



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Identificación y evaluación de métodos no destructivos en la evaluación de fallas estructurales del pavimento flexible y su aplicación en la Región Piura.

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Civil**

AUTOR:

Huerta Galvez, Sally Rosalva (orcid.org/0000-0002-3339-8401)

ASESOR:

Ing. Marcelo Sanchez, Ary Garlyn (orcid.org/0000-0002-4805-3860)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de Infraestructura Vial

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

PIURA — PERÚ

2023

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mis padres por su apoyo incondicional y sus enseñanzas que me brindan día a día.

A nuestro asesor por su guía, paciencia y dedicación que nos muestra en cada una de las sesiones, lo cual ha sido fundamental para la realización de mi proyecto de investigación.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecer a Dios por darme capacidad y entendimiento para desarrollar este artículo científico.

A mis padres por su apoyo moral y económico que siempre me brindan para seguir adelante con nuestras metas propuestas.

También a nuestro asesor, el Ing. Ary Garlyn Marcelo Sánchez, gracias a su conocimiento y ayuda para concluir con éxito esta tesis



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, MARCELO SANCHEZ ARY GARLYN, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - PIURA, asesor de Tesis Completa titulada: "Identificación y evaluación de métodos no destructivos en la evaluación de fallas estructurales del pavimento flexible y su aplicación en la Región Piura.", cuyo autor es HUERTA GALVEZ SALLY ROSALVA, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 12.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis Completa cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

PIURA, 14 de Febrero del 2024

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
MARCELO SANCHEZ ARY GARLYN DNI: 80225075 ORCID: 0000-0002-4805-3860	Firmado electrónicamente por: ARYMARCELOS el 14-02-2024 09:31:49

Código documento Trilce: TRI - 0738081



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Declaratoria de Originalidad del Autor

Yo, HUERTA GALVEZ SALLY ROSALVA estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - PIURA, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Identificación y evaluación de métodos no destructivos en la evaluación de fallas estructurales del pavimento flexible y su aplicación en la Región Piura.", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
HUERTA GALVEZ SALLY ROSALVA DNI: 72453096 ORCID: 0000-0002-3339-8401	Firmado electrónicamente por: SHUERTAGA el 15-02- 2024 08:06:37

Código documento Trilce: INV - 1574664

Índice de contenidos

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento	iii
Declaratoria de Autenticidad del Asesor.....	iv
Declaratoria de Originalidad del Autor	v
Índice de contenidos.....	vi
Índice de tablas y figuras.....	vii
Resumen.....	viii
Abstract.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO	3
III.METODOLOGÍA.....	10
3.1 Tipo y diseño de investigación	10
3.1.1 Enfoque.....	10
3.1.2 Tipo.....	10
3.1.3 Diseño o método de investigación	10
Categorías, Subcategorías y matriz de categorización	11
3.2 Escenario de estudio	12
3.3 Participantes.....	12
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	12
3.5 Procedimiento.....	13
3.6 Rigor científico.....	15
3.7 Método de análisis de datos	15
3.8 Aspectos éticos	15
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
V. CONCLUSIONES	22
VI. RECOMENDACIONES	23
REFERENCIAS	24
ANEXOS.....	36

Índice de gráficos y figuras

Tabla 1 Aspectos valorados para el método viga Benkelman	16
Tabla 2 Tecnología del método viga Benkelman.....	17
Tabla 3 Aspectos valorados para el método PCI.....	17
Tabla 4 Tecnología del método PCI.....	18
Tabla 5 Aspectos valorados para el método Radar de penetración (GPR).....	19
Tabla 6 Tecnología del método Radar de penetración (GPR).....	20
Tabla 7 Aspectos valorados para el método de Termografía e Imágenes infrarrojas.....	21
Tabla 8 Tecnología del método de Termografía e Imágenes infrarrojas.....	22
Tabla 9 Aspectos valorados para el método Análisis de perfil transversal (TPAM).....	23
Tabla 10 Tecnología del método Análisis de perfil transversal (TPAM)	
Tabla 11 Aspectos valorados para el método de Deflectometría	25
Tabla 12 Tecnología el método de Deflectometría.....	26
Tabla 13 Comparación de ventajas, desventajas y efectividad.....	27
Figura 1 Comparación porcentaje de efectividad.....	29
Tabla 14 Categorización.....	44
Tabla 15 categorización apriorística.....	45

RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo identificar los métodos no destructivos existentes para la evaluación de fallas estructurales en pavimentos flexibles y su aplicación en la región Piura. Tiene un enfoque cualitativo, es de tipo descriptiva y tiene un diseño no experimental. Los resultados obtenidos demuestran con que el método de deflectometría de impacto tiene una precisión del 92% en la detección de áreas con debilidades estructurales, pero la presencia de capas delgadas en el pavimento reduce su efectividad en 10%, el método radar de penetración de suelo (GPR) tuvo una precisión de 88% para identificar fisuras y desplazamientos, sin embargo la presencia de agua afecta su precisión en 15%, los métodos de termografía e imágenes infrarrojas tienen una precisión de 85% en la detección de grietas y segregación de material, pero la presencia de sombras afecta su precisión en 12%, el método viga Benkelman es accesible, confiable, económico y recomendado para ser utilizado por gobiernos locales. Finalmente se concluye que los métodos no destructivos son una herramienta efectiva para evaluar las fallas estructurales en pavimentos flexibles, presentan ventajas y limitaciones, por ello es importante tomar en cuenta las condiciones específicas de cada pavimento antes de seleccionar el método adecuado.

Palabras clave: Técnicas de evaluación, Métodos no destructivos, Pavimentos flexibles, Fallas estructurales

ABSTRACT

The objective of this thesis is to identify the existing non-destructive methods for the evaluation of structural failures in flexible pavements and their application in the Piura region. It has a qualitative approach, is descriptive and has a non-experimental design. The results obtained demonstrate that the impact deflectometry method has an accuracy of 92% in detecting areas with structural weaknesses, but the presence of thin layers in the pavement reduces its effectiveness by 10%, the ground penetrating radar method (GPR) had an accuracy of 88% in identifying cracks and displacements, however the presence of water affects its accuracy by 15%, thermography and infrared imaging methods have an accuracy of 85% in detecting cracks and material segregation. , but the presence of shadows affects its accuracy by 12%, the Benkelman beam method is accessible, reliable, economical and recommended for use by local governments. Finally, it is concluded that non-destructive methods are an effective tool to evaluate structural failures in flexible pavements, they present advantages and limitations, therefore it is important to take into account the specific conditions of each pavement before selecting the appropriate method.

Keywords: Evaluation techniques, Non-destructive methods, Flexible pavements, Structural failures

I. INTRODUCCIÓN

Varios artículos científicos a nivel internacional, sobre la problemática de esta investigación han sido llevados a cabo por ciertos autores como Elshamy *et al.* (2020) en la cual abordaron el problema que para el mantenimiento de la pavimentación en relación con la condición estructural comparado con los métodos tradicionales demanda demasiado tiempo, esfuerzo y costo; siendo clave el desarrollo de métodos de monitoreo no destructivo de las condiciones de pavimentos para apoyar a los responsables de tomar las decisiones óptimas y eficientes en la reducción de costos, así como el ahorro de tiempo y predicción de fallas del pavimento.

El pavimento flexible es una parte importante de la infraestructura vial que se encuentra en constante uso y desgaste. Con el tiempo, pueden surgir fallas estructurales que afecten la capacidad de la carretera para soportar el tráfico y mantener la seguridad de los conductores. Para abordar estas preocupaciones, se han desarrollado diversos métodos de evaluación de fallas estructurales en el pavimento flexible. En particular, los métodos no destructivos se han vuelto herramientas muy útiles y eficaces para evaluar las condiciones del pavimento sin causar daños importantes. En esta ocasión, se evaluarán algunos de los métodos no destructivos más utilizados para identificar fallas estructurales del pavimento flexible y cómo se pueden aplicar para garantizar la seguridad en nuestras carreteras.

Un artículo científico donde se utilizó el método de análisis de perfil transversal (TPAM), para determinar las capas de pavimento responsables de la formación de surcos en las secciones de las carreteras. (Chilukwa y lunqu 2019). Otro artículo científico menciona como técnica de prueba no destructiva (NDT) el radar de penetración en el suelo (GPR), además de otros métodos no destructivos (NDT) de los cuales hizo un uso combinado para inspeccionar el estado del subsuelo de los pavimentos de las carreteras. Las técnicas de prueba no destructivas (NDT) se han integrado con el GPR para expandir sus posibilidades y encontrar probables daños y características en la superficie del pavimento y subsuelo (Elseicy et al. 2022).

En esta investigación la problemática planteada aborda principalmente los diversos métodos no destructivos que existen actualmente en la evaluación de fallas en pavimentos flexibles en carreteras, a diferencia de los métodos convencionales donde se suelen obtener muestras para su evaluación, generando elevados costos y tiempo que se suele tomar para realizar estas pruebas. En la región Piura la gran mayoría de sus carreteras carecen de mantenimientos preventivos y de calidad, afectando así la carpeta asfáltica generando así diversas fallas estructurales.

La siguiente pregunta aborda el problema general de esta investigación: PG.

¿Cuáles son los métodos no destructivos para la evaluación de fallas estructurales en pavimentos flexibles y su aplicación en la región Piura?

Los problemas específicos abordados en esta investigación se presentan de la siguiente manera: PE1. ¿Cómo evaluar la efectividad de los métodos no destructivos disponibles en la detección temprana y cuantificación de las fallas estructurales en pavimentos flexibles de la Región Piura? PE2. ¿Cuáles son las técnicas de evaluación no destructivas más adecuadas para la detección de fallas estructurales en el pavimento flexible en la región Piura? PE3. ¿Cuáles son las limitaciones y ventajas de las técnicas de evaluación no destructiva más utilizadas para la evaluación de fallas estructurales en pavimentos flexibles?

El objetivo general que se plantea en esta investigación es el siguiente:

OG. Identificar los métodos no destructivos disponibles para la detección y cuantificación de fallas estructurales en pavimentos flexibles a nivel internacional y su aplicación en la región Piura.

Los objetivos específicos que se plantean en esta investigación son los siguientes:

OE1. Comparar la efectividad de los diferentes métodos no destructivos para la evaluación de fallas estructurales en pavimentos flexibles y su aplicación en la Región Piura, OE2. Comparar y contrastar los diferentes métodos no destructivos en cuanto a su capacidad para detectar y evaluar diferentes tipos de fallas estructurales en pavimentos flexibles, como grietas, deformaciones, desprendimientos, entre otros, OE3. Identificar los métodos no destructivos más recomendables para su aplicación en la región Piura.

