

<https://doi.org/10.37815/rte.v37n2.1309>

Artículos originales

## Análisis del desgaste de pavimentos flexibles en caliente, por envejecimiento: Propuesta de una metodología para una inspección visual

### Analysis of the wear of hot flexible pavements due to aging: Proposal of a methodology for a visual inspection

Andrés Caillagua<sup>1</sup> <https://orcid.org/0009-0009-4013-3119>,  
Juan Sozoranga<sup>1</sup> <https://orcid.org/0009-0001-4038-9327>, Paul León<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6808-830X>,  
Mónica Delgado-Yáñez<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0003-4753-730X>

<sup>1</sup>Universidad Central Del Ecuador, Quito, Ecuador  
[andressDav2505@outlook.com](mailto:andressDav2505@outlook.com), [jjsozoranga1998@outlook.com](mailto:jjsozoranga1998@outlook.com),  
[pjleon@uce.edu.ec](mailto:pjleon@uce.edu.ec), [msdelgadoy@uce.edu.ec](mailto:msdelgadoy@uce.edu.ec)



Esta obra está bajo una licencia internacional  
Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0.

Enviado: 2025/04/12  
Aceptado: 2025/06/30  
Publicado: 2025/12/15

#### Resumen

El deterioro de los pavimentos flexibles constituye un proceso multifactorial, influenciado principalmente por el envejecimiento de la mezcla asfáltica y su exposición prolongada a condiciones climáticas adversas como amplitudes térmicas diarias de hasta 20 °C, radiación solar, precipitación intensa, etc. Estas variables aceleran la pérdida de las propiedades mecánicas y reológicas del ligante asfáltico, lo que compromete progresivamente el comportamiento estructural y funcional del pavimento a lo largo de su vida útil.

El presente estudio tiene como objetivo desarrollar una metodología sistemática de inspección visual cualitativa, orientada a la evaluación del estado superficial de pavimentos flexibles, con un enfoque particular en los efectos del envejecimiento del material. Esta metodología busca establecer una herramienta técnica que facilite la identificación oportuna y precisa de patologías superficiales, permitiendo su clasificación según el tipo y nivel de severidad, y sirviendo como insumo para la toma de decisiones en programas de conservación vial. Además, se fundamenta en la inspección visual directa de tramos de pavimento con distintos grados de envejecimiento, documentando los tipos de deterioro observables —como fisuración, desprendimiento, exudación, deformaciones plásticas, entre otros— y evaluando cada

**Sumario:** Introducción, Marco teórico, Metodología, Resultados y Discusión, Conclusiones.

**Como citar:** Caillagua, A., Sozoranga, J., León, P. & Delgado-Yáñez, M. (2025). Análisis del desgaste de pavimentos flexibles en caliente, por envejecimiento: Propuesta de una metodología para una inspección visual. *Revista Tecnológica - Espol*, 37(2), 100-112.  
<https://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/1309>

manifestación en función de su tipología (según normas como ASTM D6433 o el PCI - Pavement Condition Index) y su severidad (baja, media, alta).

Los hallazgos de este estudio plantean que la inspección visual constituye una herramienta eficaz para la detección temprana de fallas en pavimentos flexibles. Su implementación permite optimizar los recursos destinados al mantenimiento de la infraestructura vial, promoviendo estrategias de intervención más eficientes y costo-efectivas.

**Palabras clave:** Pavimento flexible, degradación, hormigón asfáltico, mezcla asfáltica.

### Abstract

The deterioration of flexible pavements is a multifactorial process, mainly influenced by the aging of the asphalt mixture and its prolonged exposure to adverse weather conditions such as daily temperature ranges of up to 20°C, solar radiation, heavy rainfall, etc. These variables accelerate the loss of the mechanical and rheological properties of the asphalt binder, which progressively compromises the structural and functional performance of the pavement throughout its service life.

The objective of this study is to develop a systematic qualitative visual inspection methodology for assessing the surface condition of flexible pavements, with a particular focus on the effects of aging of the material. This methodology seeks to establish a technical tool that facilitates the timely and accurate identification of surface pathologies, allowing their classification according to type and level of severity, and serving as input for decision-making in road maintenance programs.

Its methodology is based on the direct visual inspection of pavement sections with different degrees of aging, documenting the types of observable deterioration—such as cracking, raveling, bleeding, plastic deformation, among others—and evaluating each manifestation according to its type (according to standards such as ASTM D6433 or the PCI - Pavement Condition Index) and its severity (low, medium, high).

The findings of this study suggest that visual inspection is an effective tool for the early detection of failures in flexible pavements. Its implementation allows for the optimization of resources allocated to road infrastructure maintenance, promoting more efficient and cost-effective intervention strategies.

**Keywords:** Flexible pavement, Degradation, asphalt concrete, asphalt mix, asphalt mixture.

### Introducción

El deterioro del asfalto es uno de los problemas más comunes en infraestructuras viales (Llopis et al., 2020). Las causas de este inconveniente son varias, pero principalmente pueden deberse al clima, el tráfico vehicular, los materiales utilizados en su construcción y un mantenimiento ineficiente o nulo.

