



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**DISEÑO EXPERIMENTAL DE MEZCLA ASFÁLTICA PARA
REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS EN VÍAS URBANAS.**

**GONZALEZ PAZMIÑO ISAAC EDUARDO
INGENIERO CIVIL**

**SALAZAR ROMERO PAULO XAVIER
INGENIERO CIVIL**

**MACHALA
2023**



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**DISEÑO EXPERIMENTAL DE MEZCLA ASFÁLTICA PARA
REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS EN VÍAS URBANAS.**

**GONZALEZ PAZMIÑO ISAAC EDUARDO
INGENIERO CIVIL**

**SALAZAR ROMERO PAULO XAVIER
INGENIERO CIVIL**

**MACHALA
2023**



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTOS TÉCNICOS

**DISEÑO EXPERIMENTAL DE MEZCLA ASFÁLTICA PARA
REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS EN VÍAS URBANAS.**

**GONZALEZ PAZMIÑO ISAAC EDUARDO
INGENIERO CIVIL**

**SALAZAR ROMERO PAULO XAVIER
INGENIERO CIVIL**

SANCHEZ MENDIETA CARLOS EUGENIO

**MACHALA
2023**

DISEÑO EXPERIMENTAL DE MEZCLA ASFÁLTICA PARA REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS EN VÍAS URBANAS

por Isaac Eduardo González Pazmiño

Fecha de entrega: 01-mar-2024 12:56p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2309021236

Nombre del archivo: ASF_LTICA_PARA_REHABILITACION_DE_PAVIMENTOS_EN_V_AS_URBANAS.docx (2.83M)

Total de palabras: 24494

Total de caracteres: 139011

DISEÑO EXPERIMENTAL DE MEZCLA ASFÁLTICA PARA REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS EN VÍAS URBANAS

INFORME DE ORIGINALIDAD

6%

INDICE DE SIMILITUD

6%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

ENCONTRAR COINCIDENCIAS CON TODAS LAS FUENTES (SOLO SE IMPRIMIRÁ LA FUENTE SELECCIONADA)

< 1%

★ www.ptolomeo.unam.mx:8080

Fuente de Internet

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 40 words

Excluir bibliografía

Activo

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

Los que suscriben, GONZALEZ PAZMIÑO ISAAC EDUARDO y SALAZAR ROMERO PAULO XAVIER, en calidad de autores del siguiente trabajo escrito titulado DISEÑO EXPERIMENTAL DE MEZCLA ASFÁLTICA PARA REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS EN VÍAS URBANAS., otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

Los autores declaran que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

Los autores como garantes de la autoría de la obra y en relación a la misma, declaran que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asumen la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



GONZALEZ PAZMIÑO ISAAC EDUARDO

0706401650



SALAZAR ROMERO PAULO XAVIER

0706149085



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**DISEÑO EXPERIMENTAL DE MEZCLA ASFÁLTICA PARA
REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS EN VÍAS URBANAS.**

ESTUDIANTES RESPONSABLES

GONZÁLEZ PAZMIÑO ISAAC EDUARDO.

SALAZAR ROMERO PAULO XAVIER.

TRABAJO DE TITULACIÓN

TUTOR

ING. SÁNCHEZ MENDIETA CARLOS EUGENIO, MGS.

MACHALA

2024

RESUMEN

Esta investigación radica en la importancia de encontrar soluciones efectivas y sostenibles para contrarrestar el deterioro de la infraestructura vial en entornos urbanos. El objetivo del estudio es evaluar los procesos de rehabilitación de pavimentos en vías urbanas y seleccionar métodos efectivos de restauración para prolongar su vida útil. Se destaca la necesidad de mejoras en la estructura vial para alcanzar óptimas condiciones y mejorar la calidad de la ciudad. Las conclusiones demuestran que los procesos de rehabilitación son eficaces y eficientes para extender la vida útil de los pavimentos urbanos. La problemática analizada incluye el deterioro prematuro y la efectividad limitada de los procesos de rehabilitación de pavimentos en vías urbanas, lo que puede dificultar la conducción y aumentar el riesgo de accidentes de tránsito. Se resalta la importancia de una adecuada evaluación visual para identificar las necesidades específicas de las vías y elegir el tratamiento de rehabilitación adecuado. El estudio se enfoca en la ciudad de Machala, Ecuador, y busca aportar soluciones fundamentadas en la experiencia y la ciencia para garantizar la seguridad y comodidad de los usuarios de las vías urbanas. En cuanto a la emulsión asfáltica, se menciona en uno de los resultados que se utiliza en la elaboración de mezclas experimentales para evaluar aspectos como la trabajabilidad, resistencia al daño por humedad, estabilidad y el comportamiento de flujo en una mezcla de suelo y emulsión.

