

# Herramientas tecnológicas de evaluación de fallas en la superficie de pavimento flexible, una revisión sistemática

*Technological tools for failure assessment in the flexible pavement surface, a systematic review*

 **Claudia Luz Cárdenas Resines**

Universidad Continental, Perú  
76404044@continental.edu.pe

 **Jerold Luis Carrillo Sinche**

Universidad Continental, Perú  
71468769@continental.edu.pe

 **Angela Dayana Izarra Vargas**

Universidad Continental, Perú  
76422871@continental.edu.pe

 **Christian Edinson Murga Tirado**

Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo, Perú  
christianmurga@unat.edu.pe

 **Anais Gabriela Vásquez Salazar**

Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo, Perú  
anaisvasquez@unat.edu.pe

## RESUMEN

A lo largo de los años en que un pavimento se encuentra al servicio, es expuesto ante las acciones climáticas y tránsito que desgastan la vida útil del mismo, tanto como su calidad de características mecánicas, como funcionales, haciendo que existan diversas fallas y tipos de desgastes en los pavimentos flexibles; por lo que emplear herramientas de opciones tecnológicas, se ha vuelto indispensable para sus respectivas evaluaciones. Objetivo. Realizar un análisis de herramientas tecnológicas de evaluación de fallas existentes en superficies del pavimento flexible. Tipo de investigación. La investigación presenta un enfoque cualitativo, el cual se sustenta por obtener información referente a las herramientas tecnológicas de evaluación de fallas en los pavimentos flexibles. Método. Se realizó a través de revisiones bibliográficas de artículos científicos; por lo que, para este estudio se ha considerado el uso de bases de datos como: REDALYC, SCIEDIRECT, DIALNET, SCIELO; cuyos criterios aplicados fueron en cuanto a temporalidad los últimos 16 años (2007 - 2023), trabajando con un total de 31 artículos científicos originales, para después realizar la recopilación de información y finalmente los análisis respectivos relacionados a nuestros objetivos. Conclusión. La fotogrametría terrestre y redes neuronales es la mejor opción tecnológica de la evaluación de fallas en la condición superficial de pavimentos flexibles; ya que, contribuye en la reducción de tiempo y costo, siendo el más eficiente de las demás herramientas tecnológicas

**Palabras clave:** Herramientas tecnológicas, evaluación, fallas, pavimentos.

## ABSTRACT

Throughout the years in which a pavement is in service, it is exposed to climatic actions and traffic that wear out its useful life, as well as its quality of mechanical characteristics, as well as functional, causing various failures and types of failures to exist. clothing on flexible pavements; Therefore, using technological option tools has become essential for their respective evaluations. Aim. Perform an analysis of existing failure assessment technology tools in flexible pavement surfaces. Type of research. The research presents a qualitative approach, which is supported by obtaining reference information on technological tools for evaluating failures in flexible pavements. Method. It was carried out through bibliographic reviews of scientific articles; Therefore, for this study, the use of databases such as: REDALYC, SCIENCEDIRECT, DIALNET, SCIELO; whose applied criteria were in terms of temporality the last 16 years (2007 - 2023), working with a total of 31 original scientific articles, to later carry out the collection of information and finally the analyzes related to our objectives. Conclusion. Terrestrial photogrammetry and neural networks is the best technological option for the evaluation of failures in the surface condition of flexible pavements; since it contributes to the reduction of time and cost, being the most efficient of the other technological tools.

**Keywords:** Technological tools, evaluation, failures, pavements.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el mundo está integrado con muchos intercambios de bienes y servicios, haciendo que las carreteras y vías sean notablemente de gran importancia para satisfacer dicho intercambio que, impulsan en gran medida el crecimiento económico; así como también al desarrollo. Por ello, es importante contar con buenas infraestructuras de carreteras que brinden seguridad y comodidad. Dicho esto, el pavimento flexible es el elemento primordial de obras viales que deben contar con un buen estado de servicio, por lo que el desarrollo y empleo de opciones tecnológicas para determinar el ciclo de vida del pavimentos flexible se volvió indispensable evaluando su condición superficial [1]; por lo tanto, la presente investigación se enfocará a realizar un análisis de herramientas tecnológicas de evaluación de fallas existentes en superficies del pavimento flexible, según investigaciones de los años 2007 - 2023.

Branco [1] menciona que, los pavimentos empiezan a ser sometidos a diversas acciones después de su construcción, que gradualmente contribuyen a su respectiva degradación; cabe recalcar que, antes de “entrar a su servicio”, los agentes atmosféricos también logran degradar al pavimento de acuerdo a la localización. Existen dos grupos de factores que intervienen durante el desarrollo de deterioro de pavimentos: factores activos (agentes climáticos, tráfico) y factores pasivos (proceso constructivo, calidad de materiales, espesor de capas) Branco [1]. Es necesaria la aplicación de acciones de conservación cuando a lo largo del tiempo

lleguen a un estado de degradación, en la cual los factores activos dan origen a nuevas degradaciones, incrementando el porcentaje de degradaciones existentes. Minhoto, Picado [2]. Por lo que es primordial conocer el estado del pavimento para la selección de la estrategia más eficiente de conservación, según Orozco [3]. Mediante el estado pavimento a través de un índice único tiene un algoritmo de cálculo. Según los resultados de la evaluación del estado del pavimento, la conservación podría ser funcional o estructural. además, podemos mantener el objetivo de restaurar las características funcionales como es de superficie, textura, uniformidad longitudinal y lateral. Al mismo tiempo este tipo de intervención también tendrá efectos en la textura del pavimento.

### 1. Pavimentos:

Minhoto [2] comenta que, el comportamiento del pavimento es complejo, debido a que existen diversas acciones que provocan alteraciones en las propiedades de los materiales que la componen. El envejecimiento del ligante por oxidación, se encuentra relacionada con materiales bituminosos, pues estos fragilizan la mezcla asfáltica y por consiguiente, el agrietamiento y salida de agregados.

### 2. Herramientas de Evaluación:

- Sistemas láser: Proporcionan información de alta calidad a través de captaciones de perfiles en 3D, debido a que son poco sensibles a las diferentes

- condiciones de iluminación, triangulación y tiempo de vuelo [4].
- Cámaras de escaneo lineal: Compuesto por una fila de píxeles, pues una imagen bidimensional se puede generar en un ciclo de exposición. La tasa de captación de datos es menor que las cámaras lineales, debido a su velocidad de lecturas. [5].
- Imágenes multiespectrales: Poseen sensores capaces de detectar imágenes de fisuras y baches de la superficie del pavimento con una matriz de múltiples cámaras [6].
- Redes neuronales: [7] Conjunto de elementos de manera estructurada de procesamiento interconectado a través de un conjunto de muestras de entrenamiento. La solución de problemas en la detección de fallas en pavimentos se ve en las siguientes investigaciones: [8] [9] [10] y [11].
- Fotogrametría terrestre: Consiste en el procesamiento de imágenes, extracción de características, clasificación y evaluación de área afectada [12].

## MÉTODO

Para la presente investigación, se incluyó investigaciones que involucren una literatura teórica, seleccionando estudios originales de revistas científicas, para la cual se tuvieron en cuenta lo siguiente:

**Procedimiento para la búsqueda:** REDALYC, SCIENCE DIRECT, SCIELO, PROQUEST Y EBSCO. Donde las siguientes palabras claves que se emplearon fueron: “Evaluación”, “fallas”, “pavimentos” y sus combinaciones. Se usó operadores booleanos que nos permitió conectar de manera lógica nuestras palabras claves para obtener resultados más acertados, en los cuales se incluyeron los términos en inglés para las bases de datos.