Según el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MOP-001-F 2002), en Ecuador se presenta una creciente problemática a raíz de la falta de mantenimiento e inversión vial, dando como resultado infraestructura con gran cantidad de fallas en la carpeta asfáltica; además, el crecimiento del parque automotor y la falta de mantenimiento de las vías han generado que estas infraestructuras se hayan deteriorado, a tal punto de necesitar una reconstrucción del paquete estructural (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2024).

Con el propósito de realizar un análisis preliminar del desgaste de la carpeta de rodadura se presenta el envejecimiento de mezclas asfálticas, procedimiento establecido como un método de prueba que simula el paso del tiempo en una carpeta de hormigón asfáltico

(AASHTO, n.d.). Cabe recalcar que este método de prueba es aplicable para muestras de hormigón asfáltico en caliente (HMA), por lo que el análisis visual únicamente se centrará en este tipo de pavimento, coincidiendo que es el más utilizado en la construcción de la red vial a nivel nacional.

### Deterioros en pavimentos flexibles

Los deterioros en pavimentos de hormigón asfáltico se deben principalmente al alto flujo vehicular y a la falta de estrategias de mantenimiento vial. La fatiga estructural provocada por el tránsito de vehículos pesados genera un desgaste significativamente mayor en comparación con el transporte liviano (Cárdenas, 2018).

El proceso de inspección en pavimentos implica observar detalladamente su superficie para detectar daños visibles como fisuras, huecos, hundimientos, y otras irregularidades. Los daños se clasifican en diferentes niveles de severidad (leve, moderado, severo) para establecer la prioridad de las acciones de mantenimiento (Rondón, 2021).

Para la evaluación del nivel de servicio de una carpeta de rodadura de hormigón asfáltico, se emplea el Índice de Condición del Pavimento (PCI, por sus siglas en inglés). Este índice se determina en función de la presencia y severidad de 19 tipos de fallas estructurales y funcionales, permitiendo clasificar el estado de la vía de acuerdo con los valores obtenidos (ASTM, n.d.; Carbajal, 2019; Llopis et al., 2020). La interpretación del PCI se realiza con base en rangos establecidos, tal como se detalla en la Tabla 1, aquí se muestra la categorización del estado de la superficie. Un valor inferior en el rango de 0 a 10 indica un estado crítico de falla, mientras que un valor superior, entre 86 y 100, corresponde a una superficie en condiciones óptimas o excelentes.

**Tabla 1**  
*Rangos de Clasificación del PCI*

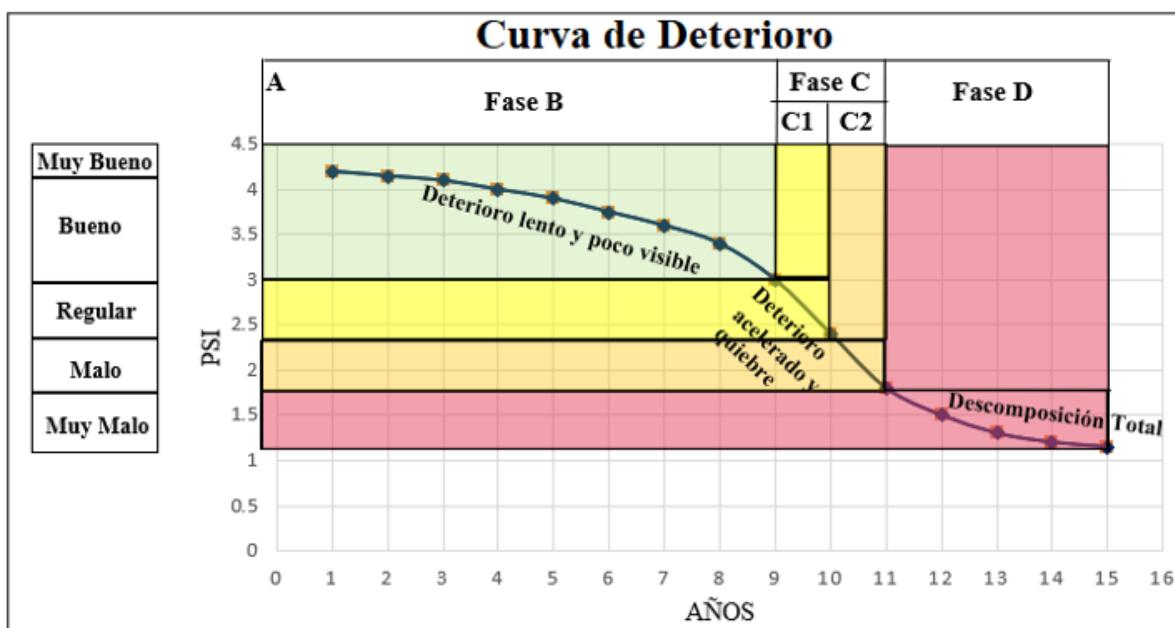
Rango PCI %	Color	Estado
0 - 10		Falla
11 - 25	Rojo	Muy Malo
26 - 40	Rojo	Malo
41 - 55	Naranja	Regular
56 - 70	Ambar	Bueno
71 - 85	Verde	Muy Bueno
86 - 100	Verde	Excelente

**Nota:** Los datos fueron tomados de (ASTM, n.d.; Carbajal, 2019; Llopis et al., 2020)

En la Figura 1 se puede observar la curva de deterioro del pavimento, la que indica el estado de la vía en función de los años de servicio, se identifica un punto crucial a partir del cual, de no existir un mantenimiento adecuado se alcanza un punto de no retorno que conduce al fallo de la estructura del pavimento; sin embargo, de existir un mantenimiento puntual se permitirá la conservación de la carpeta asfáltica favoreciendo a que su funcionamiento alcance los 20 años de vida útil, periodo a partir del cual comúnmente se diseña una estructura de pavimento flexible. La Fase A hace referencia al proceso de construcción de la estructura del pavimento, mientras que la Fase B al deterioro lento y poco visible, la Fase C evidencia un deterioro acelerado y quiebre de la carpeta asfáltica; finalmente, la Fase D refleja la destrucción total, siendo este el punto de no retorno para la estructura, lo que indica el remplazo total de la estructura del pavimento.