***Palabras claves:** emulsión asfáltica, evaluación de procesos de rehabilitación, evaluación visual, rehabilitación de pavimentos, sostenibilidad.*

ABSTRACT

This research is based on the importance of finding effective and sustainable solutions to counteract the deterioration of road infrastructure in urban environments. The aim of the study is to evaluate pavement rehabilitation processes on urban roads and to select effective restoration methods to prolong their service life. It highlights the need to improve the structure of roads to achieve optimal conditions and improve the quality of the city. The conclusions show that rehabilitation processes are effective and efficient in prolonging the service life of urban pavements. Among the problems analysed are the premature deterioration and low efficiency of pavement rehabilitation processes on urban roads, which can make driving more difficult and increase the risk of traffic accidents. The importance of a proper visual assessment to identify the specific needs of roads and to choose the appropriate rehabilitation treatment is highlighted. The study focuses on the city of Machala (Ecuador) and aims to provide solutions based on experience and science to ensure the safety and comfort of urban road users. As for the asphalt emulsion, it is mentioned in one of the results that it is used in the development of experimental mixes to evaluate aspects such as workability, resistance to moisture damage, stability and flow behaviour in a mixture of soil and emulsion.

Keywords: asphalt emulsion, evaluation of rehabilitation processes, visual assessment, pavement rehabilitation, sustainability.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	2
ABSTRACT.....	3
ÍNDICE DE CONTENIDOS	4
INTRODUCCIÓN	13
Importancia del Tema.....	13
Actualidad de la Problemática.....	14
Estructura del Trabajo.....	15
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.1 Antecedentes.....	17
1.2 Descripción de la Situación Problemática	21
1.3 Formulación del Problema.....	24
1.4 Delimitación del Objeto de Estudio.....	25
1.5 Justificación	25
1.6 Objetivos: General y Específicos.....	26
2. ESTADO DEL ARTE	27
2.1 Antecedentes Contextuales	27
2.2 Antecedentes Conceptuales	36
2.3 Antecedentes Referenciales	40
3. METODOLOGÍA	51
3.1 Trabajo de campo.....	53
3.2 Trabajo de laboratorio – Ensayo y Diseño de mezclas.....	54
3.2.1 Determinación del contenido litigante asfáltico de la muestra	54
3.2.2 Granulometría	54
3.2.3 Volumetría de cada espécimen	55
3.2.4 Método de Marshall	55
3.2.5 Trabajo de gabinete – Evaluación de los resultados	55

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	56
4.1 Rugosidad (iri)	57
4.2 Durabilidad (IRI)	59
4.3 Resistencia	60
4.4 Presupuesto	65
4.5. Impacto por tipo de actividad	67
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	69
5.1 conclusiones.....	69
5.2 Recomendaciones	70
BIBLIOGRAFÍA	71

INTRODUCCIÓN

Importancia del Tema.

La rehabilitación de pavimentos en vías urbanas tiene una importancia esencial en la búsqueda de respuestas efectivas y sostenibles para contrarrestar el deterioro de la infraestructura vial. En un entorno urbano en constante evolución, donde el tráfico pesado, las condiciones climáticas adversas y la demanda de movilidad plantean desafíos persistentes, es esencial aprovechar el conocimiento acumulado en el campo de la ingeniería civil. En este contexto, evaluar los procesos de rehabilitación es esencial para mantener la estructura vial en óptimas condiciones, además permite la aceleración de toma de decisiones y garantizar soluciones fundamentadas en la experiencia y la ciencia para prolongar la vida útil de los pavimentos urbanos de manera eficaz y eficiente (Aramayo et al., 2019).