Dentro de los criterios evaluados para su inclusión en el proceso, tiene como definición la calidad y características del contenido de la investigación factores de impacto técnicos o formales.

### Procedimiento de selección:

En principio, al determinar un modelo para analizar, comparar y evaluar la información obtenida una vez realizada la búsqueda sistemática de las revistas y artículos relativo a: Fallas, Pavimentos y Evaluación; se realiza una investigación exploratoria de estándares de revisión y de selección las cuales son etapas, al

inicio se buscó la información en las bases de datos mencionadas y se descargó la información bibliográfica de los resultados, los artículos originales pasaron por una primera etapa, en la cual consiste en la lectura de los títulos y resúmenes en idioma español.

Así, como también, en la segunda etapa se realizó la lectura de los textos seleccionados para corroborar su elegibilidad y eliminar documentos duplicados y luego, se seleccionaron artículos que sólo tengan que ver con evaluaciones de fallas en pavimentos de artículos de los últimos 16 años para analizar los diferentes métodos de evaluaciones con el empleo de opciones tecnológicas en pavimentos.

Por otra parte, en los criterios de exclusión fueron artículos repetidos. En la búsqueda realizada, se encontraron diversos artículos con referencias de entre los años 2007 - 2023, los cuales quedan distribuidos de la siguiente manera:

- SCIENCE DIRECT: 188 artículos

- SCIELO: 48 artículos

- REDALYC: 1334 artículos

- DIALNET: 82 artículos

En la base de datos Science direct, se han encontrado 188 artículos, de los cuales se consideraron sólo 12 de ellos, pues están directamente relacionados a nuestro tema y de acuerdo al límite de tiempo, que son los últimos 16 años. En la base de datos Scielo, se encontraron 48 artículos, de los cuales sólo se seleccionaron 6 de ellos, dado a que están relacionados a pavimentos, se consideraron en base a las fallas que se encuentran en ellas, cumpliendo con información de los últimos 16 años.

También, en la base de datos Redalyc, después de realizar la búsqueda, se encontraron 1334 artículos que se encontraron con la palabra clave “pavimentos”, por ello sólo se seleccionaron 10 que están directamente relacionados. Y finalmente, en la base de datos Dialnet, se encontraron 82 artículos, en los que se seleccionaron 4 de ellos, que cumplieron el rango de tiempo; así como también, los que se relacionaron con el tema directamente, cumpliendo con información de diferentes países. Se considera una línea de tiempo con los años que se fueron subiendo los métodos para evaluar los daños de los documentos.

Y finalmente, en la base de datos Ebsco, se encontraron los artículos, de los cuales.

Base de datos	Nº artículos encontrados	Nº artículos excluidos	Nº de artículos seleccionados
Science direct	188	176	12
Scielo	49	42	7
Redalyc	1334	1324	10
Dialnet	82	78	4

Después de haber aplicado los filtros se trabajaron con 30 artículos originales para esta investigación. Para una mayor comprensión, se tiene una tabla del número

de artículos encontrados, descartados y seleccionados respectivamente:

**Tabla 1**

*Listado final de artículos seleccionados*

Autores	Título del artículo	País	Año	Base de datos
[12] T. C. Lizette, A. S. Marcela, D. P. Jean & H. Francisco	Evaluación de daños en pavimento flexible usando fotogrametría terrestre y redes neuronales.	Colombia	2021	Scielo
[13] M. M. Luis Fernando	Un sistema de gestión de pavimentos basado en nuevas tecnologías para países en vía de desarrollo	Colombia	2016	Science direct
[14] B. C. Gloria y R. O. Miguel	Evaluación de pavimentos y decisiones de conservación con base en sistemas de inferencia difusos	Colombia, México	2014	Science direct
[15] Mehrdad E, Pouria h, Pouria H, Fereidoon M.	Modelos de predicción optimizados para la falla por fallas del pavimento de concreto simple articulado utilizando los algoritmos de optimización metaheurística	USA, Canadá	2023	Science direct
[16] Zejiao D, Tongxu W, Xianyong M, Cheng C, Jianjun S.	Evaluación del desempeño estructural del pavimento asfáltico del aeropuerto basado en la medición de datos de campo y simulación de elementos finitos	China	2023	Science direct
[17] Chen L, li J, Chen D, QianZ.	Investigación sobre la falla de parcheo del pavimento detablero de puente de acero en la escala mesoscópica	China	2023	Science direct
[18] Runhua Z, Weiguang Z, Shihui S, Shenghua W, Yiming Z	Evaluación de las correlaciones entre las propiedades del material medidas en laboratorio con el comportamiento de agrietamiento en campo para pavimento asfáltico.	China	2021	Science direct
[19] Dongdong H, Guoqiang L, Yinfei X, Xu X, Yongli Z	Monitoreo en tiempo real de la deformación y el módulo del pavimento asfáltico utilizando un grupo de sensores de deformación integrados.	China	2023	Science direct
[20] Nima S, Amir G, Sahand R.	Técnicas de aprendizaje automático para la evaluación del estado del pavimento.	España	2022	Science direct
[21] Yuchuan D, Shan Z, Colmillo H, Nianni an W, Chenglong L, Difei W, yan s, Mang X	Modelado automático de detección de objetos de grietas en el pavimento y segmentación a nivel de píxeles.	España	2023	Science direct
[22] Lyhour Chhay un, Young Kyu Kimb, Seung Woo Lee	Evaluación de la temperatura de activación para el crecimiento del pavimento de concreto en base a datos de movimiento de juntas.	China	2021	Science direct
[23] Fangyu Liu, Jian Liu, Linbing Wang	Clasificación de la gravedad de las grietas por fatiga del pavimento asfáltico mediante termografía	España	2022	Science direct

infrarroja y aprendizaje profundo.