Figura 1

Curva de deterioros



Nota: Autores, 2025 modificado de (Gore et al., 2023)

## Marco teórico

### Mezcla Asfáltica en Caliente

La mezcla asfáltica en caliente (HMA) es un tipo de mezcla utilizada en la construcción y mantenimiento de carreteras compuesta por agregados (grueso, intermedio y fino) y ligante asfáltico, que se combinan a altas temperaturas, generalmente entre 150°C y 180°C, dependiendo del grado de viscosidad del asfalto utilizado. Durante su proceso de fabricación, los componentes se calientan y se juntan en una planta de asfalto de forma homogénea. Esta se utiliza principalmente en la pavimentación de carreteras, calles y otras infraestructuras viales debido a su durabilidad, resistencia a cargas de tráfico y capacidad para soportar condiciones climáticas extremas (Padilla, 2004).

Durante la elaboración de una mezcla asfáltica, las proporciones de los materiales utilizados para su producción determinan las propiedades físicas y el desempeño que podrán presentar al momento de ser puestas en obra (Asphalt Institute, 2015).

### Elaboración de especímenes de mezcla asfáltica en caliente

Para la elaboración de especímenes de mezcla asfáltica en caliente (HMA) se emplea el método Marshall, uno de los más utilizados.

Este método permite encontrar la dosificación óptima para una mezcla asfáltica, estableciendo los porcentajes tanto de agregados minerales y de ligante bituminoso que garanticen características adecuadas para el hormigón asfáltico en caliente. Entre los parámetros evaluados en este diseño se encuentra la relación entre vacíos-densidad de la mezcla y estabilidad-flujo en especímenes compactados, los cuales se encuentran normalizados en probetas de 2.5 pulgadas de espesor por 4 pulgadas de diámetro (Asphalt Institute, 2015).

Para la selección de la proporción de agregados minerales se deberá tener en consideración la granulometría deseada para la mezcla al igual que el comportamiento que se

pretende obtener, por lo cual se deberá seleccionar la faja granulométrica adecuada para el diseño establecido en la MOP-001-F 2002 sección 405.5.02 y, de igual manera, los requisitos para el ligante asfáltico que se establecen en la sección 810.2.02 (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2002).

Para la elaboración de especímenes de hormigón asfáltico en caliente el Ministerio de Transporte y Obras Públicas en la sección 405.5.04 establece los criterios de diseño Marshall dependiendo del tipo de tráfico al cual va a ser destinado el diseño de la mezcla asfáltica (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2002).

## **Caracterización de la mezcla Asfáltica**

### **Densidad**

Se define como el peso unitario de un volumen específico de la mezcla asfáltica (Praba, et al., 2020). Es una característica muy importante debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado para obtener un rendimiento duradero (Asphalt Institute, 2015).

La densidad de la mezcla compactada que se obtiene en laboratorio sirve como guía para determinar si la densidad del pavimento, cuando sea colocado en obra, es adecuada o no (G. Cárdenas, 2014).

Las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes y las especificaciones MOP-001-F-2002 establecen que usualmente un porcentaje de la densidad del pavimento sea determinado en el laboratorio, ya que dicha densidad en campo no se logra obtener en su totalidad debido a los métodos de compactación y la temperatura de la mezcla asfáltica (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2002).

### **Porcentaje de vacíos de aire**

Los vacíos de aire son espacios pequeños que están presentes entre los agregados revestidos en la mezcla asfáltica. Es necesario que todas las mezclas contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir la compactación bajo el tráfico, y proporcionar espacios donde pueda fluir el asfalto durante el proceso de compactación. El porcentaje permitido de vacíos para carpetas asfálticas varía entre 3 y 5 porciento (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2002).

### **Vacíos de agregado mineral V.M.A**

Los vacíos en el agregado mineral (VMA) son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado en una mezcla asfáltica compactada incluyendo aquellos que están llenos de asfalto. El VMA representa el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto y los vacíos de aire óptimos para la mezcla, cuando mayor sea el VMA mayor espacio existirá disponible para las películas de asfalto (Asphalt Institute, 2015).

### **Vacíos llenos de asfalto V.F.A**

Los vacíos llenos de asfalto corresponden a la porción del volumen de vacíos entre las partículas de agregados que están ocupados por el porcentaje de asfalto efectivo de la mezcla asfáltica (G. Cárdenas, 2014).

### **Contenido de Asfalto**

Es el porcentaje de asfalto que se incorpora en la mezcla, parte de este será absorbido por el agregado y el resto formará una película que rodea las partículas, al primero se le denomina asfalto absorbido y al segundo asfalto efectivo. El óptimo contenido de asfalto de la

mezcla asfáltica está en función de la granulometría y el porcentaje de absorción del material. Mezclas con alto porcentaje de filler requerirán más asfalto y mezclas porosas se necesitarán menor porcentaje (Asphalt Institute, 2015).

