100	Excelente
7	3+000	3+500	82	Muy Bueno
8	3+500	4+000	62	Bueno
9	4+000	4+500	84	Muy Bueno
10	4+500	5+000	86	Excelente
11	5+000	5+500	82	Muy Bueno
Promedio			77	Muy Bueno

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 4: Resultados consolidados de las 11 Unidades de muestra en el estudio de la vía entre el sitio Mejía y el sitio Pechiche, del cantón Portoviejo, provincia de Manabí.

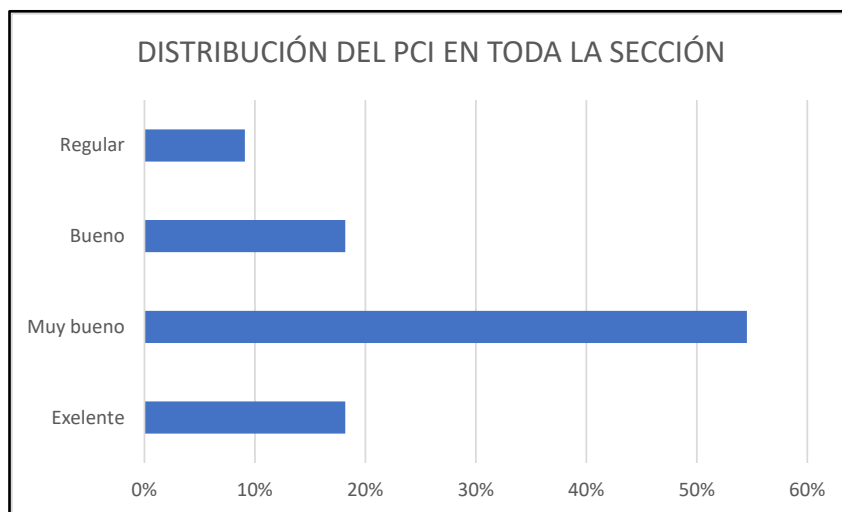


Fuente: Elaboración propia.

Valor del PCI de la sección.

Esta evaluación del PCI se realiza a partir de los resultados obtenidos en cada unidad de muestra.

Ilustración 5: Resultados del PCI de la sección de las unidades de muestra en el estudio de la vía entre el sitio Mejía y el sitio Pechiche, del cantón Portoviejo, provincia de Manabí.



Fuente: Elaboración propia.

ÍNDICE DE IRREGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI)

Aplicación IRI-Calc-Free.

La aplicación IRI-Calc-Free nos facilita los archivos con extensión csv para muestra de los resultados.

Ilustración 5: Logo IRI-Calcul-Free.



Fuente: (IRI-Calcul-Free).

Tabla 7: Resultados del IRI-Calc-Free en el estudio de la vía entre el sitio Mejía y el sitio Pechiche, del cantón Portoviejo, provincia de Manabí.

-0,984888	-80,444,424	36.43	60.16	2700.00	1.44
-0,984958	-80,443,476	37.19	60.53	2800.00	3.28
-0,984486	-80,442,657	34.99	59.51	2900.00	1.36
-0,984036	-80,441,784	36.48	39.55	3000.00	8.64
-0,984013	-80,440,820	38.42	45.65	3100.00	8.72
-0,984081	-80,439,837	38.17	65.74	3200.00	3.44
-0,984213	-80,438,837	39.18	34.39	3300.00	4.64
-0,984462	-80,437,992	41.42	38.22	3400.00	9.6
-0,984705	-80,437,104	42.55	48.76	3500.00	3.44
-0,984499	-80,436,152	41.71	54.93	3600.00	1.36
-0,984859	-80,435,176	41.68	64.5	3700.00	4.32
-0,985123	-80,434,275	42.06	65.86	3800.00	2.32
-0,985187	-80,433,370	41.35	77.37	3900.00	2.08
-0,985185	-80,432,375	42.11	78.54	4000.00	1.84
-0,985163	-80,431,348	41.77	84.72	4100.00	1.52
-0,985180	-80,430,317	42.6	78.86	4200.00	1.2
-0,985212	-80,429,309	43.16	83.72	4300.00	1.36
-0,985289	-80,428,328	43.77	67.27	4400.00	3.6
-0,985675	-80,427,466	46.68	32.61	4500.00	9.92
-0,986088	-80,426,701	50.55	44.55	4600.00	8
-0,986495	-80,425,832	51.54	31.23	4700.00	5.68
-0,986734	-80,424,952	52.49	46.73	4800.00	9.52
-0,985180	-80,424,033	41.42	38.22	4900.00	1.44
-0,985212	-80,423,151	42.55	48.76	5000.00	3.28
-0,985289	-80,422,270	41.71	54.93	5100.00	1.36
-0,985675	-80,421,389	41.68	64.5	5200.00	8.64
-0,986088	-80,420,508	42.06	65.86	5300.00	8.72
-0,986495	-80,419,626	41.35	77.37	5400.00	3.44
-0,986734	-80,418,745	42.11	78.54	5500.00	4.64