II. MARCO TEÓRICO

Linares (2021) con su tesis la cual tuvo como objetivo proponer y llevar a cabo un diagnóstico del estado del pavimento flexible aplicando la metodología PCI y el ensayo de la viga Benkelman, los cuales son métodos no destructivos. Todo ello con el propósito de realizar un mejoramiento y rehabilitación de la red vial en estudio, para ello identificó diferentes tipos de fallas de la estructura del pavimento, así como su severidad y extensión de cada muestra realizada por medio de una inspección visual. Realizó la recopilación de datos utilizando el formato de evaluación PCI, así como su manual metodológico PCI. También aplicó el ensayo de la viga Benkelman, donde empleó información referencial, trabajando así 6 puntos por cada calzada, dando en total 12 puntos para la muestra. Halló las deflexiones y con los datos que obtuvo calculó la longitud característica y el valor del CRB, a través del modelo matemático de Hogg y también el empleo de nomogramas, con la finalidad de conocer el estado estructural del pavimento. Finalmente concluyó que es necesario conocer el estado del pavimento para obtener un mejoramiento adecuado.

Vichal y Sanjeev (2021) en su investigación acerca de la evaluación de las propiedades estructurales en los pavimentos flexibles de la carretera en servicio, para los cuales utilizaron dos principales ensayos no destructivos como el deflectómetro de peso ligero (LWD) y el radar de penetración en el suelo (GPR). Mencionaron también que un parámetro de gran importancia para la evaluación es medirla mediante una prueba de deflexión, ya que es vital para el mantenimiento y rehabilitación del pavimento que ya existe. Además, la disminución o aumento de la deflexión daba a entender el aumento o disminución de las capas del pavimento. La motivación principal que tuvieron los autores fue utilizar tales equipos mencionados anteriormente debido a que las pruebas destructivas demandaban demasiado tiempo, además de ser muy laboriosas e inseguras, como por ejemplo la extracción de testigos del pavimento. En sus resultados los datos de GPR mostraron menor precisión en la medición del espesor de la capa para pavimentos deteriorados, por el contrario, determinó una mayor precisión para los pavimentos que estaban contruidos recientemente.

Sepulveda (2019) mediante su tesis, se propuso evaluar el desgaste en un pavimento flexible ubicado en la Avenida Francisco Fernández de Contreras. Para lograr esto, se utilizó el método de inspección visual y toma de medidas, acompañado de un registro fotográfico de los daños identificados. Además, se tomaron en cuenta otros datos relevantes, como el historial de la vía, el conteo de vehículos y los informes de tráfico, los cuales se emplearon para complementar la información necesaria en el cálculo del índice de deterioro, obteniendo como resultado que el 8.05% del tramo tomado se encuentra en mal estado, demostrando que requieren de mantenimiento y reparación.

Araujo y Begazo (2021) en su trabajo de investigación, el cual su objetivo consistió en evaluar tanto la condición superficial como estructural del pavimento flexible mediante la utilización de métodos no destructivos y destructivos, su tesis fue tipo aplicada, además contó con un diseño cuasi – experimental, con un enfoque cuantitativo y nivel investigativo correlacional; los autores emplearon la técnica de observación directa y se utilizaron instrumentos como las fichas de recolección de información; como resultado se obtuvo que la condición superficial general del pavimento se halla en estado “malo” a través de la metodología PCI y por medio de la metodología PASER se encontró que su estado es “regular”, a nivel de capa sub rasante su condición estructural tiene un “estado regular” , además se pudo constatar que tanto la subbase como la base y la capa de rodadura presentaban un estado deficiente. Como resultado, se recomendó la aplicación de un tratamiento específico para abordar estas deficiencias. Para las capas de subbase y base, se sugirió el uso de una mezcla de cal-cemento y ceniza volante. Para la capa de rodadura, se recomendó la aplicación de una lechada asfáltica tipo 2 conocida como Slurry Seal.

La investigación de Abhishek et al. (2019) que tuvo como finalidad analizar la estabilidad estructural del pavimento utilizando el método deflexión de la viga benkelman, y así decidir la superposición necesaria para compensar cualquier inestabilidad estructural que pudiera persistir. El mantenimiento de pavimentos es un aspecto crucial en la ingeniería vial en la india, lugar donde se basó este estudio,

esto debido a que la mayoría de sus aceras estaban llegando al final de su vida útil. Algunas de las causantes de estos hechos fueron el aumento del tráfico vehicular mixto, la rápida industrialización y el crecimiento urbano en la zona. Así mismo los autores realizaron correcciones de temperatura y estacionales para obtener resultados precisos. Los resultados que obtuvieron fueron de gran ayuda para analizar la condición en la que se encontraba el pavimento en términos de adecuación estructural, recomendando proporcionar capas superficiales para compensar cualquier deficiencia en la estructura.

En 2018 en su trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar la condición del pavimento flexible utilizando una metodología de inspección manual visual guiado por un catálogo de fallas presentado en pavimentos flexibles. Para llevar a cabo su evaluación, utilizó el sistema PAVER, el cual fue creado por el laboratorio de investigación ingenieril de construcción conformados por profesionales de la fuerza armada de los Estados Unidos (USACERL), este sistema es utilizado tanto en el ámbito civil como militar. Además, utilizaron el Índice de Condición del Pavimento (PCI) para proporcionar una medida de la integridad estructural y condición funcional del pavimento. La recopilación de datos y su actualización fue la etapa más importante de este sistema, así como de la mayoría de metodologías que se emplean para la evaluación de pavimentos. Finalmente midieron el Índice de Regularidad Internacional mediante el uso de un perfilómetro, para eso se utilizó el ensayo de MERLÍN, el cual es un instrumento de medición estático que registró en una hoja de campo valores de calificación de 1 a 50. Los resultados obtenidos con ese ensayo proporcionaron el IRI de la vía en estudio además correlacionándolo con el (PSI) que se encontraba el pavimento en ese momento ayudaron a tener mayor perspectiva sobre su estado, corroborando la información con el método de inspección visual del sistema PAVER. Pallasco (2018)

La investigación realizada por Tacza y Rodriguez (2018) tuvo por objetivo sugerir alternativas que permitan mejorar el estado del pavimento o su condición operacional, el método que emplearon los autores fue un enfoque de nivel descriptivo y además utilizaron la técnica de observación, para determinar satisfactoriamente las posibles alternativas de intervención; realizaron una evaluación temprana del pavimento mediante la implementación del método índice

de condición del pavimento (PCI, por sus siglas en inglés), basado en la Norma ASTM D6433-07., el orden en que lo realizaron fue el siguiente: primeramente llevaron a cabo el levantamiento de información en campo en el cual se consignan los tipos, cantidades y severidades de cada falla existente; luego hicieron el cálculo del valor del PCI y por último lo realizaron para toda la sección en estudio, obtuvieron como resultado que el PCI de valor cuantitativo equivalente a 57 y condición operacional calificada como buena. Finalmente concluyeron que se debe de implementar medidas de intervención con urgencia, además debe de realizarse mantenimientos los cuales pueden ser de tipo menor y/o mayor dependiendo del tipo de fallas registradas y por último presentaron la matriz de consolidación con las alternativas de intervención propuestas.

Rahmad et al. (2019) en su investigación donde plasmó la necesidad de una evaluación adecuada al pavimento, ya que los métodos tradicionales de evaluación dependían de la observación humana y estos no eran eficientes, además, de ser subjetivo e impreciso. En Malasia, una de las pruebas más utilizadas para evaluar la integridad estructural del sistema de pavimento es el difractor de caída de peso (FWD), y al usar métodos de prueba no destructivos, se pueden examinar las distintas propiedades físicas de un sistema de pavimento. El objetivo principal de su estudio fue establecer criterios de rehabilitación para los pavimentos flexibles existentes que utilizan relaciones puramente analíticas. A partir de los datos de medición de deflexión FWD que obtuvo, pudo determinar la cuenca de deflexión que caracterizaba la condición del pavimento en el sitio de prueba de FWD a través de un programa informático desarrollado en el departamento de obras públicas de dicha localidad. Los autores concluyeron que el estudio presentado proporcionó una mejor comprensión de las propiedades físicas del pavimento mediante el uso de métodos de prueba no destructivos y sus distintas aplicaciones.

Fabian (2021) tuvo como objetivo determinar el estado del pavimento flexible de la avenida Perú del distrito de Amarilis, la investigación es de tipo aplicada, cuenta con un enfoque mixto, el diseño empleado es un diseño no experimental y por último tiene un nivel descriptivo, con el fin de lograr presentar alternativas de mantenimiento que posibiliten extender el ciclo de vida del pavimento y calificar el estado de la vía utilizó la metodología PCI. También empleó el software EvalPav

Carreteras elaboradas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) para obtener mayor confiabilidad en los resultados y además ahorrar tiempo. Los datos obtenidos tanto por el software y de manera manual le permitió adquirir un valor de PCI ponderado de 46, determinando que el pavimento de la Avenida Perú presenta una condición Regular.

Serin et al. (2022) en su artículo de investigación tuvieron como objetivo establecer los espesores de las capas de pavimento y manifestar las anomalías que se presentaron durante la construcción de la carretera, a través del método no destructivo llamado radar de penetración terrestre (GPR). Para ello decidieron realizar diversos estudios de campo en un fragmento de la carretera Antalya-Burdur-Isparta (17km). Efectuaron un escaneo a dos tasas de frecuencia distintas (600 y 1600 MHz) empleando el dispositivo GPR. Además, en el año que se restauró la carretera y el año siguiente llevaron a cabo dos escaneos GPR consecutivos. Los resultados obtenidos de los escaneos del primer año, establecieron si se lograron o no los espesores de capa planificados y las circunstancias anómalas provenientes de la fabricación de la carretera. En cambio, los estudios a través del GPR que realizaron el segundo año, definieron los cambios que suceden en la carretera luego de un año bajo la carga de tráfico. Finalmente, con su investigación han evidenciado que el método de prueba GPR es un método que logra reunir información sobre la carretera sin dañarla y es una buena alternativa a los métodos de prueba destructivos.