### **Estabilidad**

Es la capacidad de la mezcla asfáltica de soportar las deformaciones y desplazamientos cuando son sometidas a las cargas vehiculares de tránsito (Garnica et al., n.d.).

La estabilidad Marshall de una mezcla asfáltica compactada es la carga máxima expresada en kilogramos o libras que resiste una briqueta de 6.35 cm y un diámetro de 10.16 cm cuando es sometida a la prensa Marshall a una temperatura de 60°C después de pasar por el baño maría durante 30 minutos y aplicando una carga normal a la briqueta a una velocidad de 5.08 cm/min (Garnica et al., 2004).

### **Flujo**

Flujo Marshall es la deformación total expresada en mm o pulgadas que experimenta la probeta desde el comienzo de la aplicación de la carga en el ensayo de estabilidad, hasta el instante de producirse la falla (Garnica et al., 2004).

Si los valores de fluencia que se obtienen en briquetas de mezclas asfálticas son bajos se considera una mezcla rígida para ser colocada en obra; por el contrario, si el valor de fluencia es elevado la mezcla se considera excesivamente plástica, por lo que tiende a deformarse rápidamente cuando es sometida a cargas vehiculares de tránsito (G. Cárdenas, 2014).

### **Envejecimiento de mezcla asfáltica**

El proceso de envejecimiento pretende simular el transcurso del tiempo en una estructura de pavimento, para lo cual se estableció la norma AASHTO R 30. Esta normativa estipula que mediante la incorporación de calor adicional en el proceso de fabricación de hormigón asfáltico se genera el envejecimiento del material, simulando el paso del tiempo a corto y largo plazo.

### **Norma utilizada para el proceso de envejecimiento AASHTO R 30**

La norma AASHTO R 30 proporciona el procedimiento para simular el envejecimiento de mezclas asfálticas en caliente a corto y largo plazo mediante el acondicionamiento a temperaturas controladas con el uso de un horno de tiro forzado (AASHTO, n.d.).

Este procedimiento, para el acondicionamiento de mezclas asfálticas sueltas, se lo aplica para un envejecimiento a corto plazo debido a que la temperatura a la cual es sometida la mezcla asfáltica es elevada, por lo que si se implementara en briquetas estas se desintegrarían durante el tiempo que dura el acondicionamiento (Guerrero et al., n.d.-a; Montero & Recasens, 2015). Por otra parte, el acondicionamiento a largo plazo es implementado en briquetas de mezcla asfáltica, ya que la temperatura utilizada es insuficiente para permitir la desintegración pese a su exposición durante un periodo prolongado.

Durante todo el proceso de envejecimiento es importante tener precaución con las tolerancias establecidas a fin de no producir ninguna alteración a los resultados del ensayo (Argüelles, 2005; Guerrero et al., n.d.-b; Parada et al., n.d.).

### **Efecto del envejecimiento en las propiedades fisicoquímicas**

Este método es irreversible, afecta a la durabilidad del pavimento y evidencia daños tempranos. La principal causa del envejecimiento del asfalto es la oxidación térmica, un

procedimiento donde los componentes del ligante interactúan con el oxígeno bajo condiciones de elevada temperatura. Este fenómeno se agudiza durante el proceso de producción, almacenaje, traslado, ubicación y compactación de las mezclas asfálticas, y se complementa con la volatilización de elementos de menor peso y la reestructuración de su microorganismo (Baudilio et al., 2023).

Diversos factores del entorno, como la temperatura, la humedad y la presencia de oxígeno, influyen en el proceso de envejecimiento. En particular, la humedad puede originarse tanto en la atmósfera como en el interior de las estructuras, además, el pavimento asfáltico está estrechamente relacionado con este fenómeno. La capa de rodadura de las estructuras es la más afectada visualmente, ya que está en contacto constante y directo con el oxígeno presente en el aire, lo que intensifica el efecto oxidante (Villegas et al., 2024).

### Índice de Condición del Pavimento (PCI)

Los daños observados se documentan y clasifican de acuerdo con su tipo y grado de severidad. Esto ayuda a identificar patrones de deterioro y a planificar de manera más eficiente las intervenciones necesarias. Se enfatiza la importancia de registrar de forma detallada los resultados de la inspección, lo que permitirá hacer un seguimiento adecuado y facilitar la planificación futura del mantenimiento de pavimentos (Niola, 2015).

Dentro de los modelos de administración vial existentes, el Índice de Condición del Pavimento (PCI) representa el método más integral para la valoración y puntuación imparcial de pavimentos flexibles o rígidos. La implementación de la metodología es sencilla y no necesita de herramientas especializadas más allá de las que conforman el sistema de evaluación del PCI (Vásquez, 2002).

Así también, el PCI es uno de los indicadores que facilitan una valoración global del comportamiento del pavimento, además, es uno de los que se utiliza para la revisión visual. Este método de evaluación es uno de los más reconocidos a nivel global y sigue siendo utilizado en ciertos países, especialmente en los que carecen de dispositivos para medir parámetros como deflexión, irregularidad superficial (longitudinal y transversal) y fricción (González et al., 2019).