De acuerdo con (Alaamri et al., 2017), las grietas en el pavimento tienen diferentes orígenes en términos de forma, composición, capacidad de carga, movimiento y tasa de deformación. La rehabilitación del pavimento implica el tratamiento de la capa existente para mejorar su resistencia y, en muchos casos, la sustitución de la capa de rodadura por una nueva. Estas acciones de rehabilitación se realizan para corregir problemas estructurales del pavimento, lo que aumenta su capacidad de soporte y prolonga su vida útil. No llevar a cabo estas intervenciones de manera oportuna acelera los procesos de deterioro. Para determinar la mejor estrategia de mantenimiento, hay que considerar alternativas, que pueden surgir a partir de un análisis inicial de las condiciones existentes.

Además, una inadecuada ejecución de estos trabajos de rehabilitación puede tener un impacto negativo en la calidad del pavimento, ya que con el paso del tiempo se pueden producir deformaciones, agrietamientos prematuros y desprendimientos de material de carpeta asfáltica. Esto conlleva a que los usuarios reciban una deficiente calidad de movilidad, lo que puede ocasionar un deterioro de vehículos y generar inseguridad para los usuarios de las vías. Por eso es importante una adecuada evaluación visual para identificar con precisión las necesidades específicas de una vía o carretera, para que se elija el tratamiento de rehabilitación adecuado.

Actualidad de la Problemática.

En el Ecuador es notable observar que el olvido de políticas viales para la conservación de carreteras por parte de los organismos seccionales y nacionales da como resultado la presencia de problemas relacionados con el pésimo estado de las vías (*Universidad Antonio Nariño: Elaboración De Aditivos Para El Pavimento Asfáltico A Partir Del Plástico, Caucho De Neumático, Y Asfalto Recuperado Como, Una Solución Sostenible En La Pavimentación De Vías.*, s/f). Sin embargo, existen otros factores por los cuales el pavimento flexible puede presentar fallas antes de cumplir su vida útil, tales como, volúmenes de tránsito altos inesperados, cargas excesivas, defectos constructivos, entre otras (Aquino et al., 2022). De acuerdo con (Castro-Zabala & Gamboa-Gordillo, 2022), se observa que una de las consecuencias es que las vías no cumplen con su periodo de vida, lo que se manifiesta a través de diferentes etapas: desde la construcción inicial, pasando por el abandono, el deterioro excesivo, el colapso y, finalmente, la necesidad de reconstrucción.

De acuerdo con (Cobos Maldonado, 2015), en la ciudad de Machala se realizó una evaluación a la avenida Arizaga entre 9 de mayo, Guayas y Ayacucho, mediante el PCI se demostró que su deterioro es del 74.4%, siendo calificada como mala. En función del TPDA (Tráfico Promedio Diario Anual), se determinó que es una carretera de alto tráfico vehicular; esto demuestra la imperiosidad de evaluar las carreteras para mantenerlas en óptimas condiciones garantizando su serviciabilidad y seguridad.

Conjuntamente, (Herrera Salazar, 2022) expresa que generalmente, la medición del estado de un pavimento existente requería de la aplicación de procesos destructivos en la vía, lo que alteraba el equilibrio del sistema pavimento-subrasante. Sin embargo, a través de nuevas tecnologías o también llamados instrumentos de última generación que aplican técnicas para ensayos de alto rendimiento, conocidas como pruebas no destructivas, se ha mejorado la auscultación de las vías. (Hurtado Pardo, 2018) además, expresa que de entre estas técnicas se destaca la utilización del deflectómetro de impacto (Falling Weight Deflectometer, FWD), cuya función es la de analizar la condición estructural de los pavimentos mediante la interpretación de las deflexiones producidas bajo cargas dinámicas que simulan el efecto del tránsito. Por este motivo, agencias dedicadas a la investigación, como la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y Washington State Department of Transportation (WSDOT), han

establecido modelos matemáticos para correlacionar dichas tecnologías a través de parámetros o indicadores de estado del pavimento. Estos nuevos métodos proporcionan soluciones de uso directo que permitan establecer un adecuado mantenimiento, rehabilitación o reconstrucción de la estructura (Hurtado Pardo, 2018)

Estructura del Trabajo.