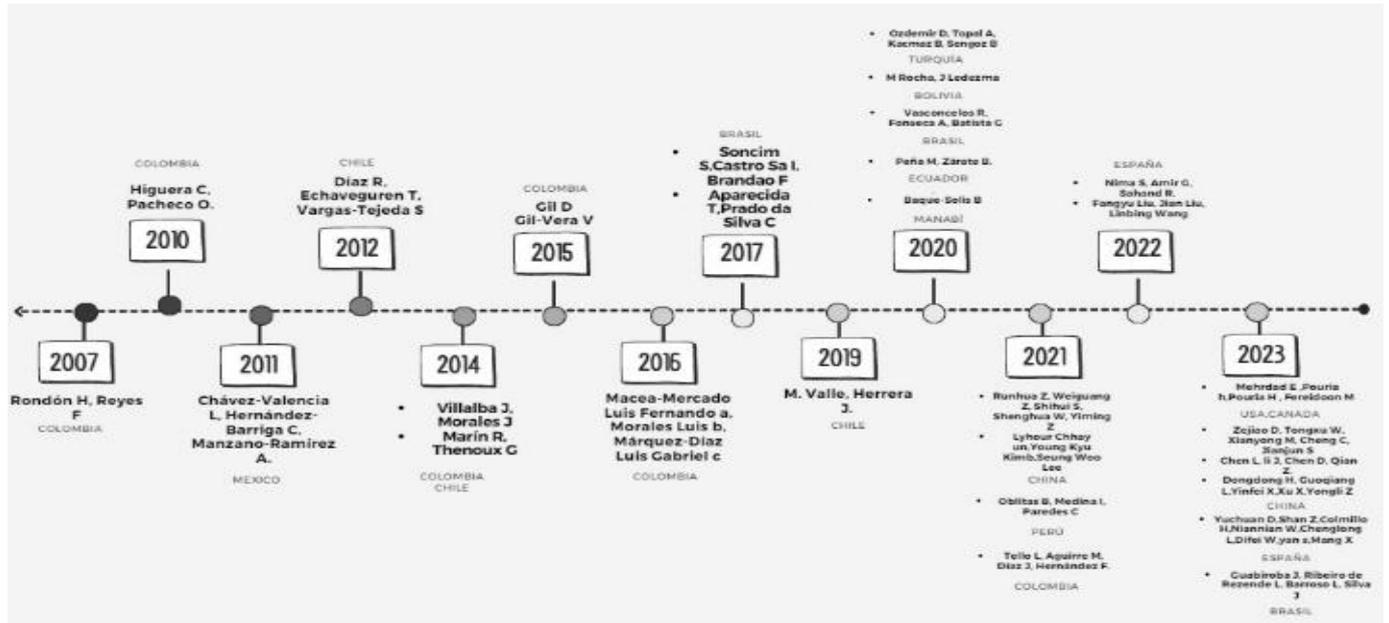
[24] M. Valle, Herrera J.	Uso De Datos Pasivos Obtenidos Mediante DispositivosInerciales Para Inferir La Condición Del Pavimento En Ciclovías.	Chile	2019	Scielo
[25] Guabiroba J, Ribeiro de Rezende L, Barroso L, Silva J	Estudio de Fatiga y Deformación Permanente de MezclasAsfálticas Producidas en Goiás.	Brasil	2023	Scielo
[26] Oblitas B, Medina I, Paredes C	Índice de regularidad internacional e índice de condición de pavimento para definir niveles de serviciabilidad de pavimentos.	Perú	2002	Scielo
[27] Tello L, Aguirre M, Díaz J, Hernández F.	Evaluación de daños en pavimento flexible usando fotogrametría terrestre y redes neuronales	Colombia	2021	Scielo
[28] Ozdemir D, Topal A, Kacmaz B, Sengoz B	Evaluación de las características superficiales del pavimento asfáltico mediante pruebas de campo.	Turquía	2020	Scielo
[29] Higuera C, Pacheco O.	Patología de pavimentos articulados	Colombia	2010	Scielo
[30] M Rocha, J Ledezma	Análisis de variabilidad temporal para la detección de daños en pavimentos flexibles mediante termografía infrarroja	Bolivia	2020	Redalyc
[31] Aparecida T, Prado da Silva	El efecto de los espectros de carga por eje del método AASHTO en el rendimiento del pavimento flexible	Brasil	2017	Redalyc
[32] Gil D	Sistema Experto para la Gestión de Daños en Vías Pavimentadas y en Afirmado	Colombia	2015	Redalyc
[33] Soncim S, Castro Sa I, Brandao F	Desarrollo de modelos difusos para el desempeño de pavimentos asfálticos	Brasil	2017	Redalyc
[34] Villalba J, Morales J	Evaluación del rendimiento de un algoritmo de evolución diferencial en la detección de daños estructurales variando la función objetivo	Colombia	2014	Redalyc
[35] Vasconcelos R, Fonseca A, Batista G	Mapeo de manifestaciones patológicas en pavimento asfáltico mediante el uso de drones	Brasil	2020	Redalyc
[36] Marín R, Thenoux G	Validación de la herramienta Polygon-Of-Voids para mezclas asfálticas con RAP	Chile	2014	Redalyc
[37] Díaz R, Echaveguren T, Vargas-Tejeda S	Camiones de alto tonelaje y su impacto en ciclo de vida de pavimentos asfálticos	Chile	2012	Redalyc
[38] Chávez-Valencia L, Hernández-Barriga C, Manzano-Ramírez A.	Modelación del envejecimiento de los pavimentos asfálticos con la metodología de la superficie de respuesta.	México	2011	Redalyc
[39] Peña M, Zárate B	Empleo de VANT para determinar fallas superficiales en pavimentos flexibles	Ecuador	2020	Dialnet
[40] Baque-Solis B	Assessment of the state of flexible pavement using the pci method of the portairport highway (Section II). Blanket. Manabi Province	Manabí	2020	Dialnet
[41] Gil-Vera V	Sistema Experto para la Gestión de Daños en Vías Pavimentadas y en Afirmado	Colombia	2015	Dialnet
[42] Rondón H, Reyes F	Metodologías de diseño de pavimentos flexibles: tendencias, alcances y limitaciones	Colombia	2007	Dialnet

En esta investigación, se incluyó investigaciones que involucren literaturas teóricas, seleccionando estudios de origen latinoamericano de revistas científicas, con las referencias que pasaron por los diferentes filtros se realizaron las matrices de recopilación de datos. En primer lugar, se realizó la

lectura de las referencias para la recopilación de datos, para luego sacar información relacionada a nuestro objetivo. Finalmente, se realizó la matriz de análisis de información de acuerdo a los objetivos específicos que se determinó al inicio y que son ideas relevantes.

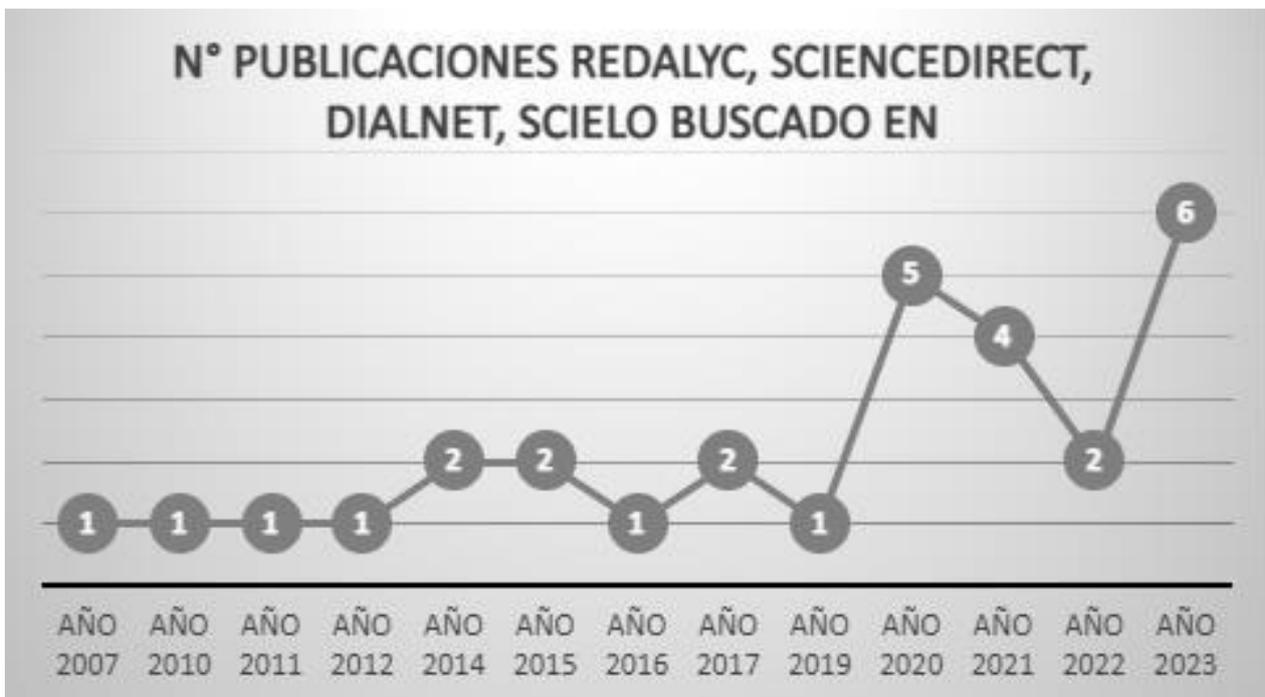
## GRÁFICO 1

Línea de tiempo de artículos científicos



## GRÁFICO 2

Número de publicaciones de artículos científicos por año



## RESULTADOS

En esta etapa, se presenta una tabla en donde hará correspondencia a nuestro objetivo planteado y mencionado anteriormente; es decir obtener las conclusiones de los principales estudios que relacionan a nuestro objetivo de realizar un análisis de

herramientas tecnológicas de evaluación de fallas existentes en superficies del pavimento flexible. Para ello, la tabla presenta una columna fija de 30 citas del listado de artículos que se tiene; así como también de la matriz de análisis de la información donde hacen mención o exista relación con el objetivo planteado. En las columnas irán los siguientes rubros: autor, muestra y cita.