## Metodología

### Elaboración de especímenes para ser ensayados

Se aplicó la metodología Marshall para el diseño de mezclas asfálticas en función de la norma ASTM D 1559, en el cual se utilizarán materiales que cumplieron con las características establecidas en las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes entre las cuales están granulometría, peso específico aparente de los áridos y peso específico del asfalto (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2002). Una vez obtenida la curva granulométrica se procedió a elegir los porcentajes de agregado grueso, intermedio, fino y el porcentaje de asfalto para la realización de la mezcla asfáltica (Caillagua & Sozoranga, 2025). Se prepararon 15 muestras de mezcla asfáltica para el estudio.

Teniendo en consideración los criterios de diseño Marshall presentados en la especificación MOP-001-F-2002, en la que se establecen las condiciones de tráfico y las características que debe cumplir la mezcla asfáltica, se debe contemplar que en la actualidad el mayor porte de la red vial nacional es diseñada para el tráfico de vehículos de carga, por lo que se debe prever que la estructura podría soportar este tipo de tránsito; pudiendo no resistir y requerir intervenciones.

## Envejecimiento de especímenes

Este procedimiento puede realizarse en dos fases, una a corto plazo (durante la producción y colocación de la mezcla) y a largo plazo (durante el tiempo de vida útil). Los especímenes elaborados se acondicionan en el horno a una temperatura de 135°C a 4 horas para simular un envejecimiento a corto tiempo (Garnica et al., 2004) y para simular un envejecimiento a largo plazo se acondiciona a una temperatura de 85°C durante 5 días (Agudelo & Martínez S, 2019).

## Identificación de deterioros

Pese a poseer una normativa que permite la identificación de deterioros para pavimento asfáltico, esta no es utilizada para la identificación de deterioros en especímenes de prueba debido a que no se presenta la acción del tránsito vehicular como variable de alteración en la integridad del pavimento (Loor, 2021). La principal variable para el estudio es la temperatura en la elaboración de briquetas ya se simula un proceso de envejecimiento y permite reconocer deterioros presentes como fisuras, desprendimientos, oxidación, perdida de adherencia y microfisuras.

Así mismo, se podría establecer un rango de clasificación desde leve, moderado y severo, dependiendo de la presencia de cada tipo de deterioro. Los aspectos relevantes para la determinación de la severidad se verán influenciados por el efecto de los deterioros en la integridad de las briquetas de prueba.

Para definir un valor exacto, tanto en las dimensiones de los deterioros como en su influencia dentro de las briquetas elaboradas, se ve la necesidad de la elaboración de estudios complementarios centrados en el ensayo de briquetas envejecidas y en la recopilación de resultados medibles.

## Análisis e interpretación

Mediante la evaluación cualitativa se identificaron las tendencias comunes de deterioros presentes en los especímenes de prueba pertenecientes a la misma muestra de mezcla asfáltica, debido a la aplicación del envejecimiento. Los resultados fueron relacionados con la temperatura y tiempo de exposición de las muestras, así como con el tipo de asfalto utilizado para la elaboración de la mezcla.

Para establecer la relación entre los deterioros observados en campo y el nivel de severidad asociado, se utilizó una matriz de correlación que permitió vincular cada tipo de daño con su clasificación cualitativa (leve, moderado o severo), la que se presenta en la Tabla 2.

Durante el proceso de evaluación, se documentaron las condiciones del pavimento mediante fichas de inspección, las que incluyeron evidencias fotográficas, ubicación georreferenciada y descripción detallada del daño. Cada observación fue codificada y clasificada, según su naturaleza y magnitud, lo cual permitió alimentar la matriz de correlación previamente diseñada.

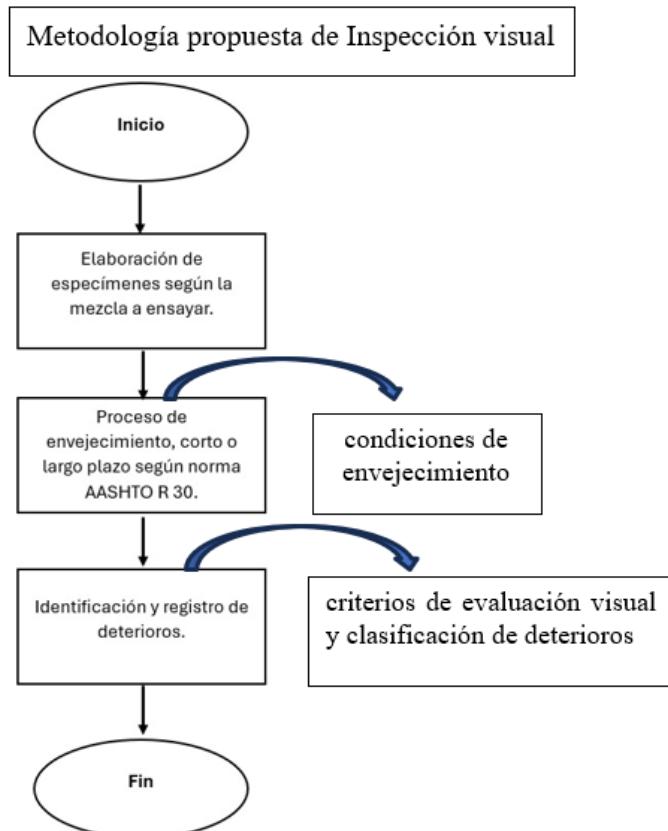
Posteriormente, los datos recopilados fueron analizados para determinar tendencias y patrones de envejecimiento, utilizando herramientas estadísticas básicas y sistemas de información geográfica (SIG), cuando se disponga de cobertura espacial. Esta correlación técnica facilitó la priorización de intervenciones y la toma de decisiones en programas de mantenimiento vial.