Este texto consta de seis secciones (Introducción, Planteamiento del problema, Estado del arte, Metodología, Resultados, Conclusiones Y Recomendaciones), cada una abordando un aspecto diferente del tema.

La primera sección abarca una introducción que destaca la relevancia del tema y menciona las condiciones adversas a las que se enfrentan los pavimentos en entornos urbanos. Por consiguiente, se profundiza en la importancia de evaluar y rehabilitar pavimentos en vías urbanas, considerando factores como el tráfico intenso, las condiciones climáticas y la demanda de movilidad. Por otra parte, se explora la situación actual de los pavimentos en vías urbanas, haciendo hincapié en el deterioro prematuro y los problemas que esto conlleva, como accidentes de tráfico, daños a los vehículos y tiempos de viaje más largos.

En la segunda sección se relata el problema central de la investigación, basado en el deterioro prematuro y la limitada eficacia de los procesos de rehabilitación de pavimentos en vías urbanas, además, se presenta información de antecedentes relacionados con el proyecto, describiendo una visión detallada de la situación de los pavimentos y la infraestructura vial en la ciudad de Machala, así como de las metodologías y técnicas utilizadas para su evaluación y rehabilitación; también se abordan aspectos sociales y económicos relacionados con la calidad de las vías. Asimismo, se argumenta la importancia y relevancia del estudio, destacando los beneficios de mantener los pavimentos en condiciones óptimas y disminuir o corregir los impactos negativos. Conjuntamente, se establece los objetivos generales y específicos del trabajo, que incluyen investigar métodos de evaluación de pavimentos, analizar las características de los pavimentos en la ciudad de Machala y recomendar estrategias de rehabilitación.

En la tercera sección, se redactan todos los antecedentes relacionados con el tema, como estudios realizados en otras regiones sobre rehabilitación de pavimentos y los métodos de evaluación utilizados, en un contexto macro, meso y micro, haciendo énfasis en este

último, para poder recomendar un método que sea seguro y que haya sido probado en condiciones similares a las de la zona de estudio. Una vez resuelto el problema central de la investigación, se presentará las conclusiones obtenidas del análisis de la información recopilada, resaltando la importancia de evaluar y rehabilitar pavimentos en vías urbanas para prolongar su vida útil y garantizar la seguridad y comodidad de los usuarios.

En la cuarta sección se detalla cómo se llevó a cabo el estudio sobre el deterioro de pavimentos y el diseño del método experimental. Se describe el enfoque utilizado para investigar el problema, incluyendo el diseño experimental seleccionado y la justificación de este diseño en función del estudio vial de la rehabilitación aplicada en la ciudad. Además, se explican los procedimientos específicos utilizados para recopilar datos relevantes sobre el deterioro de los pavimentos, como inspecciones visuales, mediciones de irregularidades de la superficie, análisis de muestras de material, entre otros. También se detalla la metodología empleada para diseñar y llevar a cabo el experimento, incluyendo la selección de materiales, el diseño de la muestra y los procedimientos del método experimental utilizados.

En la quinta sección se presentan los hallazgos y datos recopilados durante el estudio sobre el deterioro de pavimentos y el experimento diseñado. Se muestran los resultados de las inspecciones visuales, mediciones de irregularidades de la superficie, análisis de muestras de material y cualquier otro dato relevante obtenido durante el estudio. Además, se pueden incluir resultados específicos del experimento diseñado, como la resistencia al desgaste de diferentes tipos de pavimento bajo condiciones controladas. Los resultados se presentan de manera objetiva, utilizando tablas, gráficos u otros recursos visuales para facilitar su comprensión.