**TABLA 2**

*Evaluaciones de fallas existentes en superficies de pavimentos.*

Autores	Evaluaciones de fallas existentes en superficies de pavimentos
L. Tello-Cifuentes, M. Aguirre-Sánchez, J. P. Díaz-Paz, y F. . Hernández	La fotogrametría terrestre en la evaluación de deterioros de vías en Colombia hace que este sea mucho más rápido para la toma de datos de los deterioros; ya que este consiste en: i. Captura y muestreo de imágenes, ii. Preprocesamiento y renderización de imágenes, iii. Segmentación mediante técnicas de detección de bordes, iv. extracción de características. El método se evalúa en imágenes reales de superficies de carreteras con tres tipos de degradación: grietas longitudinales, caimanos y baches. [12]
M. M. Luis Fernando	La implementación de un sistema tecnológico para la gestión de vías es con respecto al uso de un vehículo equipado con muchos elementos que permite la toma de datos y localización geográfica de daños en pavimentos con el fin de poder justificar la toma de decisiones en torno a políticas de inversión en infraestructura vial, mejorando la eficiencia de los procesos de inspección e inventariado de daños en los pavimentos. [13]
B. C. Gloria & R. O. Miguel	Para una revisión del estado de deterioro de pavimentos se basan en la lógica difusa, condición de rigidez y deterioro para lograr integrar directamente en la caracterización estructural de los pavimentos para describir los niveles de severidad del deterioro facilitando su interpretación y comprensión. Las decisiones de mantenimiento y la vida útil restante de un camino dependen en gran medida de la condición estructural que exhibe durante su vida útil. Con el objetivo de proporcionar una metodología que haga posible. [14]
Mehrdad E ,Pouria h,Pouria H , Fereidoon M.	En este estudio, se construyeron varios modelos de predicción de fallas para fallas de pavimento de concreto articulado simple (JPCP) utilizando el método de red neuronal artificial (ANN). Primero, estos datos de error se extrajeron del rendimiento del pavimento a largo plazo (LTPP), luego se realizó la selección de características utilizando técnicas de optimización metaheurística multiobjetivo (PESA II, SPEA II, MOEA/D y MPSO). El método MOEA/D seleccionó 17 variables de entrada con un impacto significativo en la falla del pavimento y mostró el mejor desempeño. [15]
Zejiang D, Tongxu W, Xianyong M, Cheng C, Jianjun S.	Para mejorar la durabilidad de los pavimentos de asfalto del aeropuerto, este estudio utilizó FEM y procesamiento de datos de campo para investigar el desempeño en servicio de las capas de pavimento estructural. A diferencia de estudios anteriores, se obtuvo una gran cantidad de datos basados en el sistema de monitoreo en línea de BCIA y el procesamiento de datos de campo verificó la viabilidad de FEM. [16]
Chen L, li J, Chen D, Qian Z	La elección del material del parche para baches es un factor importante para determinar la eficacia y la durabilidad del parche para baches. Con el fin de investigar el mecanismo mecánico y los efectos del material del agrietamiento secundario de los materiales después de la reparación del bache, este estudio realizó pruebas de 3-PB en vigas compuestas y creó un modelo de viga mesoscópica 2D para simulaciones numéricas. y fuerza. Analizar el desarrollo de grietas. [17]
Runhua Z, Weiguang Z,Shihui S, Shenghua W, Yiming Z	El objetivo principal de este estudio es comparar las propiedades medidas en laboratorio de varios ligantes/mezclas con el comportamiento real de agrietamiento del pavimento (incluyendo agrietamiento por fatiga y agrietamiento térmico) y los parámetros estructurales del pavimento, considerando el diseño de la mezcla y los parámetros estructurales del pavimento. La relación entre. Esta investigación se basa en el Proyecto NCHRP 09-49A. Se utilizaron HMA de control en 23 sitios del proyecto para recopilar datos de rendimiento del pavimento del sitio, información de diseño de mezcla y textura. [18]
Dongdong H, Guoqiang L, Yinfei X,Xu X,Yongli Z	En este estudio, se realizaron pruebas de flexión de cuatro puntos para demostrar la compatibilidad de deformación probablemente deficiente entre los sensores de deformación individuales instalados en mezclas de asfalto a diferentes temperaturas. Se propone un método para monitorear la deflexión y el módulo elástico de los pavimentos de asfalto en tiempo real utilizando una serie de sensores de deflexión integrados. La factibilidad de este método de monitoreo fue confirmada por pruebas de tracción uniaxial y su aplicación a sistemas viales elásticos y viscoelásticos fue discutida más a fondo. [19]