Fuente: Elaboración propia.

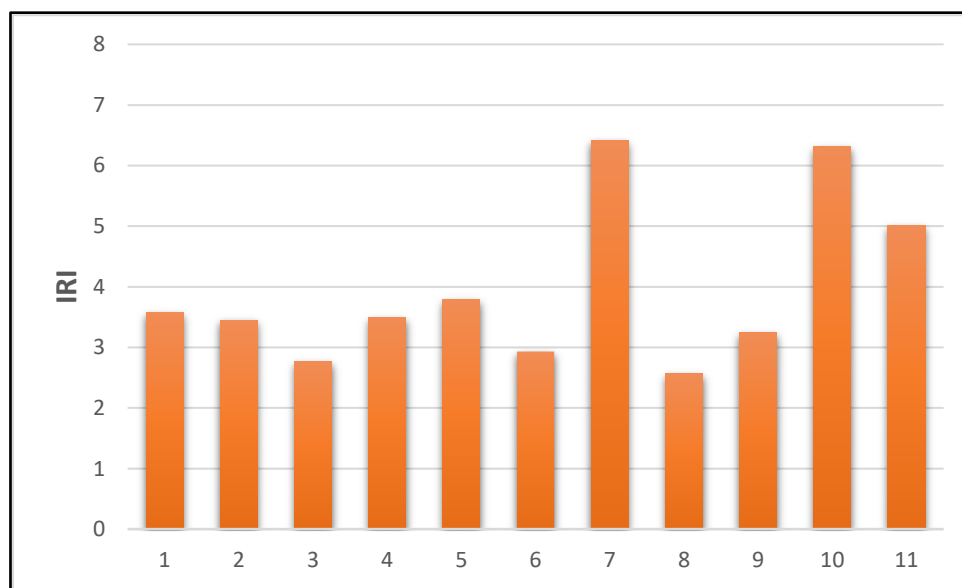
Como resultado del IRI-Calc-Free obtenemos el valor promedio del IRI=4.00 con una condición de la vía Regular.

Tabla 8: Resultados del IRI-Calc-Free por unidad de muestra en el estudio de la vía entre el sitio Mejía y el sitio Pechiche, del cantón Portoviejo, provincia de Manabí.

UNIDADES DE MUESTRAS	ABSC. INICIAL	ABSC. FINAL	IRI	CONDICIÓN
1	0+000	0+500	3.57	Bueno
2	0+500	1+000	3.45	Bueno
3	1+000	1+500	2.77	Muy bueno
4	1+500	2+000	3.49	Bueno
5	2+000	2+500	3.79	Bueno
6	2+500	3+000	2.93	Muy bueno
7	3+000	3+500	6.41	Malo
8	3+500	4+000	2.56	Muy bueno
9	4+000	4+500	3.24	Bueno
10	4+500	5+000	6.31	Malo
11	5+000	5+500	5.01	Malo
Promedio			4.00	
			Regular	

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 6: Resultados del IRI-Calc-Free por unidad de muestra en el estudio de la vía entre el sitio Mejía y el sitio Pechiche, del cantón Portoviejo, provincia de Manabí.



Fuente: Elaboración propia.

ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD DEL PAVIMENTO (PSI)

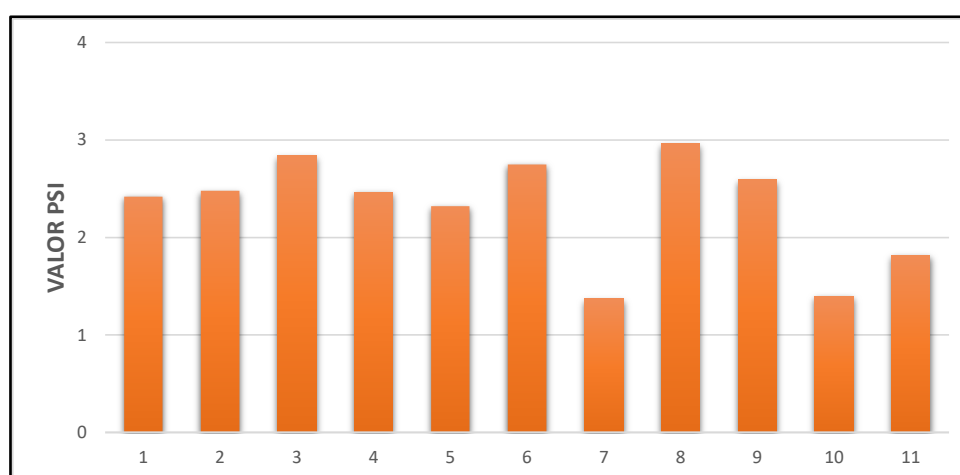
Aplicando las ecuaciones de “Peterson”, “Al Omari y Darter” y “Dujisin Arroyo” obtuvimos un $PSI=2.00$, este valor se encuentra en el rango de 2 a 3 lo que significa que la vía nos ofrece una REGULAR TRANSITABILIDAD.

Tabla 9: Resultados del PSI por unidad de muestra en el estudio de la vía entre el sitio Mejía y el sitio Pechiche, del cantón Portoviejo, provincia de Manabí.

UNIDADES DE MUESTRAS	ABSC. INICIAL	ABSC. FINAL	VALOR PSI	TRANSITABILIDAD
1	0+000	0+500	2.42	Regular
2	0+500	1+000	2.48	Regular
3	1+000	1+500	2.84	Regular
4	1+500	2+000	2.46	Regular
5	2+000	2+500	2.32	Regular
6	2+500	3+000	2.75	Regular
7	3+000	3+500	1.37	Mala
8	3+500	4+000	2.96	Regular
9	4+000	4+500	2.59	Regular
10	4+500	5+000	1.4	Mala
11	5+000	5+500	1.82	Mala
Promedio			2.00	
			Regular	

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 7: Resultados del PSI por unidad de muestra en el estudio de la vía entre el sitio Mejía y el sitio Pechiche, del cantón Portoviejo, provincia de Manabí.



Fuente: Elaboración propia.



Recomendaciones

Tabla 8: Recomendaciones de mantenimiento en base a los resultados obtenidos por unidad de muestra en el estudio de la vía entre el sitio Mejía y el sitio Pechiche, del cantón Portoviejo, provincia de Manabí.