En la sexta sección se resumen y discuten los hallazgos del estudio sobre el deterioro de pavimentos y del experimento diseñado. Se extraen conclusiones significativas sobre los factores que contribuyen al deterioro de los pavimentos y sobre la eficacia del método experimental propuesto. Además, se ofrecen recomendaciones para abordar el deterioro de pavimentos en base a los hallazgos del estudio. Estas recomendaciones pueden incluir sugerencias para mejorar los métodos de mantenimiento y reparación de pavimentos, así como para futuras investigaciones sobre el tema.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

En el estudio doctoral (Ecuador et al., 2020), se menciona sobre el desarrollo de la región costera del Ecuador, donde destaca que esta área, a la que pertenece Machala, se caracteriza por su topografía relativamente plana y suave pendiente hacia el mar. Estas características topográficas son relevantes en la rehabilitación de pavimentos, ya que ciertas técnicas pueden mostrar una mayor eficacia en terrenos planos en comparación con aquellos con una inclinación pronunciada. Además, en cuanto a las condiciones geográficas, la región costera, incluida Machala, experimenta una cantidad significativa de precipitaciones, lo que podría acelerar el deterioro de las carreteras si no se construyen y mantienen adecuadamente (Ecuador et al., 2020).

Para determinar la condición estructural, (*Universidad Antonio Nariño: Elaboración De Aditivos Para El Pavimento Asfáltico A Partir Del Plástico, Caucho De Neumático, Y Asfalto Recuperado Como, Una Solución Sostenible En La Pavimentación De Vías., s/f*) resalta la importancia de los procesos utilizados para evaluarla, entre los cuales se destaca el uso del deflectómetro de impacto (Falling Wright Deflectometer, FWD), que es un equipo utilizado en la Ingeniería de Pavimentos para evaluar la condición estructural del pavimento. El equipo de ensayo puede ser montado en un vehículo o en un sistema de remolque tirado por un vehículo. La adquisición de un equipo sofisticado como éste, puede resultar costosa, pero presenta un alto rendimiento, es automatizado y funciona bajo una carga dinámica (Vargas Guevara, 2022).

Además, (Castro-Zabala & Gamboa-Gordillo, 2022) resaltan los modelos matemáticos utilizados para la caracterización de la subrasante. La auscultación estructural de pavimentos, empleando reflectometría de impacto, tiene como finalidad determinar la capacidad portante del sistema pavimento-subrasante en cualquier momento de su vida útil; así como el de establecer y cuantificar la necesidad de realizar o no rehabilitaciones (Meza Domínguez, 2018), mediante modelos matemáticos. Mediante estos modelos es posible hallar parámetros como el número estructural efectivo (SNef) y el módulo resiliente de la subrasante (Mr); los cuales son necesarios para el diseño y rehabilitación de las carreteras (Aquino et al., 2022).

Entre las técnicas de análisis inverso y elementos finitos, la modelación de la estructura del pavimento (*Repositorio Institucional Universidad de Cuenca: Evaluación de pavimentos en base a métodos no destructivos y análisis inverso, caso de estudio vía Chicti-Sevilla de Oro, s/f*), se realiza mediante dos herramientas computacionales, la primera es EVERCALC basado en análisis inverso desarrollado por el Departamento de Transporte del Estado de Washington y la segunda es ANSYS basado en un método racionalista que emplea elementos finitos (Pino et al., 2019). Análisis inverso con el programa EVERCALC estima el módulo elástico de las capas de pavimento, determina esfuerzos y deformaciones a distintas profundidades dentro de la estructura del pavimento (al fondo de la capa asfáltica, a la mitad de las capas granulares y en la parte superior de la subrasante); usando para ello un enfoque netamente iterativo que obtiene los módulos elásticos a partir de una comparación entre las curvas de deflexión calculadas por el programa y las medidas in situ (Aquino et al., 2022). Se inicia con una primera estimación de valores de módulo de cada una de las capas, valores que por criterio del usuario son ingresados hasta que el programa converja a una tolerancia permisible o aceptable, la cual se relaciona con los siguientes parámetros: media cuadrática, tolerancia del módulo y un máximo número de iteraciones (Pino et al., 2019).