- Nima S, Amir G, Sahand R. Con la creciente necesidad de mantenimiento de carreteras, los sistemas de gestión de carreteras han recibido mucha atención en las últimas décadas. El núcleo de estos sistemas es la recopilación y el análisis de datos. Los métodos manuales de recopilación de datos consumen mucho tiempo, son costosos, propensos a errores y peligrosos. Este documento comienza con una descripción general de las técnicas automatizadas y semi automatizadas para recopilar datos sobre el estado de las carreteras, en términos de los tipos y métricas de los datos sobre las condiciones de las carreteras que se deben recopilar. Luego se realizó una revisión exhaustiva del uso. [20]
- Yuchuan D, Shan Z, Colmillo H, Niannian W, Chenglong L, Difei W, Yan S, Mang X. En este artículo se propuso un modelo ligero para la detección de grietas en pavimentos que realiza simultáneamente dos tareas: detección de objetos de grietas y segmentación semántica. El módulo Mecanismos de atención se ha integrado en el FPN tradicional para mejorar la capacidad del modelo para filtrar información importante que describe grietas. Finalmente, se desarrolló un modelo de red DAE para eliminar el ruido de fondo que podría detectarse falsamente como grietas en la máscara. [21]
- Lyhour Chhay un, Young Kyu Kimb, Seung Woo Lee. TTPG es la temperatura a la que todas las articulaciones contráctiles están completamente cerradas. Este es un parámetro importante para estimar el grado de crecimiento de la escala requerido para mantener el ancho de la junta de expansión y las proyecciones de detonación. Por lo tanto, es necesario determinar el TTPG para analizar el modelo analítico para el análisis de explosión y el modelo de mecanismo. Sin embargo, la invasión de IP está agrupada, lo que dificulta la predicción de TTPG a través de modelos mecánicos o de simulación. [22]
- Fangyu Liu, Jian Liu, Linbing Wang. En los últimos años, ha habido un aumento explosivo en el volumen de tráfico en todo el mundo. Esto plantea grandes desafíos para las condiciones de la carretera y enfatiza la importancia de la inspección, evaluación y mantenimiento regulares de la superficie de la carretera. Las grietas son una de las métricas más importantes. Con el aumento en el volumen de tráfico, la atención aumenta a las grietas de fatiga y las grietas de cocodrilo entre las grietas. Esto se debe a que las grietas por fatiga son una serie de grietas interconectadas causadas por la falla de una superficie de concreto asfáltico debido a la carga del tráfico cíclico. [23]
- M. Valle, Herrera J. El método propuesto puede detectar de manera objetiva y específica los desniveles en la superficie de la carretera de un carril bici. Al identificar los puntos donde es probable que ocurran baches en el carril bici, podemos sacar conclusiones sobre las condiciones del camino para esta sección. La regresión logística no tuvo problemas para construir un modelo utilizando las características de la muestra y la variable dependiente. A pesar de la naturaleza controlada del experimento, la metodología desarrollada se puede ajustar fácilmente y aplicar a gran escala, es decir, en la vida real. [24]
- Guabiroba J, Ribeiro de Rezende L, Barroso L, Silva J. Tradicionalmente, los proyectos de diseño de pavimentos en Brasil han sido empíricos, sin considerar el comportamiento mecánico de capas o pavimentos completos. Por lo tanto, para optimizar los costos, la vida útil del diseño del pavimento y los estándares de seguridad, es mejor realizar pruebas mecánicas que realmente simulan los requisitos del sitio y tengan en cuenta las dimensiones mecánicas y empíricas. [25]
- Oblitas B, Medina I, Paredes C. Este estudio revisó sistemáticamente la literatura sobre métodos de evaluación de pavimentos flexibles, IRI (Índice Internacional de Rugosidad) y PCI (Índice de Condición del Pavimento), para determinar el nivel de practicidad del pavimento flexible en los últimos 15 años. Usando una matriz de análisis de información, solo cubrimos 20 categorías temáticas para las cuales se propusieron hallazgos de investigación. Además este proceso nos permitió identificar los principales resultados y compararlos con las perspectivas de autores diferentes o similares para sacar conclusiones. [26]
- Tello L, Aguirre M, Díaz J, Hernández F. La evaluación del deterioro de las carreteras en Colombia se realiza mediante controles manuales de inventario e inspecciones visuales. Los métodos de evaluación del estado de las vías utilizados por el INVIAS (Instituto Nacional de Carreteras) son VIZIR (Visión Inspección de Zonas e Itinerarios a Riesgo) y PCI (Índice de Estado del Pavimento). Sin embargo, pueden ser tediosos, subjetivos y requieren la experiencia del evaluador, lo que indica la necesidad de desarrollar métodos para evaluar las condiciones de los caminos. Este artículo presenta una metodología para evaluar la degradación de pavimentos flexibles utilizando técnicas de fotogrametría de suelo y redes neuronales, y consta de seis fases: adquisición de imágenes, ii. Clasificación mediante redes neuronales y vi. Evaluación de áreas afectadas por la degradación. [27]
- Ozdemir D, Topal A, Kaçmaz B, Sengoz B. El diseño de carreteras no solo es importante desde la perspectiva de los costos de construcción, sino que también juega un papel importante en la seguridad del usuario. El tráfico denso y el mal tiempo afectan negativamente a las propiedades estructurales de la superficie de la carretera, lo que provoca situaciones de conducción peligrosas. En las últimas dos décadas, una mayor conciencia ha llevado a los usuarios de las carreteras a esperar que sus carreteras sean seguras y respetuosas con el medio ambiente. [28]
- Higuera C, Pacheco O. Este artículo presenta los resultados de un trabajo sobre la patología de los pavimentos articulados escrito con el objetivo de captar el deterioro típico de los adoquines articulados construidos con pavimento de hormigón o ladrillo. De esta forma creamos un catálogo de degradación para este tipo de estructuras,

facilitando la identificación y cuantificación de la degradación durante la inspección visual.[29]

M Rocha, J Ledezma .

Este artículo describe los intervalos de tiempo para optimizar e interpretar los resultados de la termografía infrarroja en la detección de daños en pavimentos flexibles. Continuando 14 horas (de 5am a 7pm) escolta pararealizar 4 áreas de investigación en la vía principal de la ciudad de Cochabamba, Bolivia. En el archivo adjunto se muestran los intervalos de tiempo ideales para la toma de imágenes termográficas desde las 11:00 am hasta las 4:00 pm. La visualización de la degradación también se verificó mediante análisis colorimétrico diferencial de termogramas en diferentes momentos. [30]

Aparecida T,Prado da Silva C

En la actualidad, el diseño de pavimentos utiliza métodos empíricos basados en experimentos realizados en la década de 1960. Debido a la gran cantidad de variables que pueden influir en el análisis empírico, el Programa Nacional Cooperativo de Investigación de Carreteras (NCHRP) propone un enfoque empírico mecanicista. Sobre la base de este método, se desarrolló el software MEPDG (Guía de diseño empírico-mecanicista de pavimentos), seguido del diseño mejorado AASHTO Ware Pavement ME. Para ambas versiones de software, se desarrollaron valores estándar basados en datos de tráfico de EE. UU. [31]

Gil D

Conocer los diferentes tipos de fallas que pueden ocurrir en las vías pavimentadas o no pavimentadas y las medidas que se pueden tomar para repararlas es una tarea muy importante para el personal de mantenimiento vial. El propósito de este artículo es presentar el Sistema Experto ROAD destinado a ayudar a administrar y prevenir daños que pueden ocurrir bajo condiciones físicas en la red vial nacional. Este trabajo se divide en tres partes. El primero presenta un marco teórico con terminología básica contextualizada de sistemas expertos y fundamentos de búsqueda sistemática de literatura (RSL), el segundo presenta una metodología para construir sistemas expertos y el tercero presenta el sistema ROAD Experts. Una vez finalizado este trabajo, se concluyó que un sistema experto (SE) facilita el mantenimiento de las carreteras y reduciría los altos costos de una consultora especializada. [32]

Soncim S,Castro Sa I,  
Brandao F

El objetivo de este trabajo fue desarrollar modelos difusos para la presentación de pavimentos asfálticos. La lógica difusa puede transformar variables lingüísticas o cualitativas en valores cuantitativos. Esta característica permite a los expertos ganar experiencia en base a su conocimiento de los factores que influyen en el comportamiento del pavimento y su estado de conservación. Formularios desarrollados de manera organizada utilizados para obtener el conocimiento de los expertos en construcción y mantenimiento de pavimentos. Se combinaron las variables edad del pavimento, tráfico, Índice Internacional de Irregularidad (IRI) e Índice de Condición del Pavimento Flexible (FPCI) con escalas numéricas y conceptos lingüísticos como nuevo, viejo, liviano, pesado, bueno, regular y malo. Las variables se modelaron utilizando el software InFuzzy con base en la información obtenida de los formularios de solicitud y se desarrollaron modelos difusos para IRI y FPCI. Se utilizó una línea recta de los datos predichos con los datos observados para validar el modelo. También se determinó el coeficiente de correlación (r) correspondiente y se realizó un análisis residual. Los modelos desarrollados presentaron la corrección de los datos observados y el coeficiente de correlación  $r = 0,71$  y  $0,70$ . [33]