TRAMOS EVALUADOS	TRATAMIENTO	RECOMENDACIONES
0+000 - 0+500	Mantenimiento correctivo	En esta sección se presenta fallas de fisuras longitudinales y ahuellamientos de severidad baja y media, se recomienda realizar un mantenimiento correctivo, para de esta manera prolongar la vida útil del pavimento, el caso de la fisura longitudinal realizar un sello de grietas y para el ahuellamiento con severidad un recapeo.
0+500 - 1+000	Rehabilitación	La recomendación para la sección según los tipos de fallas en el pavimento es realizar tipo de mantenimiento de Rehabilitación (Rehabilitation), al tener una falla de ahuellamiento, baches y piel de cocodrilo de severidad H (alta), aquí se puede ocasionar daño en el pavimento y en algunos casos en la estructura, se recomienda realizar técnicas de tratamientos como perfilado en frío y un recapeo con mezcla en caliente.
1+000 - 1+500	Recapeo	Para esta sección se recomienda realizar un bacheo o recapeo según el tipo de falla ahuellamiento con severidad M y piel de cocodrilo con un severidad H ya que se tiene un nivel considerado de daño en la carpeta asfáltica, dependiendo el tipo de severidad presente se debe hacer un perfilado en frío y recapeo o bacheo (mezcla en frío o en caliente).
1+500 - 2+000	Mantenimiento correctivo	En esta sección se tiene un falla tipo ahuellamiento Y piel de cocodrilo de severidad, con lo que se considera realizar un mantenimiento correctivo para ser reparable a tiempo y evitar sobrecostos de mantenimiento.
2+000 - 2+500	Mantenimiento correctivo	Para esta sección se considera realizar un mantenimiento correctivo para ser reparable a tiempo y evitar sobrecostos de mantenimiento, dependiendo de la severidad se realiza un sello de fisura y un bacheo.
2+500 - 3+000	Mantenimiento preventivo	Esta sección al momento de la inspección y levantamiento de información en campo se tiene que el pavimento se encuentra en perfecto estado y no se encontró fallas en el pavimento, pero de igual manera se recomienda la realización de trabajos de mantenimiento preventivo para lograr una mejor vida al pavimento y de esta manera retrasar el daño progresivo del pavimento, se puede realizar trabajos de mantenimiento rutinario, como trabajos elementales como limpieza de cunetas y alcantarillas, corte de ramas entre otros
3+000 - 3+500	Mantenimiento correctivo	Para la sección, se tiene un valor de PCI de 92 con una condición funcional de MUY BUENO, en esta sección se tiene un falla tipo ahuellamiento Y piel de cocodrilo de severidad (M), con lo que se considera realizar un mantenimiento correctivo para ser reparable a tiempo y evitar sobrecostos de mantenimiento.
3+500 - 4+000	Recapeo	Se recomienda realizar un bacheo o recapeo según el tipo de falla fisura de deslizamiento y baches, ya que se tiene un nivel considerado de daño en la carpeta asfáltica, dependiendo el tipo de severidad presente se debe hacer un recapeo o bacheo (mezcla en frío o en caliente)
4+000 - 4+500	Mantenimiento correctivo	En esta sección se tiene un falla tipo bache y fisura longitudinal, con lo que se considera realizar un mantenimiento correctivo para ser reparable a tiempo y evitar sobrecostos de mantenimiento.
4+500 - 5+000	Mantenimiento preventivo	Esta sección al momento de la inspección y levantamiento de información en campo se tiene que el pavimento tiene una falla de fisura longitudinal con severidad M pero de igual manera se recomienda la realización de trabajos de mantenimiento correctivo para lograr una mejor vida al pavimento y de esta manera retrasar el daño progresivo del pavimento.
5+000 - 5+500	Mantenimiento Correctivo	Esta sección al momento de la inspección y levantamiento de información en campo se tiene que el pavimento tiene una falla de fisura longitudinal con severidad L pero de igual manera se recomienda la realización de trabajos de mantenimiento correctivo como sello de grietas para lograr una mejor vida al pavimento y de esta manera retrasar el daño progresivo del pavimento

Fuente: Elaboración propia.

Discusión

El mantenimiento de las carreteras es una tarea importante para garantizar la seguridad y la comodidad de los usuarios de las vías. En la evaluación del pavimento flexible en la red vial rural de Portoviejo, se han identificado diferentes tipos de fallas en el pavimento que requieren diferentes tipos de mantenimiento. En este caso, se recomienda el mantenimiento correctivo, la rehabilitación y el recapeo según la severidad de la falla (Inés & Pedro, 2014).

En la primera sección de la carretera evaluada, se han identificado fallas de fisuras longitudinales y ahuellamientos de severidad baja y media. Estas fallas pueden ser reparadas con mantenimiento correctivo, como el sello de grietas y el recapeo. El sello de grietas es una técnica que consiste en aplicar un sellador sobre las fisuras para evitar la entrada de agua y otros materiales que puedan dañar el pavimento. Por otro lado, el recapeo implica la colocación de una nueva capa de asfalto sobre la capa existente para

corregir los ahuellamientos (Avila, Albarracín & Bojorque, 2015).

En la siguiente sección de la carretera evaluada, se han identificado fallas de ahuellamientos, baches y piel de cocodrilo de severidad alta. Estas fallas requieren un tipo de mantenimiento de rehabilitación que implica técnicas de tratamiento, como el perfilado en frío y el recapeo con mezcla en caliente. El perfilado en frío es una técnica que consiste en remover la capa superficial del pavimento para mejorar la superficie y la adherencia (Paucar Curo, 2019). Por otro lado, el recapeo con mezcla en caliente implica la colocación de una nueva capa de asfalto caliente sobre la capa existente para corregir los ahuellamientos y las fallas de piel de cocodrilo.