En la ciudad destaca (Castro-Zabala & Gamboa-Gordillo, 2022), que Las cargas producidas por el tránsito actual de la vía sirven para evaluar la condición del pavimento. Destacando que el tránsito actual de la vía según la base de datos del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) (Ecuatoriana Vial, s/f-c), dentro de este informe se encuentra el TPDA (Tráfico Promedio Diario Anual) el cual corresponde a 10,160. La vía Chicti-Sevilla de Oro cuenta con dos tipos de vehículos representativos de acuerdo con la disposición de sus ejes 2DB (Camión de 2 ejes, con 2 ruedas delanteras y 4 traseras) y 3-A (Camión de 3 ejes, con un eje delantero y 2 ejes posteriores). El factor de equivalencia de carga (FE) para los vehículos 2DB es de 3.8 que tiene una composición de 13.42% del total de vehículos comerciales y para los vehículos 3-A el valor de FE es igual a 3.5 con una composición de 2.08%. Con los valores mencionados, se obtiene el factor camión (FC) mediante una media ponderada de los factores de equivalencia, dando como resultado 3.76%.

La relación de lo expuesto anteriormente (Tene Narváez, 2022), con la evaluación de pavimentos usando el deflectómetro de impacto (Falling Wright Deflectometer, FWD), se da en el hecho de que la capacidad estructural efectiva que es calculada mediante

modelos matemáticos establece que sería necesario una rehabilitación, y es por esto que la diferencia de las mismas se encuentra en función de los espesor de sobre carpetas que debería ser construidas para mejorar el nivel de servicio de una vía y por ende de los costos que implicaría ejecutar dicha rehabilitación.

Para Procesos para la Rehabilitación de Pavimentos en Vías Urbanas (Pino et al., 2019), destaca la evaluación funcional debido a que este se basa en la inspección superficial realizada en una vialidad con el objeto de determinar los deterioros que afectan al usuario, pero que no comprometen la capacidad estructural del pavimento. Aunque (Hurtado Pardo, 2018), explica que existen diferentes indicadores para establecer el estado superficial de un pavimento. Cada indicador se expresa mediante fórmulas, donde se recogen parámetros del pavimento. Para cada indicador existen tablas en las cuales se dan valores que indican en que condición se encuentra el pavimento, generalmente cada país en su norma de pavimentos establece estos límites.

Además, a esto (Tene Narváez, 2022) sustenta que en el caso de nuestro país no existe una norma respecto a estos indicadores, solo existe un reglamento de especificaciones técnicas generales para la construcción de carreteras, aprobado con R.D.N 1146 – 2000 – MTC / 15.17 del 27 de diciembre del 2000. En este reglamento, sobre rehabilitación solo se mencionan técnicas de rehabilitación superficial para pavimentos asfálticos. Los organismos internacionales que investigan los pavimentos han creado índices que permiten evaluar en qué estado se encuentra, para recomendar una buena rehabilitación.

A lo expuesto (Ávila et al., 2015), expone que entre los principales indicadores del estado superficial del pavimento tenemos: Índice de serviciabilidad presente (PSI), Índice de regularidad internacional (IRI), Índice de estado (IE). Cada indicador establece rangos para evaluar el pavimento. Su fin principal es definir en qué estado se encuentra superficialmente el pavimento, pero también indica la necesidad de evaluar estructuralmente.

Existen otros indicadores como el IFI (Índice de Fricción Internacional), que nace a mediados de la década de los noventa (Hurtado Pardo, 2018). La importancia de este indicador radica en que un pavimento con un IFI determinado, donde éste, presenta las mismas características de adherencia y textura, con independencia del tipo de pavimento que sea y del equipo de medida que se haya empleado para obtenerlo (Vargas Guevara, 2022).

Según el Ministerio De Transporte Y Obras Publicas (2020) reportó una extensión de 565,53 kilómetros de vías urbanas (Ecuatoriana Vial, s/f-a). No obstante, es relevante mencionar que esta información no ha sido oficialmente ratificada. La red vial de Machala comprende un total de 1,161.25 kilómetros de vías. De este total, se desglosa de la siguiente manera: 63.63 kilómetros de caminos de herradura, representando un 5.48% del total; 91.3 kilómetros de caminos de verano, equivalente al 7.86%; 7.38 kilómetros de carreteras pavimentadas angostas, correspondiendo al 0.64%; 71 kilómetros de carreteras pavimentadas con dos o más carriles, que constituyen un 6.11%; 195 kilómetros de senderos o veredas, representando un 16.79%; 687.74 kilómetros de vías en áreas urbanas, lo que corresponde al 59.22%; y un 3.89% de las vías restantes no cuentan con información específica.