Teorías relacionadas:

Pavimento: Se refiere a una estructura que se edifica sobre la subrasante de la carretera, con el propósito de soportar y repartir la carga producida por los vehículos, además de proporcionar una circulación segura y confortable. Comúnmente está integrada por una capa superior de rodadura, una capa intermedia de base y una subbase inferior (Manual de carreteras suelos, geología geotecnia y pavimentos, 2013, p. 23-24)

Pavimento flexible: Es una estructura que se compone de varias capas granulares, como la subbase y la base, y una capa de rodadura que está formada por una carpeta que utiliza materiales bituminosos, tales como aglomerantes, agregados y posibles aditivos. La capa de rodadura generalmente se construye con materiales asfálticos y se coloca sobre las capas granulares. (MTC, 2018, p. 24)

Base: La base del pavimento es una capa procesada y selecta que se sitúa entre la subrasante o la subbase y la capa de rodadura. Esta capa puede estar hecha de una mezcla de asfalto o tratada según el diseño. La función de la base es formar parte de la estructura del pavimento y proporcionar una superficie sólida y estable para la capa de rodadura (MTC, 2018, p. 24)

El mantenimiento de carreteras se refiere a todas las actividades de ingeniería destinadas a mantener constantemente en buen estado la infraestructura vial, con el propósito de garantizar un servicio eficiente a los usuarios. El mantenimiento puede ser tanto periódico como regular para mantener en óptimas condiciones la carretera (Manual de carreteras conservación vial, 2018)

El desgaste o la rotura de los pavimentos de plástico se pueden dividir en dos categorías principales: daño o fractura estructural y daño o fractura de la superficie. La reparación del primer tipo de deterioro a menudo requiere de costosos trabajos de restauración. Por otro lado, la falla del segundo tipo generalmente puede resolverse con trabajos de mantenimiento de rutina (MTC, 2018, p. 134)

Ahuellamiento: Los rastros y las irregularidades en la superficie donde circulan las ruedas pueden originarse debido a la falta de espesor adecuado en el pavimento,

mezclas de asfalto de baja resistencia, deficiente compactación, inestabilidad en la base de la superficie o un flujo intenso de vehículos pesados.

Hinchazón: Normalmente, cuando hay un aumento notorio en la capa superior, suele haber grietas en la superficie. Por lo general, esto se debe a la expansión del suelo subyacente o a la formación de hielo.

Empuje y ondulación: Una forma de movimiento plástico en la capa superficial que crea un abultamiento localizado del pavimento tipificado por ondas (empuje) u ondulaciones transversales (ondulación). Suelen ser causados por la acción del tráfico (puntos de aceleración y deceleración) combinados con otras fallas del pavimento como asfalto demasiado blando, demasiado agregado fino, agregado redondeado o grueso, mala adherencia entre capas o demasiado, así como una base granular débil o exceso de humedad en la subrasante.

Agrietamiento por fatiga (agrietamiento de cocodrilo, mapa o cocodrilo): Se refiere a una serie de grietas interconectadas que tienen una apariencia similar a la piel de cocodrilo, con piezas generalmente inferiores a 0,5 metros en su lado más largo. Esta falla ocurre únicamente en áreas sometidas a cargas repetidas del tráfico o un aumento en la carga (por ejemplo, por las ruedas de los vehículos), junto con una capacidad de carga o espesor insuficientes, compactación inadecuada, un deficiente sistema de drenaje o la pérdida de la base o soporte de la subrasante.

Desmoronamiento y meteorización: Se trata de la descomposición de la capa superficial del pavimento debido a la separación de partículas del agregado. Estos daños son señales de un aglutinante envejecido o endurecido, segregación de los agregados y falta de compactación. El desprendimiento también puede ser causado por ciertos tipos de vehículos, como los que tienen orugas o llantas con clavos.

Baches: Desintegración localizada de la superficie del pavimento en forma de pequeños agujeros en forma de cuenco (generalmente de menos de 750 mm de diámetro). Típicamente producido por el deterioro continuo de otro tipo de deterioro, como agrietamiento por fatiga, deshilachado o parcheo fallido. El tráfico continuo junto con un espesor de pavimento insuficiente y un drenaje insuficiente estimulan la formación de baches.

III.METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

3.1.1 Enfoque

Esta investigación tiene un enfoque cualitativo, porque se pudo describir y analizar los distintos métodos no destructivos que existen para la evaluación estructural del pavimento flexible y su aplicación en la región Piura. Tal como se señala, la investigación cualitativa se concentra en el proceso de cómo se desarrollan las situaciones o eventos, centrándose en las actitudes, creencias y formas en las que las personas dan significado e interpretan las experiencias que experimentan, Koh y Owen(2018).

3.1.2 Tipo

Esta investigación es de tipo descriptiva. Según (Guevara et al., 2020) se trata de reunir toda la información posible de lo que deseamos conocer para comprender los significados desde la perspectiva de los sujetos. Se desarrollarán recomendaciones que servirán como base de información para futuros proyectos que involucren ejecuciones e investigaciones relacionadas a los métodos no destructivos en la evaluación de fallas estructurales en pavimentos flexibles.

3.1.3 Diseño o método de investigación

Dado que el objetivo de nuestra materia de investigación será identificarlos métodos no destructivos disponibles para la detección y cuantificación de fallas estructurales en pavimentos flexibles a nivel internacional y su aplicación en la Región Piura, la investigación tiene un diseño no experimental, el cual como se indica se realiza sin manipular deliberadamente variables y en la que solo se observan los fenómenos en un ambiente natural para después analizarlos, Hernandez et al (2018).

3.2 Categorías, Subcategorías y matriz de categorización

- Métodos no destructivos en la evaluación de fallas estructurales del pavimento flexible.

Subcategorías (apriorísticas):

1. Tecnologías de ensayo no destructivo:
 - a. Análisis de perfil transversal (TPAM).
 - b. Radar de penetración en el suelo (GPR).
 - c. Deflectometría.
 - d. Viga Benkelman.
 - e. Ensayo PCI.
 - g. Termografía e imágenes infrarrojas.
2. Fallas estructurales del pavimento flexible:
 - a. Desgaste superficial.
 - b. Desplazamiento del pavimento.
 - c. Delaminación.
 - d. Hundimientos.
 - e. Otros tipos de fallas.
3. Aplicación en la Región Piura:
 - a. Características climáticas y ambientales de la región.
 - b. Condiciones del pavimento flexible en Piura.
 - c. Identificación de áreas problemáticas en el pavimento.
 - d. Recomendaciones para la aplicación de los métodos en la región.

3.3 Escenario de estudio

El escenario de estudio serán las investigaciones analizadas relacionadas con el tema principal para el desarrollo del presente proyecto de investigación.

3.4 Participantes

En este caso serán el ing. Encargado de observar y dar las pautas necesarias para el desarrollo del proyecto de investigación, además también los autores los cuales se hicieron mención citándolos y mi persona.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas de recolección de datos:

- Observación: Visualización de las investigaciones estudiadas en la utilización de métodos no destructivos para la evaluación de fallas estructurales en pavimentos flexibles, además, identificar que los métodos son recomendables de acuerdo al factor ambiental en la región Piura.
- Análisis de documentos: Revisar y analizar investigaciones internacionales de repositorios reconocidos, informes técnicos, investigaciones previas, manuales de procedimientos, normativas y otros documentos relevantes relacionados con los métodos no destructivos utilizados en la evaluación de fallas estructurales del pavimento flexible.
- El análisis de datos se llevó a cabo mediante el uso de Microsoft Excel, y la presentación de los resultados se efectuó mediante la creación de tablas, gráficos circulares, entre otros.

3.6 Procedimiento

Este procedimiento tiene como objetivo identificar y recopilar de manera efectiva los recursos relevantes para el tema de investigación. A continuación, se presenta el esquema paso a paso que se siguió para llevar a cabo esta investigación:

En primer lugar, se estableció claramente el tema de investigación, que en este caso es la evaluación de fallas estructurales en pavimentos flexibles utilizando métodos no destructivos. Luego se delimitaron los objetivos y alcance de la investigación, brindando una base sólida para la estrategia de búsqueda de información.

Posteriormente se diseñó una estrategia de búsqueda con el fin de obtener información precisa y relevante para el estudio, para eso se utilizaron diversos repositorios y motores de búsqueda entre los cuales destacan: Scielo, Scopus, Elsevier Dialnet, Redalyc, Google Académico, entre otros. Además, se analizó el título del artículo e identificaron las palabras clave, las cuales son términos o frases que resumen los conceptos centrales y representan los aspectos más importantes del tema investigado.

Después de esto se analizaron los resultados obtenidos en la búsqueda inicial y se seleccionaron las palabras clave más relevantes y específicas para la investigación, como "métodos no destructivos", "evaluación de fallas", "pavimentos flexibles" y "fallas estructurales en pavimentos flexibles", para ello se limitó a 5 años de antigüedad la información recopilada, encontrando así investigaciones de gran valor que contribuyeron al desarrollo del presente trabajo de investigación.

Luego para seleccionar las investigaciones, se hizo uso de un esquema visual, como un diagrama de flujo. Este paso nos ayudó a filtrar información ya sea duplicada, que no se acercaba al tema investigado u algún otro criterio que no se relacionaba.

Se repasaron las referencias bibliográficas de los trabajos de investigación relevantes obtenidos en la etapa anterior. Esto permitió acceder a otros

recursos científicos que podrían no haber aparecido en las búsquedas iniciales. Se examinaron las citas y los artículos relacionados para garantizar la inclusión de fuentes de calidad y ampliar la cobertura de la investigación.

Posteriormente se realizó un análisis crítico de la calidad y confiabilidad de los estudios y fuentes consultadas. Se leyeron los títulos, resúmenes y conclusiones de los recursos identificados en las etapas anteriores. Se realizó una evaluación inicial para seleccionar los recursos que cumplieran con los objetivos de investigación y proporcionaban información relevante sobre los métodos no destructivos para la evaluación de fallas estructurales en pavimentos flexibles. Se descartaron los recursos que no se ajustaban al tema o que tenían una calidad insuficiente.

Continuamente se evaluó la relevancia y aplicabilidad de los métodos no destructivos en el contexto de la evaluación de fallas estructurales en pavimentos flexibles. Para ello se analizaron las investigaciones seleccionadas, debido a que se reconoce la importancia de contar con una investigación correctamente estructurada y formulada, fue fundamental abordar una problemática que esté debidamente justificada y establecer objetivos claros y definidos. Estos objetivos fueron abordados utilizando el método más apropiado, de manera que las conclusiones obtenidas son lo más precisas y confiables posible. Al seguir este enfoque riguroso, se aumentó la confiabilidad al considerar la investigación como una referencia válida en el ámbito correspondiente.

Finalmente, utilizando la información recopilada y analizada, se redactó la presente investigación. Se utilizaron citas adecuadas y se proporcionaron referencias bibliográficas precisas y completas. Además, Se utilizó un lenguaje claro y preciso, y se aseguró una presentación lógica y coherente de los hallazgos y argumentos.

3.7 Rigor científico

El rigor científico en esta investigación se garantizará a través de la coherencia lógica, la credibilidad de los datos y los hallazgos, la auditabilidad de los procesos y la consideración de la transferibilidad de los resultados. Estas medidas asegurarán la validez y confiabilidad de la investigación cualitativa realizada.

3.8 Método de análisis de datos

En esta investigación no experimental y descriptiva sobre los métodos no destructivos en la evaluación de pavimentos flexibles, el método de análisis de la información puede involucrar el proceso de triangulación de datos.