En la tercera sección de la carretera evaluada, se han identificado fallas de ahuellamiento con severidad media y piel de cocodrilo con severidad alta. Estas fallas pueden ser reparadas con un bacheo o recapeo, dependiendo del tipo de severidad presente (González-Fernández, Ruiz-Caballero & Guerrero-Valverde, 2019). El perfilado en frío y el recapeo son



técnicas que pueden utilizarse para corregir estas fallas y mejorar la superficie de la carretera (Barros, 2022).

En la cuarta sección se considera realizar un mantenimiento correctivo para ser reparable a tiempo y evitar sobrecostos de mantenimiento, dependiendo de la severidad se realiza un sello de fisura y un bacheo.

En la quinta sección se encontró que el pavimento se encuentra en perfecto estado y no se encontró fallas en el pavimento, pero de igual manera se recomienda la realización de trabajos de mantenimiento preventivo para lograr una mejor vida al pavimento y de esta manera retrasar el daño progresivo del pavimento, se puede realizar trabajos de mantenimiento rutinario, como trabajos elementales como limpieza de cunetas y alcantarillas, corte de ramas entre otros (Palomino Rios, 2020).

Para la sexta sección, se tiene un valor de PCI de 92 con una condición funcional de MUY BUENO, en esta sección se tiene una falla tipo ahuellamiento Y piel de cocodrilo de severidad (M), con lo que se

considera realizar un mantenimiento correctivo para ser reparado a tiempo y evitar sobrecostos de mantenimiento.

Por otro lado, en la séptima sección se recomienda realizar un bacheo o recapeo según el tipo de falla fisura de deslizamiento y baches, ya que se tiene un nivel considerado de daño en la carpeta asfáltica, dependiendo el tipo de severidad presente se debe hacer un recapeo o bacheo (mezcla en frío o en caliente).

En la octava sección del tramo 4+000 - 4+5000 se tiene una falla tipo bache y fisura longitudinal, con lo que se considera realizar un mantenimiento correctivo para ser reparado a tiempo y evitar sobrecostos de mantenimiento.

Las inversiones en el mantenimiento de estos caminos son fundamentales para mejorar la calidad y la durabilidad a largo plazo de los pavimentos (Chuyo et al., 2021). Además, la planificación estratégica del mantenimiento vial es fundamental para una correcta gestión de los recursos y una planificación eficaz de las actividades de mantenimiento. En

este sentido, la autoridad competente debe tomar en cuenta los resultados de la evaluación del desempeño del pavimento y desarrollar estrategias adecuadas para mejorar la calidad de la infraestructura vial en la región ((Khattak & Bhuyan, 2023).

Estos resultados son similares a los obtenidos por Khahro, (2022) quien sostiene que los métodos de mantenimiento de pavimentos existentes tienen objetivos específicos y carecen de integración de varios indicadores que son significativos para los pavimentos de bajo costo. El mantenimiento de pavimentos es una preocupación clave para los países en desarrollo, a tal punto en el que hoy por hoy, se enfrentan a graves desafíos de financiación en relación con los planes de mantenimiento (Dhabal, 2021). En ese sentido, La rehabilitación de pavimentos de acuerdo con las normativas internacionales mencionadas es de vital importancia para garantizar la seguridad vial, prolongar la vida útil de las carreteras y optimizar la inversión en infraestructura vial. Los pavimentos flexibles, como las carreteras asfaltadas, están

expuestos constantemente a las inclemencias del clima, el tráfico pesado y el desgaste natural, lo que conlleva a su deterioro progresivo (Momin & Hamim, 2022).