Según el estudio vial Machala 2011, dentro del Plan de Movilidad de Machala, el total de km de la red vial de Machala en el perímetro urbano es de 565,53 km, de estas se tiene que: 68 Km de hormigón (12,02 %); 304,12 km son asfaltadas (53,77 %); 0,73 km son adoquinadas (0,13 %); y 192,69 km son de tierra o lastradas (34,07 %).

En lo destacado sobre el estado de las vías de la ciudad de Machala se destaca según la tabla 3, en una longitud de 1161.25 km existe un 1.88% de vías en estado muy buena siendo la más baja reportada en el análisis, seguido por bueno un 4.54%, regular un 1.54% Aunque se destaca que existe un 86.03% de las vías que no se cuenta con información registrada.

Según la Alcaldía de Machala, la municipalidad prevé mejorar la calzada en distintos sectores de la ciudad, principalmente en las vías de alto tráfico. Ya que las vías de la ciudad están en deterioro evidente entre regular y malo 7.55% más el 86.03% que no existe información al respecto. (Aquino et al., 2022) expresa que los baches y otros tipos de daños en la carretera son comunes y han llevado a una variedad de problemas, incluyendo accidentes de tráfico, daños a los vehículos, y tiempos de viaje más largos.

A pesar de los esfuerzos (Pino et al., 2019) expresa que, para reparar estas carreteras, las vías que han sido sometidas a reparaciones presentan fallas prematuras, lo que indica problemas con la calidad de las reparaciones. Esto puede ser el resultado de la falta de estándares o procedimientos de control de calidad adecuados en los procesos de reparación. Además, que la ciudad de Machala tiene una economía dinámica con un énfasis en la agricultura, especialmente el banano (Ecuador et al., 2020).

La calidad de las vías es esencial para transportar estos productos a los mercados. Políticamente, cualquier mejora en la infraestructura de las vías sería bien recibida y apoyada por la mayoría de los ciudadanos. Socialmente, una mejora en la calidad de las vías no sólo facilitaría la movilidad y reduciría el tiempo de viaje, sino que también podría reducir los accidentes de tráfico y mejorar la calidad del aire al reducir la cantidad de polvo y escombros levantados por los vehículos que pasan (Hurtado Pardo, 2018).

1.2 Descripción de la Situación Problemática

La problemática se analiza a partir del punto de deterioro prematura y la efectividad limitada de los procesos de rehabilitación de pavimentos en vías Urbanas destacando que es indispensable recordar que las vías son muy importantes para el ser humano, es por ello por lo que la necesidad de trasladarse las personas comunicarse de un lugar a otro, fueron construyendo caminos para satisfacer la necesidad.

Planteando que, debido a la duración reducida de la vida útil del pavimento rehabilitado y los métodos de construcción de caminos desarrollados a través del tiempo, así como la aplicación de distintos métodos certificados y calificados, han generado superficies irregulares que dificultan la conducción e incrementan el riesgo de accidentes de tránsito (Pino et al., 2019). (Herrera Salazar, 2022) coincide en que las autoridades esperan es que el pavimento se destruya tanto funcional como estructural; para su rehabilitación, antes de realizar un tipo de mantenimiento continuo y de conservación de este, hasta su periodo de vida, a la cual fue construida. (Castro-Zabala & Gamboa-Gordillo, 2022) expone que el mejoramiento de una vía debe realizarse considerando varios factores, así como las características del pavimento existente, el impacto ambiental y el impacto social, la economía y la financiación de la obra. Considerando que se debe cuidar que los vehículos mantengan una velocidad determinada a su paso por la vía, una circulación fluida. Lo que influye en que las vías no cumplan y reduzcan su periodo de vida al estimado, las cuales se presenta de la siguiente forma: construcción, abandono, deterioro excesivo, colapso y reconstrucción (Aquino et al., 2022).