Proceso de triangulación de datos: La triangulación es una estrategia que implica el uso de múltiples fuentes de datos, métodos o perspectivas para examinar un fenómeno desde diferentes ángulos y obtener una comprensión más completa y precisa.

3.9 Aspectos éticos

Durante el desarrollo de la investigación, se respetó la autoría de las fuentes bibliográficas donde se obtendrá la información.

En el proceso de observación para verificar la información técnica de los documentos se realizó de forma respetuosa y amable con las personas participes en la elaboración del proyecto en ejecución.

Así se mantendrá el uso responsable de la documentación recopilada por parte de los autores relacionados al proyecto, por último, se fortalecerá la originalidad del presente trabajo de investigación.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Respecto al objetivo general:

Identificar los métodos no destructivos disponibles para la detección y cuantificación de fallas estructurales en pavimentos flexibles a nivel internacional y su aplicación en la región Piura.

Los resultados obtenidos en esta investigación revelaron una serie de ventajas y desventajas para aquellas técnicas analizadas. Además, se evaluó la precisión de cada método y se determinaron cuáles son los más recomendables en base a datos estadísticos. A continuación, se presentan los principales hallazgos y se discutirá en detalle cada aspecto mencionado.

De acuerdo a los datos analizados, en cuanto al ensayo de la Viga Benkelman es una opción adecuada para evaluar la estructura de los pavimentos, teniendo un porcentaje de efectividad entre 80% y 90%. También, destacaron que este ensayo es accesible para los gobiernos locales, ya que es no destructivo, no requiere de preparaciones previas, tiene un costo reducido, es confiable y está estipulado en el Manual de Ensayo de Materiales del MTC.

Tabla 1

Aspectos valorados para el método viga Benkelman

Aspecto evaluado	Valoración
Fiabilidad	Alta
Efectividad	80% - 90%
Costo	Bajo
Especialización del personal	Baja – Moderada
Adaptabilidad a Condiciones Climáticas	Alta
Facilidad de implementación	Alta
Disponibilidad de Equipamiento	Amplia

Limitaciones conocidas	Influencia del tráfico
Nivel de intrusión	No Destructivo
Tiempo de Ejecución	Rápido

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2

Tecnología del método viga Benkelman

Tecnología	
1. Viga de Carga	Consiste en una viga metálica con un brazo móvil y un puntero en el extremo. Esta viga se coloca sobre el pavimento, y el brazo móvil se apoya sobre un punto específico de la superficie.
2. Carga Aplicada	Se aplica una carga estática en el extremo libre de la viga mediante un peso conocido. La carga simula la acción del tráfico vehicular sobre el pavimento.
3. Medición de Deflexión	La deflexión vertical de la superficie del pavimento bajo la carga se mide mediante el desplazamiento del puntero en el brazo móvil de la viga. Esta medición se toma en un punto de referencia previamente establecido.

Fuente: Elaboración propia.

En resumen, la Viga Benkelman fue una herramienta práctica y accesible para evaluar la flexibilidad de pavimentos, proporcionando información útil sobre la capacidad estructural del pavimento sin requerir una inversión significativa en equipos o interrupciones prolongadas en la circulación vehicular.

Por otro lado, con Carbajal (2018) hay una concordancia con el presente estudio en cuanto a la valoración de la metodología PCI como un método más fiable, sencillo de aplicar y económico en comparación con otras metodologías para la evaluación de pavimentos. El estudio empleó la metodología PCI para pavimentos, evaluando un total de 69 tramos con una efectividad de entre 80% y 90%.

Tabla 3

Aspectos valorados para el método PCI (Índice de Condición del Pavimento)

Aspecto evaluado	Valoración
Fiabilidad	Alta
Efectividad	80% - 90%
Costo	Moderado - Alto
Especialización del personal	Moderada
Adaptabilidad a Condiciones Climáticas	Alta
Facilidad de implementación	Moderada
Disponibilidad de Equipamiento	Amplia
Limitaciones conocidas	Sensible a la subjetividad del evaluador
Nivel de intrusión	No Destructivo
Tiempo de Ejecución	Moderado

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4

Tecnología del método PCI (Índice de Condición del Pavimento)

Tecnología	
1. Inspección Visual	La metodología comienza con una inspección visual detallada de la superficie del pavimento. Durante esta inspección,

	se registran diversas condiciones, como grietas, baches, deformaciones y otros tipos de deterioro.
2. Asignación de Puntajes	Cada tipo de deterioro identificado se clasifica y se le asigna un puntaje según su gravedad y extensión. Estos puntajes se basan en un sistema estandarizado, como el desarrollado por el Departamento de Transporte de EE. UU.
3. Cálculo del Índice PCI	El Índice de Condición del Pavimento (PCI) se calcula utilizando una fórmula específica que considera los puntajes asignados a cada tipo de deterioro. El PCI se expresa en una escala de 0 a 100, donde 100 representa un pavimento en condiciones óptimas y 0 indica un pavimento en estado extremadamente deteriorado.

Fuente: Elaboración propia.

En resumen, el Ensayo PCI fue una herramienta eficaz para evaluar la condición superficial de los pavimentos, brindando una métrica cuantitativa que facilita la toma de decisiones en la planificación y gestión del mantenimiento de infraestructuras viales.

Otro método evaluado fue el radar de penetración de suelo (GPR). Este método se destacó por su capacidad para detectar y localizar fallas en las capas del subsuelo. Durante las pruebas, los diversos autores estudiados lograron identificar y mapear con precisión fisuras y desplazamientos hasta en un 88% de los casos. Sin embargo, se encontró que la presencia de agua en el subsuelo afectaba la precisión un 15%, lo que limita su aplicabilidad en áreas con alta humedad. Además, es importante destacar que, para llevar a cabo el análisis de los datos, fue necesario

contar con la participación de expertos en la interpretación de imágenes GPR (Ground Penetrating Radar).

Este análisis permitió obtener información más precisa y confiable sobre las características y condiciones del subsuelo. Sin embargo, este nivel de especialización y conocimiento técnico implicó costos adicionales para el estudio.

Tabla 5

Aspectos valorados para el método Radar de penetración en el Suelo (GPR)

Aspecto evaluado	Valoración
Fiabilidad	Alta
Efectividad	88%
Costo	Moderado
Especialización del personal	Moderada - Alta
Adaptabilidad a Condiciones Climáticas	Alta
Facilidad de implementación	Moderada
Disponibilidad de Equipamiento	Moderada
Limitaciones conocidas	Profundidad de penetración
Nivel de intrusión	No Destructivo
Tiempo de Ejecución	Moderado

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6

Tecnología del método Radar de penetración en el Suelo (GPR)

Tecnología	
1. Generación de ondas Electromagnéticas	El GPR utiliza antenas emisoras para generar pulsos de ondas electromagnéticas de alta frecuencia

	(generalmente en el rango de los GHz). Estas ondas se emiten hacia el pavimento.
2. Interacción con el Suelo	Las ondas electromagnéticas penetran en el pavimento y experimentan reflexión, refracción y absorción al encontrarse con diferentes materiales y capas. La velocidad de retorno de estas ondas proporciona información sobre la profundidad y la composición de las capas subyacentes.
3. Registro y procesamiento de datos	Las señales reflejadas se registran y se procesan mediante un receptor. El tiempo transcurrido entre la emisión y la recepción de las ondas se traduce en una representación gráfica de las capas del subsuelo, conocida como un perfil GPR.

Fuente: Elaboración propia.

En resumen, el Radar de Penetración en el Suelo (GPR) fue una herramienta valiosa para la evaluación no destructiva de pavimentos, proporcionando información detallada sobre la composición del subsuelo y ayudando a detectar posibles problemas estructurales sin la necesidad de intervenciones intrusivas.

Con respecto a la termografía e imágenes infrarrojas, se descubrió que estas técnicas resultaron ser herramientas valiosas para la identificación de áreas con variaciones de temperatura, lo que permitió detectar posibles fallos en el pavimento. Autores obtuvieron un nivel de precisión del 85% aproximadamente en la detección de grietas y segregación del material. No obstante, la presencia de sombras generadas por obstáculos, como árboles o edificios, afectaron la precisión un 12%.

Esto resaltó la importancia de tener en cuenta las condiciones del entorno al realizar

el análisis termográfico. Además, se encontró que las condiciones climáticas desempeñaron un papel crucial en la obtención de resultados precisos. Se observó que la termografía mostró una mayor eficacia cuando las temperaturas ambientales superaban los 15°C. Esto se debe a que las diferencias de temperatura entre las áreas problemáticas y el pavimento circundante son más evidentes en temperaturas más cálidas.

Tabla 7

Aspectos valorados para el método de Termografía e Imágenes infrarrojas

Aspecto evaluado	Valoración
Fiabilidad	Moderada
Efectividad	85%
Costo	Variable
Especialización del personal	Moderada
Adaptabilidad a Condiciones Climáticas	Moderada
Facilidad de implementación	Alta
Disponibilidad de Equipamiento	Variable
Limitaciones conocidas	Condiciones Ambientales
Nivel de intrusión	No Destructivo
Tiempo de Ejecución	Rápido

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8

Tecnología del método Termografía e Imágenes infrarrojas

Tecnología	
1. Radiación Infrarroja	Los objetos emiten radiación infrarroja de acuerdo con su temperatura. La termografía aprovecha esta propiedad

	para capturar las variaciones térmicas en la superficie del pavimento.
2. Cámaras Térmicas e Infrarrojas	Se utilizan cámaras especiales que son sensibles a la radiación infrarroja. Estas cámaras capturan la temperatura de la superficie del pavimento y generan imágenes térmicas.
3. Análisis de Variaciones Térmicas	Las diferencias de temperatura se representan en las imágenes como variaciones de color. Las áreas con temperaturas anómalas pueden indicar problemas estructurales, como grietas, delaminación o variaciones en la densidad del pavimento.

Fuente: Elaboración propia.

En resumen, la termografía e imágenes infrarrojas ofrecieron una perspectiva única para la detección temprana de problemas estructurales en pavimentos, aprovechando las variaciones térmicas para proporcionar información valiosa en la gestión y planificación del mantenimiento de infraestructuras viales.

También se analizó el método de análisis de perfil transversal (TPAM) como una alternativa no destructiva a los métodos tradicionales. Este método utilizó los datos del perfil transversal de la sección con surcos para identificar la capa de la estructura del pavimento en la investigación de (Chilukwa N. y Lungu R., 2019) para determinar las capas de pavimento involucradas en la formación de surcos en secciones de las carreteras Chibuluma y Kitwe-Chingola en Zambia. Se pudo establecer que la mayor parte del ahuellamiento observado provenía de la capa superficial del pavimento. Estos hallazgos son consistentes con investigaciones recientes que indican que la mayoría de los surcos se forman en la capa superior de la superficie asfáltica. Además, se determinó que el método TPAM era más simple, rápido y menos costoso con una efectividad promedio de entre 75% - 85%.