Villalba J, Morales J

La detección de daños estructurales es actualmente un tema de investigación importante en muchos campos de la ingeniería. Algunos métodos de detección de defectos descritos en la literatura formulan el problema de optimización en términos de una función objetivo basada en la respuesta dinámica de la estructura y metaheurísticas para resolver este problema. En este estudio, la localización y cuantificación de defectos se realizan utilizando un algoritmo de evolución diferencial con parámetros adaptativos. El rendimiento del método propuesto se evalúa utilizando varias funciones objetivas basadas en frecuencias naturales, formas modales, elasticidad modal, energía de deformación modal y vectores de fuerza residual. Se simulan escenarios de daño único y múltiple para estructuras blindadas para determinar el rendimiento del método propuesto. Los resultados muestran que el algoritmo utilizado puede determinar de manera confiable los escenarios de varias funciones objetivo utilizadas en la búsqueda. Sin embargo, no se han obtenido buenos resultados utilizando funciones basadas en frecuencias naturales y energía de tensión modal. [34]

Vasconcelos R, Fonseca A,  
Batista G

El objetivo de este trabajo es investigar la usabilidad de los drones para mapear e investigar las manifestaciones patológicas de los pavimentos asfálticos en comparación con el método tradicional. Se establecieron áreas de muestreo cada 20 metros, con una extensión de 6 m, es decir, un total de 20 estaciones cuyas manifestaciones patológicas fueron registradas y calculadas utilizando el índice de severidad global del área de estudio. Los resultados obtenidos a través de los métodos de referencia y alternativos se compararon de acuerdo con las patologías identificadas y el tiempo dedicado a las investigaciones. Los resultados mostraron, con base en el DNIT 006/2003 - PRO, el uso de drones en el control de enfermedades de

pavimentos asfálticos, obteniendo

resultados similares al método tradicional, reduciendo significativamente el tiempo de trabajo (33,3%).[35]

Marín R, Thenoux G

En general, el proceso de diseño de mezclas asfálticas consiste inicialmente en un diseño volumétrico seguido de pruebas mecánicas o empíricas para verificar el diseño. Calidad del asfalto. La mezcla puede variar debido a muchos factores, como el contenido de aglomerante asfáltico y la variación del tamaño de las partículas, que normalmente ocurren durante el corte, y las variaciones de temperatura y energía de compactación que pueden ocurrir en el campo durante la compactación, por ejemplo, el sitio puede tener diferentes parámetros volumétricos y mecánicos. . parámetros propiedades que en el diseño (Garnica et al, 2005). Es deseable que la mezcla hecha en fábrica tenga características uniformes y características similares al diseño del laboratorio de mezclado para la selección de materiales (árido, ligante asfáltico, agregado mineral, aditivos), granulometría, contenido óptimo de ligante asfáltico, temperatura y volumen de mezcla y compactación. propiedades de la mezcla, para cumplir con los requisitos seleccionados para un proyecto específico [36]

Díaz R, Echaveguren T, Vargas-Tejeda S

Este artículo analiza específicamente el impacto sobre el pavimento asfáltico. Utilice un enfoque de mecanismo empírico para comparar los efectos de por vida de CAT y la configuración de velocidad. La evaluación tuvo en cuenta las diferentes estructuras de pavimento, las condiciones climáticas y los niveles de tráfico de los solicitantes representados en el territorio Bio-Bio. La evaluación empírica mecánica se realizó utilizando el método de diseño de pavimento mecánico francés Alize-LCPC y el modelo de degradación desarrollado por el Asphalt Institute. Con el fin de comparar diferentes métodos de evaluación y modelos de degradación, se realizó una evaluación del ciclo de vida de acuerdo con el método de extracción introducido en las pautas de diseño del MEPDG de EE. UU. [37]

Chávez-Valencia L, Hernández-Barriga C, Manzano-Ramírez A.

En este estudio, el envejecimiento de los pavimentos de asfalto se modela utilizando el método de superficie de respuesta (MSR). Considerando las condiciones ambientales de la zona geográfica donde se construyó el pavimento asfáltico, se prepararon muestras cilíndricas tipo Marshall y se colocaron en el horno bajo ciertas condiciones de tiempo y temperatura, Ing. Refinería Antonio M. Amor AC-20 Este modelo, codificado en MSR, también predice la estabilidad Marshall ( $\Delta L$ ) y el flujo ( $\Delta F$ ) a medida que cambia la volatilización del material (VM). Además, se tomó una muestra cilíndrica de la capa piloto de asfalto para determinar el error de modelado y se encontró que los volátiles predichos por el modelo VM estaban muy cerca de la situación real, pero probablemente no en los modelos  $\Delta L$  y  $\Delta F$ . debido a factores ambientales. Esto no se tuvo en cuenta al inicio del estudio.[38]

Peña M, Zárate B

El propósito de este estudio es utilizar un UAV para evaluar el daño superficial en un pavimento flexible en un alonjitud de aproximadamente 500 m demostrar la capacidad de capturar imágenes. La investigación es del tipo técnica aplicada y el método utilizado es cuantitativo. Este enfoque se enfoca en tres pasos: primero planificar el área de investigación, luego recolectar y procesar datos y finalmente analizar los resultados. La muestra de prueba fue aleatoria con 13 agujeros y grietas diferentes en el pavimento. Los datos se obtienen tomando fotografías cada 2 segundos a una altura de 40 metros. El procesamiento se realizó utilizando un software de fotogrametría basado en el algoritmo SfM. Como resultado, se puede observar que la diferencia entre la medida visual y la medida GIS oscila entre 0,17 y 5 cm. La desviación estándar de la muestra es de 2,32 cm. demostró la capacidad de las imágenes de drones para detectar varios defectos superficiales. El sistema mide la geometría de las carreteras y los baches con detalle y precisión, mejorando así la eficiencia del control del estado de las carreteras. [39]

Baque-Solis B

El propósito de este estudio fue diagnosticar el estado del pavimento elástico de la carretera Puerto Aeropuerto (Parte II) en Manta, provincia de Manab. La técnica de recolección de datos implicó la observación para identificar y seleccionar la parte a estudiar. El formato de registro de defectos se utiliza como medio para implementar el método PCI. Se clasifica como Normal según el índice PCI. Mediante este método se determinó que las 26 unidades de muestra analizadas presentan 12 tipos de defectos en orden de frecuencia: separación de agregados 78.28%, piel de cocodrilo 4.51%, agregados pulidos 4.11%, grietas en bloque 3.96%, longitudinales y fisuras transversales 3,24%, manchas 2,27%, fisuras de borde 1,35%, subida y bajada 0,84%, foso 0,65%, depresión 0,40%, ondulación 0,36%, hinchamiento 0,03% La conclusión es que: se debe mantener el tipo lateral y el tipo principal en el camino, este último se realiza en todo el tramo, asumiendo que antes se han hecho tipos de trabajo menores, porque todos los defectos se ubican en el camino de investigación, no son sólo un defecto que tiene un porcentaje importante del total. Palabras clave: Pavimento flexible; método PCI; camino decisión judicial. [40]

Gil-Vera

Comprender los diferentes impactos que se producen en las vías pavimentadas o no pavimentadas y cómo prevenirlos es una tarea muy importante para los responsables del mantenimiento vial. El objetivo de este trabajo es presentar un sistema experto ROAD diseñado para apoyar la gestión y prevención de posibles daños en las condiciones físicas de la red vial nacional. El trabajo se divide en tres partes: la primera parte presenta el marco teórico, que describe los conceptos básicos de los sistemas expertos y la base de la revisión sistemática de la literatura (RSL), la segunda parte presenta los métodos utilizados para construir sistemas expertos, y la tercera parte introduce los conceptos básicos de los sistemas expertos y la base de la revisión sistemática de la literatura (RSL). Sistema Experto ROAD Sistema Experto. Luego de realizar

este trabajo se concluyó que los sistemas expertos (SE) pueden ayudar en la gestión y mantenimiento vial y reducir los altos costos de consultores profesionales. [41]