En la Figura 2 se puede observar el diagrama de flujo de la metodología propuesta para la inspección visual.

### Flujograma sobre la metodología

**Figura 2**

*Flujograma sobre la metodología*



**Nota:** (Autores, 2025)

### Resultados y Discusión

La revisión bibliográfica, realizada para la elaboración del presente artículo, reveló que el envejecimiento de mezclas asfálticas proporciona una herramienta de estudio que contribuye a la caracterización y simulación de deterioros producidos durante el tiempo de vida útil de una estructura de pavimento flexible; además, se evidenció que un análisis minucioso de muestras de hormigón asfáltico de la estructura de un pavimento flexible permitió evaluar diversos tipos de desgastes que únicamente serían visibles con el paso del tiempo durante la operación de la estructura. El cumplimiento de las especificaciones durante el diseño de una mezcla asfáltica no garantiza un comportamiento uniforme, por lo que un estudio posterior a su realización proporcionará información vital sobre intervenciones que se deberán considerar para la conservación de la infraestructura.

El envejecimiento de las mezclas asfálticas es un proceso crítico que impacta directamente la durabilidad y el rendimiento de las infraestructuras viales. Comprender los factores que influyen en este fenómeno, como la temperatura, la humedad y la exposición al oxígeno, es fundamental para identificar las causas de deterioro en pavimentos y desarrollar estrategias efectivas de mantenimiento y rehabilitación. Al aplicar este conocimiento en el

diseño de mezclas asfálticas más resistentes, se puede optimizar la vida útil de las pavimentaciones, reduciendo costos a largo plazo y mejorando la seguridad y funcionalidad de las vías. Así, el enfoque proactivo hacia el envejecimiento del asfalto no solo contribuye a la sostenibilidad de las infraestructuras, sino que también garantiza un mejor servicio a la comunidad.

El envejecimiento es un fenómeno que altera las propiedades físicas y químicas simulando el paso del tiempo, entre los deterioros que pueden presentarse están los siguientes:

- Grietas: Generadas debido a la contracción, comúnmente presentan un patrón en forma de polígono y de manera uniforme tanto en tamaño como en su distribución. La pérdida de flexibilidad del ligante produce una rigidez que disminuye las propiedades de la mezcla asfáltica frente a contracciones térmicas lo cual genera el agrietamiento.
- Exudación: Este deterioro se hace visible debido a una capa brillante que se genera en la superficie, ocurre debido a que la viscosidad del asfalto aumenta, permitiendo que los aceites rebosen a la superficie.
- Desprendimiento de agregados: Se genera debido a la pérdida de adherencia de los agregados con el ligante asfáltico, la oxidación permite al ligante volverse frágil, posibilitando el desprendimiento de partículas.
- Disminución de la flexibilidad: El envejecimiento reduce la capacidad de la mezcla asfáltica para recuperar su configuración, produciendo gritas por fatiga.
- Cambio de color: El color del pavimento puede cambiar a tonos grisáceos o marrones debido a la oxidación del ligante asfáltico y es un cambio directo que indica el envejecimiento del asfalto.

La metodología propuesta para la inspección visual se basa en la observación directa de los pavimentos en distintos estados de envejecimiento; por tal motivo, es fundamental el desarrollo de investigaciones que complementen de manera más detallada y rigurosa indicadores que hagan posible establecer valores cuantitativos dentro del análisis planteado. La Tabla 1 expresa la clasificación visual de severidad de daños planteada, y la Tabla 2 la clasificación de envejecimiento propuesto.

**Tabla 2**

*Clasificación visual de severidad de daños propuesta mediante el envejecimiento de mezcla asfáltica y briquetas*

<b>Tipo de Deterioro</b>	<b>Descripción Técnica</b>	<b>Criterio de Severidad - Leve</b>	<b>Criterio de Severidad - Moderado</b>	<b>Criterio de Severidad Severo</b>
<b>Fisuras (Longitudinales, Transversales o en bloque)</b>	Grietas lineales o en patrón cuadriculado causadas por retracción térmica, fatiga o deformaciones estructurales.	Grietas cortas o poco visibles, sin desintegración ni perdida de material.	Grietas medianamente largas, posible inicio de desintegración.	Grietas anchas y largas, con desintegración de material, posible afectación estructural.
<b>Desprendimientos (Raveling)</b>	Pérdida progresiva del agregado superficial por envejecimiento del ligante o tránsito.	Pérdida ligera de agregado, textura aún perceptible.	Exposición parcial del agregado grueso, textura superficial rugosa.	Desgaste severo, pérdida funcional de la carpeta asfáltica.