Tabla 9*Aspectos valorados para el método Análisis de perfil transversal (TPAM)*

Aspecto evaluado	Valoración
Fiabilidad	Moderada - Alta
Efectividad	75 % - 85%
Costo	Moderado
Especialización del personal	Moderada - Alta
Adaptabilidad a Condiciones Climáticas	Alta
Facilidad de implementación	Moderada
Disponibilidad de Equipamiento	Moderada
Limitaciones conocidas	Profundidad de penetración
Nivel de intrusión	No Destructivo
Tiempo de Ejecución	Moderado

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10*Tecnología del método Análisis de perfil transversal (TPAM)*

Tecnología	
1. Equipos de Medición	Se utilizan dispositivos de medición especializados, como escáneres láser o sistemas de perfilado láser, que capturan con precisión la morfología del pavimento a lo largo de su ancho.
2. Sensores de Surcos y Deformaciones	Los equipos incorporan sensores sensibles para detectar surcos, hendiduras y deformaciones en la superficie del pavimento. Estos sensores

registran cambios en la elevación y textura del pavimento.

3. Análisis Digital de Datos La información recopilada se procesa digitalmente para crear perfiles transversales detallados. Se utilizan algoritmos y software especializado para analizar y cuantificar las irregularidades observadas en los perfiles.

Fuente: Elaboración propia.

En resumen, el Análisis de Perfil Transversal fue un método eficaz y práctico para la evaluación no destructiva de pavimentos, brindando información detallada sobre la superficie y ayudando a identificar problemas tempranos que podrían afectar la durabilidad y seguridad de la infraestructura vial.

En cuanto al método de deflectometría de impacto se destacó por sus ventajas significativas. Durante las pruebas realizadas por los autores de las investigaciones analizadas, se observó que este método permitió una evaluación rápida y económica de la capacidad portante del pavimento. Se registró una alta precisión en la detección de áreas con debilidades estructurales, con un porcentaje de acierto de hasta 92%. Sin embargo, se encontraron que la presencia de capas delgadas en el pavimento afecta la precisión de este método, reduciendo un 10% su efectividad.

Además de ello, dispositivos de medición de deflexión que funcionan en tiempo real mientras el tráfico fluye, como los deflectómetros de velocidad de tráfico, los deflectómetros de peso rodante y los deflectómetros dinámicos rodantes, resultan más adecuados para su implementación a nivel de red, en comparación al deflectómetro de caída de peso (FWD) que se desempeñó de manera eficaz en la evaluación de proyectos específicos, pero presenta limitaciones cuando se aplica a una escala de red. Siendo un dispositivo estático y, para su uso, se requiere cerrar carriles o bloquear el tráfico, lo que generó costos significativos y molestias.

Tabla 11*Aspectos valorados para el método de Deflectometría*

Aspecto evaluado	Valoración
Fiabilidad	Moderada - Alta
Efectividad	92%
Costo	Moderado
Especialización del personal	Moderada - Alta
Adaptabilidad a Condiciones Climáticas	Alta
Facilidad de implementación	Moderada
Disponibilidad de Equipamiento	Moderada
Limitaciones conocidas	Influencia de Subrasante No Uniforme
Nivel de intrusión	No Destructivo
Tiempo de Ejecución	Moderado

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12*Tecnología del método de deflectometría*

Tecnología	
1. Carga Controlada	Se aplica una carga conocida al pavimento a través de un dispositivo, como un camión equipado con un peso o un dispositivo de impacto. La carga puede ser estática o dinámica, dependiendo del tipo de deflectometría.
2. Registro de Deflexiones	Se miden las deflexiones resultantes en la superficie del pavimento. Esto se realiza

mediante sensores, generalmente colocados en una línea transversal a la dirección del movimiento de la carga.

3. Análisis de Datos

Las deflexiones registradas se utilizan para calcular la capacidad portante y la rigidez del pavimento. Los datos se pueden analizar en tiempo real (deflectometría de impacto) o después de la aplicación de la carga (deflectometría de carga constante).

Fuente: Elaboración propia.

En resumen, la deflectometría fue una técnica efectiva para evaluar la respuesta estructural de los pavimentos en condiciones de carga controlada, proporcionando información crucial para la toma de decisiones en el mantenimiento y diseño de infraestructuras viales.

Tabla 13

Comparación de ventajas, desventajas y efectividad de los métodos analizados

Método	Ventajas	Desventajas	Precisión / Efectividad
Radar de penetración (GPR)	Alta precisión en detección de fisuras.	Si existe humedad en el subsuelo la precisión disminuye un 15%.	88% en la identificación y mapeo de fisuras y desplazamientos.
Deflectometría	Evaluación rápida y económica de la capacidad portante	Las capas delgadas en el pavimento afectan la precisión	92% en la detección de áreas con

	del pavimento.	de este método, reduciendo su efectividad un 10%.	debilidades estructurales.
Termografía	Mayor eficacia en temperaturas ambientales superiores a los 15°C.	Sombras generadas por obstáculos como árboles o edificios afectan la precisión en un 12%	85% en la detección de grietas y segregación de material.
Viga Benkelman	Proporciona resultados aceptables para evaluaciones rápidas.	La variabilidad en las condiciones del campo, la presencia de tráfico y otros factores pueden afectar la precisión.	Precisión general de alrededor del 80% a 90% para las evaluaciones típicas.
Análisis de Perfil Transversal TPAM	Proporciona datos esenciales en un período de tiempo más corto.	La interpretación de los datos recopilados a menudo requiere de conocimientos especializados.	Tiene un rango variable entre el 70% y el 90%.
PCI (Índice de Condición del Pavimento)	Evaluación cuantitativa de la condición del pavimento.	La precisión depende y en parte de la subjetividad de la evaluación visual.	Precisión general variable entre el 80% y 90%.

Tabla 1 – Fuente: elaboración propia

En la tabla anterior se muestran un resumen de los diversos puntos estudiados como ventajas, desventajas, Precisión – Efectividad de los distintos métodos analizados en la presente tesis.

Figura 1

Comparación porcentaje de efectividad

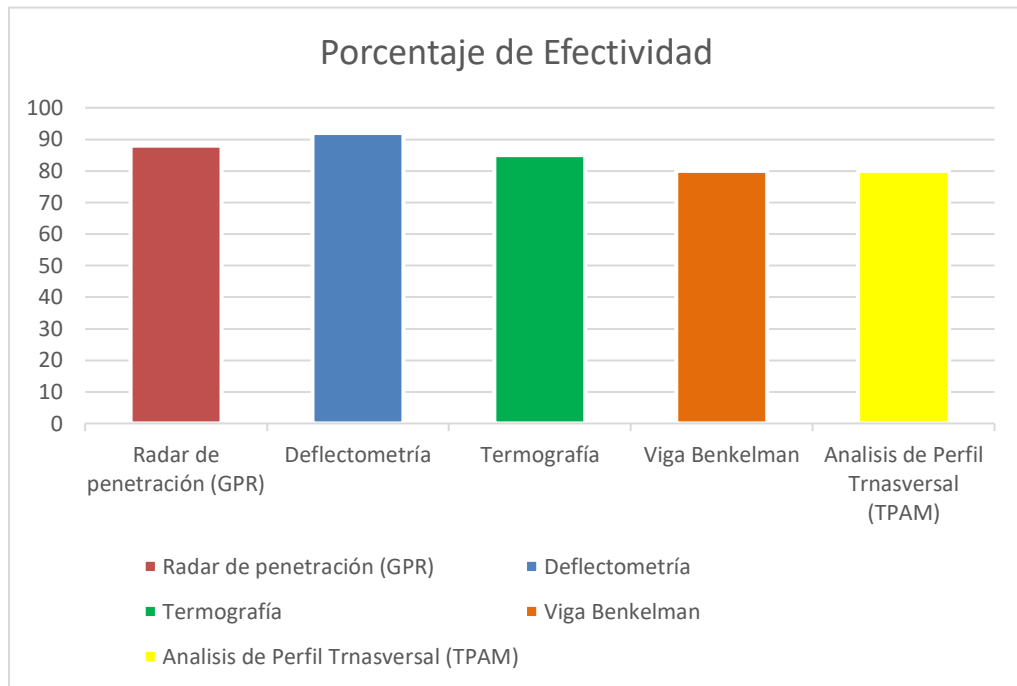


Figura 1 – Fuente: elaboración propia

En la gráfica anterior se muestra una comparativa del porcentaje de efectividad de los métodos analizados en la presente tesis.

V. CONCLUSIONES

En base a la investigación realizada sobre los métodos no destructivos para la evaluación de fallas estructurales en pavimentos flexibles, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

Los métodos no destructivos son herramientas valiosas para evaluar las condiciones de los pavimentos, ya que permiten identificar y mapear fallas estructurales sin causar daños significativos en la superficie del pavimento.

El método de deflectometría de impacto se destacó por su alta precisión del 92% en la detección de áreas con debilidades estructurales. Sin embargo, se observó una reducción de aproximadamente el 10% en su efectividad cuando se encuentran presentes capas delgadas en el pavimento. (Elseicy et al, 2022)

El método radar de penetración de suelo (GPR) también demostró ser eficaz, con una precisión del 88% en la identificación y mapeo de fisuras y desplazamientos. Sin embargo, su precisión se ve afectada en un 15% cuando hay presencia de agua en el pavimento. (Carracelas S. et al, 2019)

Los métodos de termografía y las imágenes infrarrojas ofrecen una precisión del 85% en la detección de grietas y segregación de material. Sin embargo, se observó una disminución del 12% en su precisión cuando se presentan sombras en la superficie del pavimento. (Ihamouten A. et al, 2018)

El método de viga Benkelman se destaca por ser accesible, confiable y económico. Es recomendado para su utilización por gobiernos locales en la evaluación de fallas estructurales en pavimentos flexibles. (Castro L. et al, 2021)

En resumen, se puede concluir que los métodos no destructivos son una herramienta efectiva para la evaluación de fallas estructurales en pavimentos flexibles. Cada método presenta sus propias ventajas y limitaciones, por lo que es importante considerar las condiciones específicas de cada pavimento antes de seleccionar el método adecuado. La combinación de múltiples técnicas puede proporcionar una evaluación más completa y precisa de las condiciones del pavimento, lo que contribuye a garantizar la seguridad en las carreteras.