La aplicación de las normativas de rehabilitación de pavimentos, como la ASTM D6433 o la AASHTO R35, permite establecer criterios técnicos y procedimientos específicos para realizar las intervenciones de manera eficiente y efectiva. Estas normativas definen los materiales adecuados, los métodos de construcción y las pruebas de rendimiento que deben cumplirse para asegurar la calidad y durabilidad de los pavimentos rehabilitados. La importancia de seguir estas normativas radica en que permiten realizar diagnósticos precisos del estado del pavimento y determinar las mejores estrategias de rehabilitación. Por supuesto, esto incluye desde el sellado de grietas y baches hasta la aplicación de tratamientos superficiales y la reconstrucción de capas de asfalto (Khahro et al., 2021). Al seguir estos estándares, se evita la improvisación y se garantiza una intervención adecuada que prolongará la vida útil de la carretera.



4. Conclusiones

En primer lugar, se ha obtenido información científica y técnica sólida basada en metodologías rigurosas. A través de un exhaustivo análisis, se ha evaluado la funcionalidad de los pavimentos flexibles en la red vial rural, permitiéndonos comprender su estado actual y las problemáticas asociadas. En ese sentido, la red de caminos rurales de Portoviejo, un sistema vial que conecta las áreas rurales de la región con las áreas urbanas, es muy importante para el desarrollo económico y social de la región. Por lo tanto, la superficie de estos caminos debe estar en mejores condiciones para garantizar la seguridad y comodidad de los usuarios y reducir los costos de mantenimiento.

En segundo lugar, se han identificado con precisión las fallas funcionales presentes en la red vial rural de Portoviejo. Mediante inspecciones detalladas y evaluaciones de campo, se han detectado las principales deficiencias que afectan el desempeño de los pavimentos flexibles en la zona. La evaluación funcional del pavimento flexible en la red vial rural de Portoviejo se realiza

mediante un conjunto de técnicas y métodos que miden la resistencia del pavimento a factores como carga vehicular, rugosidad, capacidad de drenaje, etc.

En tercer lugar, se ha llevado a cabo un análisis exhaustivo del nivel de deterioro de los pavimentos flexibles en la red vial rural de Portoviejo. Este análisis ha permitido cuantificar y clasificar el grado de daño presente en cada tramo de carretera, brindando una visión clara del estado general de los pavimentos y su capacidad para soportar la carga vehicular. Una de las principales conclusiones de la evaluación funcional de los pavimentos flexibles de la red vial rural de Portoviejo es la necesidad de una mayor inversión en el mantenimiento de estos caminos, dado que la falta de mantenimiento y la mala calidad de los materiales utilizados en la construcción de carreteras son factores que contribuyen al deterioro de las superficies de las carreteras y al deterioro general de la infraestructura vial. Por ello, las autoridades deben destinar los recursos necesarios para mejorar la calidad del pavimento y garantizar la seguridad y comodidad de los

usuarios de la red vial rural en Portoviejo.

Finalmente, a partir de las fallencias detectadas en la red vial de Portoviejo, se han planteado soluciones técnicas de mantenimiento y restauración de pavimentos flexibles. Estas soluciones se han diseñado específicamente para abordar los problemas identificados, optimizando así la funcionalidad de la red vial y garantizando un transporte seguro y eficiente para los usuarios. Cabe señalar la importancia de la planificación estratégica en el mantenimiento vial, considerada una herramienta invaluable para identificar puntos clave en el camino y desarrollar estrategias apropiadas de mantenimiento y mejora. Sin embargo, estas estrategias deben integrarse en los planes de mantenimiento a largo plazo para administrar adecuadamente los recursos y planificar estratégicamente las actividades de mantenimiento. Por tanto, la evaluación funcional de los pavimentos flexibles de la red vial de Portoviejo es una herramienta fundamental para garantizar la

seguridad y el confort de estos usuarios de la vía y reducir los costes de mantenimiento.

Bibliografía

- Avila, E., Albarracín, F., & Bojorque, J. (2015). Evaluación de pavimentos en base a métodos no destructivos y análisis inverso. *Maskana*, 6(1), 149-167.
- Barros, Rulian. (2022). Development and Evaluation of Performance Models for Asphalt, Concrete, and Composite Pavements Using Machine Learning.
- Chuyo, L. D. K. C., Pérez, S. M., Aguilar, J. J. P., & Silva, R. V. R. (2021). Tecnologías empleadas en la evaluación de pavimentos e impacto que han generado. *Llamkasun*, 2(1), 29-44.
- Danchuk, V., Ameen, T., Bakulich, O., & Svatko, V. (2021, August). Simulation Processes of Construction of Optimal Routes for the Delivery of Goods by Road Transport on Urban Road Network in Mountainous Cities. In *International Conference TRANSBALTICA: Transportation Science and Technology* (pp. 112-121). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-38666-5_12