<i>Tipo de Deterioro</i>	<i>Descripción Técnica</i>	<i>Criterio de Severidad - Leve</i>	<i>Criterio de Severidad - Moderado</i>	<i>Criterio de Severidad Severo</i>
<b>Oxidación del Asfalto</b>	Cambio de coloración por envejecimiento del ligante asfáltico, pérdida de flexibilidad.	Color marrón claro o grisáceo, sin grietas visibles.	Color gris oscuro, con presencia de microgrietas superficiales.	Superficie quebradiza, grietas asociadas, pérdida de cohesión entre los agregados.
<b>Pérdida de Adherencia (Despegue)</b>	Separación entre capas o pérdida de vínculo entre mezcla asfáltica y la base o sub-base.	Leve desprendimiento, sin alteraciones visibles	Áreas con degradación visible de agregado fino.	Desprendimientos evidentes de agregados con ausencia de ligante.
<b>Microfisuras superficiales</b>	Fisuración superficial en malla fina o telaraña, generalmente por oxidación o tránsito repetitivo.	Microfisuras imperceptibles o muy ligeras, sin daño estructural	Malla apenas entrelazada y perceptible, posible pérdida de capa impermeable.	Fisuración conectada, daño estructural evidente, posible evolución a piel de cocodrilo.

### Conclusiones

El proceso de envejecimiento de una muestra de hormigón asfáltico permite evidenciar su calidad y definir de manera temprana los inconvenientes que se presentarán después de la operación de la infraestructura vial. Pese a que el proceso de construcción es uno de los principales factores que influyen en su desempeño operativo, no se debe ignorar el mantenimiento y la conservación de la infraestructura vial.

En Ecuador se evidencia un alto incremento de infraestructura vial que presenta fallas debido a una inexistente o reducida política de mantenimiento y conservación. La operación de las vías se ve afectada debido a un déficit en el control de tráfico, los usuarios no acatan las indicaciones de uso y no se respeta el tránsito para el que fue diseñada la vía (liviano y pesado).

El envejecimiento de mezclas asfálticas proporciona una herramienta de análisis inicial que asemeja las características que resultan del paso del tiempo a la estructura de pavimento flexible. En este contexto, se puede evidenciar como los diversos estudios realizados a mezclas asfálticas mediante el proceso de envejecimiento buscan reproducir dichas características en especímenes de prueba, para su posterior evaluación y análisis.

Los resultados obtenidos permiten diseñar estrategias de mantenimiento más efectivas y eficientes, prolongando la vida útil de las pavimentaciones y mejorando la seguridad vial y el desempeño del tráfico. La investigación sobre el envejecimiento de la mezcla asfáltica no solo impulsa la creación de materiales más duraderos, sino que también promueve una gestión vial más sostenible y eficiente, contribuyendo al desarrollo de infraestructuras más resilientes y económicas a largo plazo.

En cuanto a las limitaciones, se encuentran la inexistencia de una herramienta que permita el análisis de manera precisa de los desgastes producidos en los especímenes de prueba. Este estudio se deberá llevar a cabo sin ninguna alteración o destrucción de las briquetas, ya que es necesario una inspección visual. De ninguna manera se debe afectar la integridad de las briquetas ante la necesidad de una inspección de las propiedades que pueden presentarse en su interior.

Este artículo sugiere una base de estudio que deberá ser comprobada mediante ensayos de laboratorio que garanticen su funcionalidad. Los resultados obtenidos de estos ensayos podrían proporcionar una base sólida que permita un estudio detallado de desgastes

frecuentados en diversos especímenes, para así anticipar su aparición con medidas de mitigación.

La importancia de este estudio radica en la necesidad de un análisis temprano de los posibles inconvenientes que pueden presentarse en las estructuras de pavimento asfáltico, debido a que la mayor parte de la infraestructura vial del país se encuentran construidas empleando hormigón asfáltico.

Las muestras para el estudio deberán ser representativas de la mezcla, por otra parte, las muestras elaboradas en laboratorio deberán asemejarse a las esperadas en campo.

Para cubrir un análisis confiable de la vida útil de un pavimento flexible entre 10 y 20 años, se recomienda realizar al menos seis ensayos fundamentales: módulo resiliente (MR) para evaluar el comportamiento elástico de las capas; deflectometría (FWD o Benkelman Beam) para determinar la capacidad estructural; resistencia mecánica del ligante mediante tracción indirecta (ITS) o corte directo; caracterización del ligante asfáltico (ductilidad, penetración y envejecimiento RTFO/PAV); granulometría y densidad in situ (por densímetro nuclear o método del cono de arena); e inspección visual codificada (según PCI, VIZIR u otra norma técnica). Estos ensayos deben realizarse al inicio del periodo de análisis (año 0) y repetirse cada 2 a 3 años en vías de alto tráfico, o bajo condiciones climáticas severas; y, cada 5 años en vías secundarias, lo que permite modelar el deterioro, recalibrar curvas de desempeño y planificar estrategias de mantenimiento preventivo o correctivo de manera técnica y oportuna.

### Reconocimientos

Los autores declaran la contribución y participación equitativa de roles de autoría para esta publicación.

Los autores declaran que, en la elaboración del presente artículo, no se ha utilizado herramientas de inteligencia artificial.