VI. RECOMENDACIONES

- Dado el clima cálido y seco de la Región Piura, se recomienda seleccionar métodos no destructivos que sean altamente adaptables a estas condiciones, minimizando posibles interferencias climáticas.
- Se recomienda garantizar la capacitación adecuada del personal encargado de realizar las evaluaciones, especialmente para métodos más especializados como el GPR y la termografía. Esto contribuirá a la precisión y consistencia de los resultados.
- Debido a las características específicas de los pavimentos en la región, es crucial considerar la infraestructura vial existente, como posibles variaciones en el tráfico y la presencia de capas de suelo específicas.
- Se recomienda realizar comparaciones entre los diferentes métodos no destructivos utilizados para obtener una visión más completa y precisa de las condiciones estructurales de los pavimentos en la región.
- Se recomienda colaborar estrechamente con las autoridades locales y organismos gubernamentales responsables de la gestión vial en la Región Piura para garantizar una aplicación efectiva de los métodos y una toma de decisiones informada.

Estas recomendaciones buscan proporcionar orientación para la aplicación efectiva de los métodos no destructivos en la evaluación de pavimentos flexibles en la Región Piura, teniendo en cuenta sus características únicas y las condiciones locales.

REFERENCIAS

- (Minam), M. d. (2021). *Plan Nacional de Educación Ambiental 2016-2021 PLANEA*. Obtenido de Enfoque ambiental: http://www.minedu.gob.pe/educacion-ambiental/ambiental/sumilla_planea.php
- Abhishek R. et al. (2019). *Structural Evaluation of Flexible Pavement [Evaluación estructural de pavimento Flexible]* (Vol. 08). Bangalore, India: International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). Obtenido de <https://www.ijert.org/structural-evaluation-of-flexible-pavement#:~:text=Structural%20evaluation%20of%20pavement%20could,present%20in%20subgrade%2C%20rainfall%20etc.>
- Alshannag, A. K.-N. (Enero de 2018). *El estado de la educación para el desarrollo sostenible y el conocimiento, las actitudes y los comportamientos de la sostenibilidad de los estudiantes universitarios de los EAU*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/322331935_The_status_of_education_for_sustainable_development_and_sustainability_knowledge_attitudes_and_behaviors_of_UAE_University_students
- Araujo L. y Begazo N. (2021). *Aplicación de métodos no destructivos y destructivos para determinar la condición del pavimento flexible en vías urbanas, Puno – 2021*. Lima, Perú: Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/75332>
- AUSUBEL, D. (1968). *Educational Psychology: A cognitive view*. Holt, Rinehart & Winston. *Aprendizaje significativo y educación ambiental*. Obtenido de Universidad Pública de Navarra. Pamplona
- BALLESTER, A. (2002). *El aprendizaje significativo en la práctica*. . Obtenido de *Cómo hacer el aprendizaje significativo en el aula*.: <http://www.cibereduca.com/aprendizaje/LIBRO.pdf>
- Balza, G. (2017). *Cultura ecológica en promoción del cuidado del ambiente*. Obtenido de <https://www.grin.com/document/358343>
- Bastola N. et al. (2021). *Utilization of Finite Element Analysis towards the Evaluation of the Structural Capacity of Flexible Pavements [Utilización del Análisis de Elementos Finitos para la Evaluación de la Capacidad Estructural de Pavimentos Flexibles]*. Reston , Estados Unidos : ASCE LIBRARY. Obtenido de <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/9780784483503.012>
- Benedetto A. (2019). *Advances in the assessment of mechanical properties of flexible pavements by GPR*. (Vol. 21). EBSCO Industries, Inc. Obtenido de <https://web.p.ebscohost.com/abstract?direct=true&profile=ehost&scope=sit>

e&authtype=crawler&jrnl=10297006&AN=140483608&h=NFTdHgJIUP4WV
S5qNMI2dUK%2bFQsH%2f%2biH6i1JX35NqHA%2b%2fDiA6QTFO0Nexp
q77tKYHzPx0y8%2fgVCvLk1KJkFKFw%3d%3d&crl=c&resultNs=AdminWe
bAuth&re

Benedetto A. et al. (2020). *data fusion, integration and advances of non-destructive testing methods in civil and environmental engineering*. Londres, Inglaterra: University of West London. Obtenido de <http://repository.uwl.ac.uk/id/eprint/6940/>

Bernal, C. A. (2010). *Metodología de investigación*. Colombia: Pearson.

Burga K. et al. (2019). *Estudio y evaluación del pavimento flexible ubicado en la av. chinchaysuyo del tramo del paseo yortuque empleando el método pci y propuesta de rehabilitación del pavimento flexible*. Pimentel, Perú: Universidad Señor de Sipán. Obtenido de <https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/6153/Solis%20Burga%20Karin%20%26%20Vallejos%20Montenegro%20Julio.pdf?sequence=5&isAllowed=y>

Canales, H. J. (2021). Educación ambiental y su contribución al cuidado y protección del ecosistema. *Scielo*, 21(1), 17. doi:229/245

Carhuaz, V. P. (2018). Aportes pedagógicos a la educación ambiental: una perspectiva teórica. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 14.

Carlos Cruces, M. L. (2017). *Programa de educación ambiental en la actitud frente a la conservación del ambiente en estudiantes de segundo de primaria, Ica -2016*. doi:259/263

Carracelas S. et al. (2019). *Optimisation of ground penetrating radar testing at traffic speed for structural monitoring of pavements*. Vigo, España: Universidad de Vigo. Obtenido de <https://www.investigacion.biblioteca.uvigo.es/xmlui/handle/11093/1116>

Castro. (2021). *La educación ambiental*. Obtenido de Línea verde de Huelva: <http://www.lineaverdehuelva.com/lv/consejos-ambientales/educacion-ambiental/sensibilizacion-y-concienciacion-ambiental.asp>

Castro L. et al. (2021). *Tecnologías empleadas en la evaluación de pavimentos e impacto que han generado* (Vol. 02). Tayacaja, Perú: Llamkasun. Obtenido de <https://llamkasun.unat.edu.pe/index.php/revista/article/view/29/35>

Chilukwa N. y lungu R. (2019). *Determination of Layers Responsible for Rutting Failure in a Pavement Structure [Determinación de las Capas Responsables de la Falla por Ahuellamiento en una Estructura de*

Pavimento]. Kitwe, Zambia: MDPI. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/infrastructures4020029>

conservación, P. d. (2017). *Carlos Cruces, Mónica Lidia*. Obtenido de <http://repositorio.unae.edu.ec/handle/56000/448>

Cortina, A. (2013). *Para qué sirve realmente la ética*. Madrid: Paidós.

Cuba Manrique, J. L. (2017). *La conciencia ambiental en los estudiantes del quinto grado de primaria de la Institución Educativa N° 20546 "María Esther Peralta Escobar" – Chosica*. doi:259/263

Elseicy et al. (2022). *Combined Use of GPR and Other NDTs for Road Pavement Assessment: An Overview [Uso combinado de GPR y otros NDT para la evaluación de pavimentos de carreteras: una descripción general]* (Vol. 14). Vigo, España: MDPI. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/rs14174336>

Elshamy M. et al. (2020). *Development of the non-destructive monitoring methods of the pavement conditions via artificial neural networks [Desarrollo de métodos de monitoreo no destructivos de las condiciones del pavimento a través de redes neuronales artificiales]*. Rostov, Rusia: EMMFT. Obtenido de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1614/1/012099/pdf>

Espinoza Gómez, A. J. (2019). *Taller sobre cultura ecológica para mejorar la actitud de protección del medio ambiente de los estudiantes de 9no de Educación Básica de la Escuela Fiscal Humberto More – Guayaquil – 2018*. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/41047>

Fabián J. (2021). *Evaluación del estado del pavimento flexible mediante la metodología del pci de la avenida Perú, distrito de amarilis- huánuco-2020*. Huanuco, Perú: Universidad Nacional Hermilio Valdizan. Obtenido de <https://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/6858>

Figuroa, F. (27 de Abril de 2015). *Valores ecológicos*. Obtenido de <https://prezi.com/30xouz8j3x7j/valores-ecologicos/?fallback=1>

Foladorí, G. (2001). *En pos de la historia en educación ambiental*. Obtenido de <http://www.anea.org.mx/Topicos/T%208/Paginas%2028%20-%2043.pdf>

Franco. (2014). *Tesis de Investigación. Población y Muestra. Tamayo y Tamayo*. Obtenido de <http://tesisdeinvestig.blogspot.com/2011/06/poblacion-y-muestra-tamayo-y-tamayo.html?m=1>

Fuentes L. et al. (2019). *Modelling pavement serviceability of urban roads using deterministic and probabilistic approaches [Modelado de la capacidad de servicio del pavimento de las vías urbanas utilizando enfoques deterministas y probabilísticos]*. (I. J. Engineering., Ed.) Taylor y Francis Online. Obtenido de <https://doi.org/10.1080/10298436.2019.1577422>

- Galán, J. G. (Enero de 2018). *Enfoque holístico de la educación ambiental: el estudio del paisaje como modelo interdisciplinario*. Obtenido de <https://www.eumed.net/actas/18/economia-social/23-enfoque-holistico-de-laeducacion.pdf>
- Gardner, A. (2017). *Sustainability Toolkit: An Educational Tool for Behavioral Change Strategies*. Obtenido de Base de datos ProQuest Dissertations & Theses Global.
- Ghos S. et al. (2021). *Evaluation of Transverse Cracking in Flexible Pavements Using Field Investigation and AASHTOWare Pavement ME Design*[Evaluación del agrietamiento transversal en pavimentos flexibles mediante investigación de campo y diseño ME de pavimento AASHTOWare] (Vol. 15). International Journal of Pavement Research and Technology. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s42947-021-00037-x>
- Gijón, A. C. (Marzo de 2003). *Problemas ambientales y educación ambiental en la escuela*. Obtenido de https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/articulos-de-opinion/2003_03cuello_tcm30-163448.pdf
- Gómez, Y. L. (2019). *Conciencia Ambiental en estudiantes de la I.E N° 36303 - José Carlos Mariateguá del distrito de Yauli. Huancavelica - 2019*. Obtenido de <https://repositorio.unh.edu.pe/bitstream/handle/UNH/3481/TESIS-2019-EDUCACI%C3%93N%20PRIMARIA-LAURENTE%20GOMEZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- González, S. d. (10 de Noviembre de 2019). *Cuáles son los valores ambientales*. Obtenido de La mente es maravilla: <https://lamenteesmaravillosa.com/cuales-son-los-valores-ambientales/>
- Guimaray Guevara, M. E. (2019). *Hábitos ecológicos para la conservación del medio ambiente en estudiantes de 2º grado de la Institución Educativa N° 88027, Chimbote*. Obtenido de Repositorio Universidad César Vallejo: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/45266>
- Gutiérrez, C. J. (2020). *Educación ambiental*. Obtenido de https://tomi.digital/es/75345/educacion-ambiental?utm_source=google&utm_medium=seo
- Hasan H. et al. (2020). *Developing International Roughness Index (IRI) Model from visible pavement distresses [Desarrollo del modelo del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) a partir de deterioros visibles del pavimento]*. AL-Diwaniyah, Irak: IOP Publishing Ltd Serie de conferencias IOP: Ciencia e ingeniería de materiales. Obtenido de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/737/1/012119/meta>