Rondón H, Reyes F

El artículo describe los métodos de análisis y diseño de estructuras de pavimentos flexibles en el mundo, las tendencias modernas y el desarrollo de herramientas informáticas en el diseño de pavimentos. Se discuten el alcance y las limitaciones de estas técnicas y tendencias, centrándose en el comportamiento y la degradación de los materiales granulares subyacentes. Además, hay una discusión crítica sobre cómo el método de diseño de

Columbia evalúa el fenómeno de deformación permanente de las estructuras de pavimento flexible. [42]

## CONCLUSIONES

En conclusión, la fotogrametría terrestre y redes neuronales es la mejor opción tecnológica de la evaluación de fallas en la condición superficial de pavimentos flexibles; ya que, contribuye en la reducción de tiempo y costo, siendo el más eficiente de las demás herramientas tecnológicas; empleando procesadores para la adquisición de datos, detección y calificación de fallas, en el que se expresa resultados y decisiones a nivel global y detallado en pavimentos flexibles.

Dicho esto, son de gran ayuda para un buen análisis y optimización de detección de fallas a través de sistemas automáticos.

Esta herramienta tecnológica para la evaluación de fallas superficiales en pavimentos flexibles, realiza una evaluación cuantitativa de distintos deterioros como: baches, piel de cocodrilo y grietas longitudinales; gracias a las redes neuronales que ayudan a su respectiva clasificación; así como también la fotogrametría terrestre que captura fallas superficiales de manera automática, en la que se puede implementar sistemas de iluminación, con el fin de disminuir efecto de sombras en las imágenes capturadas; también aporta brindando ubicación espacial de los deterioros encontrados con información georeferenciada, optimizando de esta forma el tiempo de evaluación, alcanzando tasas de precisión alta.

Finalmente, es recomendable hacer uso de esta herramienta tecnológica de fotogrametría terrestre con redes neuronales para la captura y procesamiento de fallas superficiales en pavimentos flexibles por su rápido procesamiento y bajo costo, siendo la herramienta más completa para procesamiento y clasificación de fallas con ubicación georeferenciada.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Fernando-Branco, Luís-Picado, Paulo-Pereira. Pavimentos Rodoviários [en línea]. Brasil: Edições Almedina, 2011. ISBN: 9789724026480. [Consulta: 22 de abril de 2023]. <https://www.almedina.net/pavimentos-rodovirios-1563797318.html>
- [2] Manuel-Minhoto. Consideração da temperatura no comportamento à reflexão de fendas dos reforços de pavimentos rodoviários flexíveis. Tesis Doctoral. Instituto Politécnico de Braganca [online]. 2005. [fecha de Consulta 22 de Abril de 2023]. Disponible en: <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/6751>
- [3] Juan-Orozco, Rodolfo-Téllez, Ricardo-Solorio, n: <https://www.uc.pt/bguc/LigacoesUteis/Teses>
- [4] M. Á. Morillo Romero, Digitalización 3D con escáner de luz estructurada aplicada al área de la gestión de calidad y la conservación del patrimonio histórico artístico, tesis de grado, Departamento de Física Aplicada de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Universidad de Sevilla, Sevilla, 2015.
- [5] H. Xing-Fei y O. Nixon, "Time Delay Integration Speeds Up Imaging", Jour. Phot. Spect., vol. 46, n.º 5, p. 50, may. 2012.
- [6] Y. Pan, X. Zhang, G. Cervone y L. Yang, "Detection of asphalt pavement potholes and cracks based on the unmanned aerial vehicle multispectral imagery", IEEE Jour. of Select. Top. in Appl. Earth Observ. and Remote Sens., vol. 11, n.º 10, pp. 3701-3712, 2018. doi: <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2018.2865528>
- [7] S. Mokhtari, Analytical Study of Computer Vision-Based Pavement Crack Quantification Using Machine Learning Techniques, tesis Ph. D., Departamento de ingeniería civil, ambiental y de construcción, College of Engineering and Computer Science, University of Central Florida, Orlando, Florida, 2015.

- [8] Y. Turkan, J. Hong, S. Laflamme y N. Puri, "Adaptive wavelet neural network for terrestrial laser scanner-based crack detection", *Automat. in Const.*, vol. 94, pp. 191-202, 2018. doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.06.017>
- [9] N.-D. Hoang, "An artificial intelligence method for asphalt pavement pothole detection using least squares support vector machine and detection", *Adv. in Civ. Eng.*, vol. 2018, pp. 1-12, 2018. doi: <https://doi.org/10.1155/2018/7419058>
- [10] F. M. Nejad y H. Zakeri, "An optimum feature extraction method based on Wavelet-Radon transform and dynamic neural network for pavement distress classification", *Expert Syst. with Applic.*, vol. 38, n.º 8, pp. 9442-9460, 2011. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.01.089>
- [11] N. Shatnawi, "Automatic pavement cracks detection using image processing techniques and neural network", *Internat. Jour. of Adv. Comp. Sci. and Applic.*, vol. 9, n.º 9, pp. 399-402, 2018. doi: <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2018.0909508015>
- [12] L. Tello-Cifuentes, M. Aguirre-Sánchez, J. P. Díaz-Paz, y F. Hernández, «Evaluación de daños en pavimento flexible usando fotogrametría terrestre y redes neuronales», *TecnoL.*, vol. 24, n.º 50, p. e1686, ene. 2021.
- [13] Macea F, Morales L, Márquez G. Un sistema de gestión de pavimentos basado en nuevas tecnologías para países en vía de desarrollo [en línea]. Colombia: Ingeniería Investigación y Tecnología, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.riit.2016.06.007>. [Consulta: 11 de Mayo de 2023]
- [14] Beltrán-Calvo, G.I., Romo-Organista, M.P., (2014). Evaluación de pavimentos y decisiones de conservación con base en sistemas de inferencia difusos. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 15 (03), 391-402. [https://doi.org/10.1016/S1405-7743\(14\)70349-X](https://doi.org/10.1016/S1405-7743(14)70349-X)
- [15] Mehrdad E, Pouria h, Pouria H, Fereidoon M. Modelos de predicción optimizados para la falla por fallas del pavimento de concreto simple articulado utilizando los algoritmos de optimización metaheurística [en Línea]. USA: *Construction and Building Materials*, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129948>. [Consulta: 11 de Mayo de 2023]
- [16] Zejiao D, Tongxu W, Xianyong M, Cheng C, Jianjun S. Evaluación del desempeño estructural del pavimento asfáltico del aeropuerto basado en la medición de datos de campo y simulación de elementos finitos [En línea]. China: *Casos de Estudio en Materiales de Construcción*, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2023.112553>. [Consulta: 11 de Mayo de 2023]
- [17] Chen L, li J, Chen D, Qian Z. Investigación sobre la falla de parcheo del pavimento de tablero de puente de acero en la escala mesoscópica. [en línea]. China: *Materiales de Construcción*, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130851>. [Consulta: 11 de Mayo de 2023]
- [18] Runhua Z, Weiguang Z, Shihui S, Shenghua W, Yiming Z. Evaluación de las correlaciones entre las propiedades del material medidas en laboratorio con el comportamiento de agrietamiento en campo para pavimento asfáltico. [en línea]. China: *Casos de Estudio en Materiales de Construcción*, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124126>. [Consulta: 11 de Mayo de 2023]
- [19] Dongdong H, Guoqiang L, Yinfei X, Xu X, Yongli Z. Monitoreo en tiempo real de la deformación y el módulo del pavimento asfáltico utilizando un grupo de sensores de deformación integrados. [en línea]. China: *Casos de Estudio en Materiales de Construcción*, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131413>. [Consulta: 11 de Mayo de 2023].
- [20] Nima S, Amir G, Sahand R. Técnicas de aprendizaje automático para la evaluación del estado del pavimento. [en línea]. España: *Automation in Construction*, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104190>. [Consulta: 11 de Mayo de 2023].
- [21] Yuchuan D, Shan Z, Colmillo H, Niannian W, Chenglong L, Difei W, yan s, Mang X. Modelado automático de detección de objetos de grietas en el pavimento y segmentación a nivel de píxeles. [en línea]. España: *Automation in Construction*, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104840>. [Consulta: 11 de Mayo de 2023].
- [22] Lyhour C, Young K, Seung L. Evaluación de la temperatura de activación para el crecimiento del pavimento de concreto en base a datos de movimiento de juntas. [en línea]. China: *Construcción y Materiales de Construcción*, 2021. DOI:

- <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121790>. [Consulta: 11 de Mayo de 2023].
- [23] Fangyu Liu, Jian Liu, Linbing Wang. Clasificación de la gravedad de las grietas por fatiga del pavimento asfáltico mediante termografía infrarroja y aprendizaje profundo. [en línea]. España: Automatización en la Construcción, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104575>. [Consulta: 11 de Mayo de 2023].
- [24] M. Valle, Herrera J. Uso De Datos Pasivos Obtenidos Mediante Dispositivos Inerciales Para Inferir La Condición Del Pavimento En Ciclovías. [en línea]. Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile. Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción, 2019. ISSN: 0718-5073. [Consulta: 11 de Mayo de 2023].
- [25] Guabiroba J, Ribeiro de Rezende L, Barroso L, Silva J. Estudio de Fatiga y Deformación Permanente de Mezclas Asfálticas Producidas en Goiás. [en línea]. Brasil: Laboratorio de Hidrógeno, Coppe - Universidad Federal de Rio de Janeiro, en cooperación con la Asociación Brasileña de Hidrógeno, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620230001.1332>. [Consulta: 11 de Mayo de 2023].
- [26] Oblitas B, Medina I, Paredes C. Índice de regularidad internacional e índice de condición de pavimento para definir niveles de serviciabilidad de pavimentos. [en línea]. Perú: ITECKNE ,2021. DOI: <https://doi.org/10.15332/iteckne.v18i2.2616>. [Consulta: 11 de Mayo de 2023].
- [27] Tello L, Aguirre M, Díaz J, Hernández F. Evaluación de daños en pavimento flexible usando fotogrametría terrestre y redes neuronales. [en línea]. Colombia: Colombia's National Road Institute ,2021. DOI: <https://doi.org/10.22430/22565337.1686>. [Consulta: 11 de Mayo de 2023]
- [28] Ozdemir D, Topal A, Kacmaz B, Sengoz B. Evaluación de las características superficiales del pavimento asfáltico mediante pruebas de campo. [en línea].Turquía: Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Dokuz Eylul , 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.7764/rdlc.19.3.474>. [Consulta: 11 de Mayo de 2023].
- [29] Higuera C, Pacheco O. Patología de pavimentos articulados. [en línea]. Colombia: Revista Ingenierías Universidad de Medellín , 2010. ISSN: 2248-4094 [Consulta: 11 de Mayo de 2023].
- [30] M Rocha, J Ledezma . Análisis de variabilidad temporal para la detección de daños en pavimentos flexibles mediante termografía infrarroja. [en línea]. Bolivia: Revista Alconpat, 2020. DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v10i3.468>. [Consulta: 12 de Mayo de 2023].
- [31] Aparecida T,Prado da Silva C, Barbosa H. El efecto de los espectros de carga por eje del método AASHTO en el rendimiento del pavimento flexible. [en línea]. Brasil: universidade estadual de maringa, 2017. DOI: <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v41i1.35117>. [Consulta: 12 de Mayo de 2023].
- [32] il D. Sistema Experto para la Gestión de Daños en Vías Pavimentadas y en Afirmado. [en línea]. Colombia: Universidad Católica Luisamigo, 2015. DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.1710>. [Consulta: 12 de Mayo de 2023].
- [33] Soncim S,Castro Sa I, Brandao F. Desarrollo de modelos difusos para el desempeño de pavimentos asfálticos. [em línea]. Brasil: universidade estadual de maringa, 2017. DOI: <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v41i1.35626>. [Consulta: 12 de Mayo de 2023]. }
- [34] Villalba J, Morales J. Evaluación del rendimiento de un algoritmo de evolución diferencial en la detección de daños estructurales variando la función objetivo.[ en línea].Colombia: Universidad Nacional de Colombia Medellín, 2014. ISSN: 0012-7353. [Consulta: 12 de Mayo de 2023].
- [35] Vasconcelos R, Fonseca A, Batista G. Mapeo de manifestaciones patológicas en pavimento asfáltico mediante el uso de drones. [en línea]. Brasil: Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2020. DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v11i1.521>. [Consulta: 12 de Mayo de 2023].
- [36] Marín R, Thenoux G. Validación de la herramienta Polygon-Of-Voids para mezclas asfálticas con RAP. [en línea]. Chile: Revista de la Construcción, 2014. ISSN: 0717-7925. [Consulta: 12 de Mayo de 2023].
- [37] Díaz R, Echaveguren T, Vargas-Tejeda S. Camiones de alto tonelaje y su impacto en ciclo

- de vida de pavimentos asfálticos. [en línea]. Chile. Revista de la Construcción, 2012. ISSN: 0717-7925. [Consulta: 12 de Mayo de 2023].
- [38] Chávez-Valencia L, Hernández-Barriga C, Manzano-Ramírez A. Modelación del envejecimiento de los pavimentos asfálticos con la metodología de la superficie de respuesta. [en línea]. México: Ingeniería. Investigación y Tecnología, 2011. ISSN: 1405-7743. [Consulta: 12 de Mayo de 2023].
- [39] Peña M, Zárate B. Empleo de VANT para determinar fallas superficiales en pavimentos flexibles. [en línea]. Ecuador: Avances Investigación e ingeniería, 2020. DOI: <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.2.6626>. [Consulta: 12 de Mayo de 2023].
- [40] Baque-Solis B. Assessment of the state of flexible pavement using the pci method of the portairport highway (Section II). Blanket. Manabi Province. [en línea]. Manabi: Revistas científicas Dominio de las Ciencias, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v6i2.1163v>. [Consulta: 12 de Mayo de 2023].
- [41] Gil-Vera V. Sistema Experto para la Gestión de Daños en Vías Pavimentadas y en Afirmado. [en línea]. Colombia: Fundación Universitaria Luis Amigó, 2015. ISSN: 2145-4086 . [Consulta: 12 de Mayo de 2023].
- [42] Rondón H, Reyes F. METODOLOGÍAS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES: TENDENCIAS, ALCANCES Y LIMITACIONES. [en línea]. Colombia: Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 2007. ISSN: 0124-8170. [Consulta: 12 de Mayo de 2023].
- [43] González H ,Ruiz P ,Guerrero D. PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS MEDIANTE EL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI). [en línea]. Cuba: Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción de Cuba, 2018. Link: <https://www.redalyc.org/journal/1813/181358738015/html/> [Consulta: 14 de Mayo de 2023].