### Referencias

- AASHTO. (n.d.). *R 30-Acondicionamiento de mezcla asfáltica caliente*.
- Garnica, P., Delgado, H., Gómez, J., Romero, S., & Alarcón, H. (2004). *Aspectos Del Diseño Volumétrico De Mezclas Asfálticas*.
- Argüelles, G. M. (2005). *Efecto de la radiación solar en el envejecimiento de ligantes y mezclas asfálticas*. <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstreams/2dd76cda-9665-4121-8dab-4fa206c0378d/download>
- Asphalt Institute. (2015). *MS-2 Asphalt Mix Design Methods* (7th ed.). Asphalt Institute.
- ASTM. (n.d.). *D 6433-Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D6433-18>
- Baudilio, S., Rondón, H., & Bastidas, J. (2023). *Estudios del envejecimiento de mezclas de concreto asfáltico en caliente* (N. Rodríguez, Ed.; Primera). [www.stock.adobe.com-Stockr](http://www.stock.adobe.com-Stockr)
- Caillagua, A., & Sozoranga, J. (2025). *Evaluación de la calidad de mezclas asfálticas en caliente a través del Módulo de Rigidez utilizando agregados provenientes de las canteras de Guayllabamba, Pintag y Pifo*. [Tesis de grado inédita]. Universidad Central del Ecuador.
- Carbajal, A. (2019). *Estudio de tipo fallas y sus consecuencias en el pavimento flexible de la Av. Central, cuadra 5, distrito de Los Olivos*. Universidad César Vallejo.

- Cárdenes, G. (2014). *Estudio De Mezclas Asfálticas Colocadas En Vías De La Región Amazónica Del Ecuador Mediante Pruebas De Desempeño*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Cárdenes, J. (2018). *Influencia del tráfico vehicular con respecto a las deflexiones de los pavimentos flexibles en zona urbana de la ciudad de Huancayo, Junín – 2017*. Universidad Ricardo Palma.
- Garnica, P., Delgado, H., & Sandoval, C. (2005). *Analisis Comparativo De Los Métodos Marshall Y Superpave Para Compactación De Mezclas Asfálticas*.
- González, H., Ruiz, P., & Guerrero, D. (2019). *Propuesta De Metodología Para La Evaluación De Pavimentos Mediante El Índice De Condición Del Pavimento (Pci)*.
- Gore, N., Arkatkar, S., Joshi, G., & Antoniou, C. (2023). Modified bureau of public roads link function. *Journals.Sagepub.Com*, 2677(5), 966–990. <https://doi.org/10.1177/03611981221138511>
- Guerrero, W., vinculos, S. P.-R., & 2020, undefined. (n.d.-a). Efecto del envejecimiento de mezclas asfálticas en el ciclo de vida del pavimento desde el aspecto técnico y ambiental. Revisión del estado de conocimiento. *Revistas.Udistrital.Edu.Co*. <https://doi.org/10.14483/2322939X.16227>
- Guerrero, W., vinculos, S. P.-R., & 2020, undefined. (n.d.-b). Efecto del envejecimiento de mezclas asfálticas en el ciclo de vida del pavimento desde el aspecto técnico y ambiental. Revisión del estado de conocimiento. *Revistas.Udistrital.Edu.Co*WMC Guerrero, SBC PabónRevista Vinculos, 2020•revistas.Udistrital.Edu.Co. <https://doi.org/10.14483/2322939X.16227>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2024). *Estadística de Transporte (Estra)*.
- Llopis, D., García, T., Montalbán, L., Sanz, A., & Pellicer, E. (2020). Influence of Pavement Structure, Traffic, and Weather on Urban Flexible Pavement Deterioration. *Sustainability (Switzerland)*, 12(22), 1–20. <https://doi.org/10.3390/su12229717>
- Loor, M. (2021). *Estudio del envejecimiento de mezclas asfálticas con núcleos de obras y briquetas procesadas en laboratorio*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Martínez, S., & Agudelo, M. (2019). *Estudio Comparativo Del Envejecimiento A Largo Plazo De Una Mezcla Con Asfalto Modificado Con Grano De Caucho Reciclado*. Trabajo de grado, Univ. Católica de Colombia. repositorio digital HLSL: <https://hdl.handle.net/10983/24074>
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2002). *Especificaciones Generales Para La Construcción Para La Construcción De Caminos Y Puentes*.
- Montero, T. L., & Recasens, J. M. (2015). *El envejecimiento en mezclas asfálticas*. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/126751>
- Niola, M. (2015). *Analisis De Las Fallas Del Pavimento Flexible De La Avenida Arízaga Entre Nueve De Mayo Y Ayacucho*. Universidad Técnica De Machala.
- Padilla, A. (2004). *Ánalisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista*.
- Parada, M., Lepesqueur, A., & Caicedo., B. (2005). undefined. Estudio del envejecimiento de mezclas asfálticas por oxidación.
- Praba, M., Lokeshwaran, K., & Kumar, S. R. (2020). an optimum design approach for flexible pavement using asphalt institute method. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 11.
- Rondón, J. (2021). *Envejecimiento De Asfaltos Y Mezclas Asfálticas: Revisión Teórica*. Universidad Santo Tomás.
- Vásquez, L. (2002). *Pavement Condition Index (Pci) Para Pavimentos Asfálticos Y De Concreto En Carreteras*.
- Villegas, R., Calderón, P., Aguilar, J., & Quirós, R. (2024). Análisis morfológico de la oxidación del betún asfáltico y su relación con los cambios en sus propiedades químicas y termorreológicas. *ASFALTO Y PAVIMENTOS, XIV*.