- Dhabal, Arghya. (2021). A Comprehensive Study on Life Cycle Cost Examination for a Road (Preamser Hirnikheda Mundla) Project in Madhya Pradesh. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. 9. 554-572. 10.22214/ijraset.2021.37981.
- Fuentes, L., Taborda, K., Hu, X., Horak, E., Bai, T., & Walubita, L. F. (2020). A probabilistic approach to detect structural problems in flexible pavement sections at network level assessment. *International Journal of Pavement Engineering*, 1-14. <https://doi.org/10.1080/10298436.2020.1828586>
- González-Fernández, H., Ruiz-Caballero, P., & Guerrero-Valverde, D. (2019). Propuesta de metodología para la evaluación de pavimentos mediante el Índice de Condición del Pavimento (PCI). *Ciencia en su PC*, 1(1), 58-72.
- Huang, H., Luo, J., Moaveni, M., Qamhia, I. I., Tutumluer, E., & Tingle, J. S. (2019). Advanced analytical tool for flexible pavement design and evaluation. In *Airfield and Highway Pavements 2019: Design, Construction, Condition Evaluation, and Management of Pavements* (pp. 61-71). Reston, VA: American Society of Civil Engineers. <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/9780784482452.007>
- Inés, B. C. G., & Pedro, R. O. M. (2014). Evaluación de pavimentos y decisiones de conservación con base en sistemas de inferencia difusos. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 15(3), 391-402.
- Khahro, Shabir & Memon, Zubair & Yu, Nur & Gungat, Lillian & Mat Yazid, Muhamad. (2021). Defects in Flexible Pavements: A Relationship Assessment of Defects for Low-Cost Pavement Management System. 10.21203/rs.3.rs-1205752/v1.
- Khahro, Shabir. (2022). Defects in Flexible Pavements: A Relationship Assessment of the Defects of a Low-Cost Pavement Management System. *Sustainability*. 14. 16475. 10.3390/su142416475.
- Khattak, Mohammad & Bhuyan, Mohammad. (2023). Performance Evaluation of Chip Seal Treatment on Flexible Pavements. *International Journal of Pavement Research and Technology*. 10.1007/s42947-023-00305-y.

- Lizcano, F. R., & Quintana, H. R. (2015). Pavimentos: materiales, construcción y diseño. ECOE ediciones.
- Mera, W., Vera, X., La Tegola, A., & Ponce, G. (2017). April 2016 ecuador earthquake of moment magnitude mw7. 8: Overview and damage report. In Key Engineering Materials (Vol. 747, pp. 662-669). Trans Tech Publications Ltd. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.747.662>
- Momin, Khondhaker & Hamim, Omar Faruqe. (2022). Pavement Management System Using Deflection Prediction Model of Flexible Pavements in Bangladesh. 10.1007/978-981-16-5547-0_34.
- Navarro-Cantú, J., & Rojas-Huacón, N. (2020). Estudio comparativo de la generación de residuos en secciones representativas de carreteras en México, Ecuador y España (Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- Palomino Rios, V. A. (2020). Análisis de las técnicas de evaluación en pavimentos asfálticos: una revisión de la literatura científica.
- Paucar Curo, E. F. (2019). Evaluación de pavimentos flexibles y rígidos aplicando las metodologías de inspección visual de zonas y rutas en riesgo e índice de condición del pavimento para el mantenimiento vial, caso de la Av. Floral y Jr. Carabaya, Puno.
- Pérez-Acebo, H., Bejan, S., & Gonzalo-Orden, H. (2018). Transition probability matrices for flexible pavement deterioration models with half-year cycle time. International Journal of Civil Engineering, 16(9), 1045-1056. <https://doi.org/10.1007/s40999-017-0254-z>
- Singh, A., Sharma, A., & Chopra, T. (2020). Analysis of The Flexible Pavement Using Falling Weight Deflectometer for Indian National Highway Road Network. Transportation Research Procedia, 48, 3969-3979. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.08.024>