- Hernandez et al. (2014). *Metodología de la Investigación* (6ta ed., Vol. 6). Celaya, Mexico: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. Obtenido de <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista- Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>
- Hernández, F. B. (2014). Metodología de la investigación. En F. B. Hernández, *Metodología de la investigación* (pág. 632). Interamericana editores.
- Hiliana Milián Martínez, A. O. (2014). El proceso de formación de valores mediante la clase de Informática. *Scielo*, 18(1), 10. doi:100/110
- Ihamouten A. et al. (2018). *Full-waveform inversion using a stepped-frequency GPR to characterize the tack coat in hot-mix asphalt (HMA) layers of flexible pavements [Inversión de forma de onda completa utilizando un GPR de frecuencia escalonada para caracterizar la capa de adhere]* (Vol. 95). Angers, Francia: NDT Y E INTERNATIONAL. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963869516303048>
- Jiménez. (2012). *Qué es cultura ecológica*. Obtenido de <https://la-respuesta.com/articulos-populares/Que-es-la-cultura-ecologica/>
- José. (2021). *Valores ambientales*. temasambientales.com.
- Karati S. et al. (2022). *Assessment of temperature impact on SDA modified bituminous concrete by non-destructive test [Evaluación del impacto de la temperatura en hormigón bituminoso modificado SDA mediante ensayo no destructivo]* (Vol. 65). Bengal, India. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785322038810>
- Karballaezadeh N. et al. (2019). *Usage Surface Deflection Data for Performance Prediction in Flexible Pavement [Datos de deflexión de la superficie de uso para la predicción del rendimiento en pavimentos flexibles]*. Theran, Iran: PrePrints.org. Obtenido de <https://www.preprints.org/manuscript/201910.0141/v1>
- Karthikeyan L. (2018). *Simplified Approach for Structural Evaluation of Flexible Pavements at the Network Level*. Texas, Estados Unidos. Obtenido de https://scholarworks.uttyler.edu/ce_grad/9/#:~:text=CIVIL%20ENGINEERING%20THESES,Simplified%20Approach%20for%20Structural%20Evaluation%20of%20Flexible%20Pavements%20at%20the%20Network%20Level,-Karthikeyan%20Loganathan
- Kumar V. y K. S. (2019). *Application of Ground Penetration Radar and Light Weight Deflectometer for Pavement Quality Control and Quality Assessment [Aplicación de Radar de Penetración Terrestre y Deflectómetro de Peso Ligero para Control de Calidad de Pavimentos y Evaluación]*.

International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE). Obtenido de https://www.academia.edu/83138482/Application_of_Ground_Penetration_Radar_and_Light_Weight_Deflectometer_for_Pavement_Quality_Control_and_Quality_Assessment

Kumar V. y Kumar. (2019). *Structural Properties Evaluation for Flexible Pavement Using Non Destructive Testing GPR and LWD (Vol. 10) [Evaluación de Propiedades Estructurales para Pavimentos Flexibles Utilizando Ensayos No Destructivos GPR y LWD (Vol. 10)]*. International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET). Obtenido de https://www.academia.edu/70468515/Structural_Properties_Evaluation_for_Flexible_Pavement_Using_Non_Destructive_Testing_GPR_and_LWD

Kumar V. y Kumar S. (2021). *Development of structural condition assessment model for flexible pavement based on LWD and GPR measurements [Desarrollo de modelo de evaluación de condición estructural para pavimento flexible basado en mediciones LWD y GPR]* (Vol. 14). India: Int.

J. Pavement Res. Technol. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s42947-020-1114-9>

Li Q. y Garg N. (2018). *Evaluation of Flexible Pavement Using HWD and PSPA at National Airport Pavement and Materials Research Center (NAPMRC) [Evaluación de pavimento flexible utilizando HWD y PSPA en el Centro Nacional de Investigación de Materiales y Pavimentos de Aeropuerto]*.

Estados Unidos: ASCE Library. Obtenido de <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/9780784480953.019>

Liddy, O. y. (2018). El impacto de la educación para el desarrollo y la educación para las intervenciones de desarrollo sostenible: una síntesis de la investigación. *Taylor y Francis en línea*, 24(20), 1031-1049. doi:10.1080/13504622.2017.1392484

Linares, V. (2021). *Evaluación y diagnóstico del estado del pavimento flexible utilizando la metodología pci y la vigabekelman en la av. confraternidad en el pp jj ricardo*

palma en la ciudad de chichlayo. Lima, Perú: Universidad San Martín de Porres. Obtenido de https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/8534/linares_slv.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Llamo, L. M. (2020). *Repositorio Uladech*. Obtenido de actitudes ambientales en los estudiantes de 04 años en la i.e.p “niñojesusito” distrito:

http://repositorio.uladech.edu.pe/bitstream/handle/123456789/23104/ACTITUD_AMBIENTAL_MEDIO_AMBIENTE_FERNANDEZ_LLAMO_LUZ_MARIBEL.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Manterola, T. O. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *Scielo*, 35(1), 6. doi:227-232
- Marquez Caro, F. L. (2020). *Responsabilidad social, la ética y desarrollo sustentable en la Compañía Minera Casapalca SA.: una propuesta desde el management*, 2019. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/40710>
- McCLOSKEY, H. (1988). Ética y política de la ecología, Fondo de Cultura Económica, México. *Scielo*, 39.
- McLeod, S. (2008). *Likert Scale Definition, Examples and Analysis. Simply*.
- Meria, C. y. (Abril de 2001). *Educación ambiental y desarrollo humano*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/287771112_Educacion_Ambiental_y_Development_Humano
- Mishra S. et al. (2022). *Analysis of Falling Weight Deflectometer (FWD) Data of a Flexible Pavement Using Two Different Programs*. (Vol. 218). Punjab, India. Obtenido de https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-16-9921-4_8
- Morales M. . (2019). *Comparación de los métodos PCI y VIZIR en la evaluación de fallas del pavimento flexible de la avenida Aviación de la ciudad de Juliaca*. Juliaca, Perú: Universidad Peruana Unión. Obtenido de https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/1956/Mayu_j_Tesis_Licenciatura_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Moreno D. et al. (2020). *Revisión de las metodologías de evaluación y tipos de rehabilitación de las patologías presentes en pavimentos flexibles*. Villavicencio, Colombia: Universidad cooperativa de Colombia. Obtenido de <https://repository.ucc.edu.co/items/ae365b35-755f-4e4e-ad04-82880b938127>
- Morovatdar A. (2023). *Mechanistic Assessment of Flexible Pavements in Wisconsin Using Traffic Speed Deflectometer [Evaluación mecanicista de pavimentos flexibles en Wisconsin usando deflectómetro de velocidad de tráfico]*. Madison, Estados Unidos: Sage Journals. Obtenido de <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/03611981231156582>
- N. Karballaezadeh et al. (2019). *Usage Surface Deflection Data for Performance Prediction in Flexible Pavement [Datos de deflexión de la superficie de uso para la predicción del rendimiento en pavimentos flexibles]*. Teheran, Iran: Shahrood University of Technology, Shahrood. Obtenido de <https://doi.org/10.20944/preprints201910.0141.v1>
- Nabipour N. et al. (2019). *Comparative Analysis of Machine Learning Models for Prediction of Remaining Service Life of Flexible [Análisis comparativo de*

modelos de aprendizaje automático para la predicción de la vida útil restante del pavimento flexible] Pavement. Técnicas híbridas de aprendizaje automático aplicadas en aplicaciones de ingeniería real . Obtenido de <https://www.mdpi.com/2227-7390/7/12/1198>

Nagaraj S. (2019). *Structural Evaluation of Flexible Pavement [Evaluación Estructural de Pavimento Flexible]* (Vol. 08). Bangalore, India: REVISTA INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y TECNOLOGÍA DE INGENIERÍA (IJERT). Obtenido de <https://www.ijert.org/structural-evaluation-of-flexible-pavement?amp=1>

Nayana D. et al. (2020). *Pavement Evaluation Using Falling Weight Deflectometer (FWD) [Evaluación de pavimento utilizando deflectómetro de caída de peso (FWD)]* (Vol. 77). Tumakuru, India. Obtenido de https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-5195-6_35

Nitish R. et al. (2021). *Utilization of Finite Element Analysis towards the Evaluation of the Structural Capacity of Flexible Pavements*. International Airfield and Highway Pavements Conference 2021. Obtenido de <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/9780784483503.012>

Noor Z. et al. (2019). *Relationship between rutting, roughness and resilient modulus of flexible expressway pavement [Relación entre ahuellamiento, rugosidad y módulo resiliente del pavimento de autopista flexible]*. Johor, Malaysia: IOP Conf. Ser.: Medio Ambiente Terrestre. Obtenido de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/220/1/012019/meta>

NOVAK, J. D. (1998). *Conocimiento y aprendizaje. Los mapas conceptuales como herramientas facilitadoras para escuelas y empresas*. Alianza. doi:40/42

Ocana F. y Cruz O. (2022). *Structural evaluation of flexible pavements using impact deflectometer [Evaluación estructural de pavimentos flexibles mediante deflectómetro de impacto]* (Vol. 26). Zipaquirá, Colombia : Universidad Santo Tomas. Obtenido de <https://doi.org/10.47460/uct.v26i114.598>

Olavarria, E. (2015). *Valores breve aproximación histórica dr. Juan r. quesada c*. Obtenido de <https://slideplayer.es/slide/22026/>

OMS. (06 de Marzo de 2017). *Las consecuencias de la contaminación ambiental: 1,7 millones de defunciones infantiles anuales*. Obtenido de Organización Mundial de la Salud: <https://www.who.int/es/news/item/06-03-2017-the-cost-of-a-polluted-environment-1-7-million-child-deaths-a-year-says-who>

OMS. (06 de Marzo de 2017). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de Las consecuencias de la contaminación ambiental: 1,7 millones de defunciones infantiles anuales: <https://www.who.int/es/news/item/06-03-2017-the-cost-of-a-polluted-environment-1-7-million-child-deaths-a-year-says-who>

- Orgánica, L. (22 de Diciembre de 2006). *Observatorio del principio 10 en América Latina y el Caribe*. Obtenido de <https://observatoriop10.cepal.org/es/instrumentos/ley-organica-ambiente-ley-no-5833>
- Ortega Rodríguez, L. M. (2019). *Valores morales y relaciones Interpersonales en los estudiantes de octavo EGB de la unidad educativa Luis Espinosa Tamayo, Ecuador*. Obtenido de La Referencia: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/43028>
- Ortega, M. d. (2020). La educación como fundamento orientador hacia una cultura ambiental. *Scielo*, 20.
- Padilla, J. C. (2007). *Escala de medición*. Corporación Universitaria Unitec. Padilla, J. C. (2007). *Escalas de medición*. Corporación Universitaria Unitec.
- Pallasco J. (2018). *Evaluación y propuesta de mantenimiento del pavimento flexible de la Avenida Quevedo en Santo Domingo de los Tsáchilas*. Quito, Ecuador: Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/15816>
- Pineda, J. (17 de Marzo de 2018). *Temas ambientales*. Obtenido de <https://www.temasambientales.com/2017/03/valores-ambientales.html>
- Pineda, J. (20 de Abril de 2021). *Valores ambientales*. Obtenido de <https://www.temasambientales.com/2017/03/valores-ambientales.html>
- Plati C. (2020). *Integration of non-destructive testing methods to assess asphalt pavement thickness [Integración de métodos de ensayo no destructivos para evaluar el espesor del pavimento asfáltico]*. Atenas, Grecia: National Technical University of Athens (NTUA), Laboratory of Pavement Engineering . Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963869520303169>
- Portillo, S. R. (13 de Febrero de 2020). *Ecología verde*. Obtenido de <https://www.ecologiaverde.com/valores-ambientales-que-son-y-ejemplos-2523.html>
- Rabbi, M. and Mishra, D. (2019). *Using FWD deflection basin parameters for network-level assessment of flexible pavements. [Uso de parámetros de cuencas de deflexión FWD para la evaluación a nivel de red de pavimentos flexibles]*. ID, Estados Unidos: International Journal of Pavement Engineering. Obtenido de <https://doi.org/10.1080/10298436.2019.1580366>
- Rezaeezadeh A. (2022). *Pavement evaluation with a non-destructive method, the falling weight deflectometer [Evaluación de pavimentos con un método no destructivo, el deflectómetro de caída de peso]*. Montreal, Estados Unidos: Espace ÉTS. Obtenido de <https://espace.etsmtl.ca/id/eprint/3043/>

- Rocha M. et al. (2022). *Influence of Seed Layer Moduli on Backcalculation Procedure and on Overlay Design of Flexible Pavements [Influencia de los módulos de la capa de semillas en el procedimiento de retrocálculo y en el diseño de superposición de pavimentos flexibles]* (Vol. 2676). Brazil: Saje Journals. Obtenido de <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/03611981211065753?journalCode=tra>
- Rodríguez Jiménez, A., & Pérez Jacinto, A. O. (2017). Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento. *Revista Escuela de Administración de Negocios*(1-26), 82.
- Rodríguez, Ó. H. (2012). *Estadística elemental para ciencias sociales*. Editorial Universidad de Costa Rica.
- Salt G. et al. (2022). *Pavement structural performance: Predicting remaining life using rapid non-destructive testing*. Eleventh International Conference on the Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields. Obtenido de <https://www.taylorfrancis.com/chapters/oa-edit/10.1201/9781003222910-29/pavement-structural-performance-predicting-remaining-life-using-rapid-non-destructive-testing-salt-grimshaw-marradi>
- Sánchez, J. C. (2004). *Metodología de la investigación científica y tecnológica*. Díaz de Santos.
- Sandra Luz Hernández Mendoza, D. D. (2020). Técnicas e instrumentos de recolección de datos. *Boletín Científico de las Ciencias Económico Administrativas del ICEA*, 9(2), 17. doi:51-53
- Sanjay R. (2022). *Comparative study on structural evaluation of flexible pavement using BBD and FWD [Estudio comparativo de evaluación estructural de pavimento flexible utilizando BBD y FWD]* (Vol. 60). Tumakuru, India: Department of Civil Engineering, Siddaganga Institute of Technology. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785322006988>
- Sepulveda, N. (2019). *Evaluación de deterioro en un pavimento flexible, reporte de caso: desde la avenida franciscofernandez de contreras, calle 7 hasta la carrera 10, ocaña agua de virgen*. bucaramanga, colombia: universidad pontificia bolivariana. Obtenido de <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/9154>
- Serin S. et al. (2022). *Determination of Highway Pavement Layer Thickness and Layer Anomalies with GPR in Burdur Section of D330 Highway [Determinación del espesor de la capa de pavimento de la carretera y las anomalías de la capa con GPR en la sección Burdur de la carretera D]* (Vol.

- 26). Osmaniye, Turquía. Obtenido de <https://dergipark.org.tr/en/pub/sdufenbed/issue/72092/1000547>
- Silva, V. (2012). *Educación ambiental*. Obtenido de https://tomi.digital/es/48678/educacion-ambiental?utm_source=google&utm_medium=seo
- Singh A. et al. (2020). *Analysis of the flexible pavement using falling weight deflectometer for indian national highway road network [análisis del pavimento flexible utilizando deflectómetro de peso en caída para la red de carreteras nacional de la india]*. Bombay, India: World Conference on transport Research. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146520304403/pdf?md5=d9569d6793e7513970120c3614434a18&pid=1-s2.0-S2352146520304403-main.pdf>
- SUREDA, J. Y. (s.f.). *Pedagogía ambiental*. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?id=mKIJDwAAQBAJ&lpg=PA227&ots=wuWU9vgZTI&dq=SUREDA%2C%20J.%20Y%20COLOM%2C%20A.%20J.%2C%201989.%20Pedagog%C3%ADa%20ambiental.%20CEAC%2C%20Barcelona%2C%20pp%20243.&lr&hl=es&pg=PA2#v=onepage&q&f=false>
- Taborda K. et al. (2020). *A probabilistic approach to detect structural problems in flexible pavement sections at network level assessment*. Barranquilla, Colombia: International Journal of Pavement Engineering. Obtenido de <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10298436.2020.1828586>
- Tacza E. y Rodriguez B. (2018). *Evaluación de fallas mediante el método PCI y planteamiento de alternativas de intervención para mejorar la condición operacional del pavimento flexible en el carril segregado del corredor Javier Prado*. Lima, Perú: Universidad Peruana de Ciencias. Obtenido de https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/624556/Rodriguez%20_PB%20%26%20Tacza_%20HE.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Torres, C. A. (2010). *Metodología de la investigación*. Pearson.
- Tosti F. et al. (2019). *Advances in the Prediction of the Bearing Capacity of Road Flexible Pavements using GPR [Avances en la Predicción de la Capacidad portante de Pavimentos Flexibles Viales utilizando GPR]* (Vol. 2019). Asociación Europea de Geocientíficos e Ingenieros. Obtenido de <https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.201902574>
- Tracy, S. (2017). *Inclusion of Environmental Education into Public School Curricula (Tesis doctoral)*. Obtenido de base de datos ProQuest Dissertations & Theses Global.

- UNESCO. (26 de Octubre de 1977). *Conferencia intergubernamental sobre Educación ambiental*. Obtenido de <https://www.minam.gob.pe/cidea7/documentos/Declaracion-de-Tbilisi-1977.pdf>
- UNESCO. (13 de Mayo de 2021). Obtenido de El Ágora: <https://www.elagoradiario.com/desarrollo-sostenible/unesco-educacion-ambiental/>
- Urzúa, J. A. (2013). La ética medio ambiental: principios y valores para una ciudadanía responsable en la sociedad global. *Scielo*, 19(2), 12. doi:177-178
- Vera, N. (20 de Agosto de 2020). *¿Cuáles son los Valores Ecológicos y Ambientales?* Obtenido de <https://lamaravillosanaturaleza.com/c-medio-ambiente/valores-ecologicos/>
- Wickramasinghe A. et al. (2021). *Application of fwd testing for layered pavements [Aplicación de ensayos FWD para pavimentos en capas]*. Colombo, Sri Lanka: ICSECM. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Suganthiny_Ganesh/publication/368747962_APPLICATION_OF_FWD_TESTING_FOR_LAYERED_PAVEMENTS/links/63f79297574950594539200c/APPLICATION-OF-FWD-TESTING-FOR-LAYERED-PAVEMENTS.pdf
- Zheng Y. et al. (2019). *Correlation between pavement temperature and deflection basin form factors of asphalt pavement. [Correlación entre la temperatura del pavimento y los factores de forma de la cuenca de deflexión del pavimento asfáltico]* (Vol. 20). OH, Estados Unidos: International Journal of Pavement Engineering. Obtenido de <https://doi.org/10.1080/10298436.2017.1356172>

ANEXOS

Tabla 14

Categorización

Variables de estudio	Definición conceptual	Categoría	Subcategoría	Códigos
Métodos no destructivos	Los diferentes enfoques y técnicas utilizados para evaluar fallas estructurales en pavimentos flexibles sin causar daños permanentes en la estructura	Técnicas de evaluación	1. Tecnologías de ensayo no destructivo 2. Fallas estructurales del pavimento flexible 3. Aplicación en la Región Piura	MD1

Fuente: elaboración propia.

Tabla 15

Categorización apriorística

Ámbito temático	Problema de investigación	Preguntas de investigación	Objetivos	Categorías y Subcategorías
Evaluación de fallas estructurales del pavimento flexible mediante métodos no destructivos	Identificar métodos no destructivos para la evaluación de fallas estructurales en pavimentos flexibles y su aplicación en la región Piura	<ol style="list-style-type: none"> 1. ¿Cómo evaluar la efectividad de los métodos no destructivos disponibles en la detección temprana y cuantificación de las fallas estructurales en pavimentos flexibles de la Región Piura? 2. ¿Cuáles son las técnicas de evaluación no destructivas más adecuadas para la detección de fallas estructurales en el pavimento flexible en la región Piura? 3. ¿Cuáles son las limitaciones 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identificar los métodos no destructivos disponibles para la detección y cuantificación de fallas estructurales en pavimentos flexibles a nivel internacional y su aplicación en la región Piura. 2. Comparar la efectividad de los diferentes métodos no destructivos para la evaluación de fallas estructurales en pavimentos flexibles y su aplicación en la Región Piura 3. Comparar y contrastar los diferentes métodos no destructivos en cuanto a su 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Métodos no destructivos en la evaluación de fallas estructurales del pavimento flexible. 2. Tecnologías de ensayo no destructivo. 3. Fallas estructurales del pavimento flexible. 4. Aplicación en la Región Piura.

		<p>y ventajas de las técnicas de evaluación no destructiva más utilizadas para la evaluación de fallas estructurales en pavimentos flexibles?</p>	<p>capacidad para detectar y evaluar diferentes tipos de fallas estructurales en pavimentos flexibles, como grietas, deformaciones, desprendimientos, entre otros.</p> <p>4. Identificar los métodos no destructivos más recomendables para su aplicación en la región Piura.</p>	
--	--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

Fuente: elaboración propia.