Entre los impactos de la duración reducida de la vida útil del pavimento rehabilitado, destaca a (Hurtado Pardo, 2018) en su Impacto en la seguridad vial: lo cual implica una baja en la calidad del pavimento rehabilitado de un diseño deficiente y el tráfico intenso puede generar superficies irregulares y peligrosas en las vías urbanas rehabilitadas. Estas superficies inconsistentes y con irregularidades pueden dificultar la conducción fluida y

segura de los vehículos. Los conductores se enfrentan a desafíos imprevistos al tener que sortear baches, grietas y desniveles en el pavimento. Estas condiciones aumentan el riesgo de deslizamientos y pérdida de control del vehículo, especialmente en situaciones de frenado brusco, giros o cambios de carril. (Castro-Zabala & Gamboa-Gordillo, 2022) concuerdan y explican que la debilitación de la Infraestructura: como la omisión de un análisis actualizado de carga y tráfico al planificar la rehabilitación de pavimentos en vías urbanas puede desencadenar intervenciones inadecuadas que no son capaces de resistir las demandas impuestas por el tráfico real. La falta de consideración de las cargas y patrones de tráfico contemporáneos puede llevar a subestimar las fuerzas y tensiones que los pavimentos deben soportar en condiciones cotidianas.

Así además se destaca que el diseño inadecuado del tráfico intenso influye en el pavimento, debido a que se utiliza el espesor inapropiado, la elección incorrecta de materiales y la falta de consideración de factores urbanos y de tráfico, puede exacerbar el deterioro de los pavimentos en entornos urbanos. Pavimentos con diseño deficiente son más susceptibles a grietas, deformaciones y desgaste acelerado. Estos problemas estructurales subyacentes hacen que las técnicas de rehabilitación tengan una efectividad limitada, ya que no abordan las causas fundamentales del deterioro. Resolver esta causa requiere un enfoque en el diseño basado en las condiciones específicas de la vía urbana y la carga de tráfico prevista, permitiendo pavimentos más resistentes y duraderos desde su construcción inicial. El tráfico constante y vehículos pesados que superan la capacidad de diseño del pavimento contribuyen al estrés mecánico y a la fatiga de los materiales. La falta de análisis de carga y tráfico actualizados al planificar la rehabilitación puede resultar en intervenciones inadecuadas que no resisten las demandas del tráfico real. Además, las cargas especiales, como vehículos de transporte pesado, pueden exacerbar el deterioro localizado. La presencia constante de tráfico y cargas en la vía urbana puede acelerar la formación de grietas y la degradación del pavimento rehabilitado, anulando los esfuerzos de mejora.

Otro de los problemas destacados es el mantenimiento inadecuado y técnicas de rehabilitación ineficientes son el resultado de incorporar los materiales inadecuados en una mala profundidad de pavimento necesaria para mantener la integridad estructural bajo las cargas y tensiones reales. Lo que provoca que los pavimentos rehabilitados carezcan de la robustez necesaria para soportar el estrés generado por el tráfico intenso, lo que podría llevar a la aparición temprana de grietas, deformaciones y otros signos de deterioro

(Hurtado Pardo, 2018). La implementación de técnicas de rehabilitación ineficientes puede requerir prolongados cierres de carriles o incluso cierres completos de vías urbanas (Meza Domínguez, 2018).

Incrementando el desperdicio de recursos y obstrucción vial a lo que (Rojas Vásquez, 2020) destaca que el desperdicio de recursos y presupuesto debido a la combinación de mantenimiento inadecuado y técnicas de rehabilitación ineficientes puede tener consecuencias a largo plazo en la planificación de proyectos futuros. Cuando los recursos se malgastan en intervenciones repetidas y soluciones que no brindan mejoras duraderas, el presupuesto disponible para proyectos de mantenimiento y rehabilitación se ve agotado. Esto podría limitar la capacidad de llevar a cabo proyectos más extensos o de mayor impacto en el futuro, lo que afectaría la calidad general de las vías urbanas y su capacidad para acomodar el crecimiento y las necesidades cambiantes de la comunidad. Estos cierres afectan el flujo de tráfico y pueden dar lugar a una mayor congestión vial en la zona, lo que resulta en retrasos y tiempos de viaje prolongados para los conductores. Además, los trastornos causados por la construcción y los cierres pueden afectar negativamente a las empresas locales y a la vida cotidiana de los residentes, generando incomodidades y descontento en la comunidad (Ecuador et al., 2019).

El comportamiento funcional de un pavimento de concreto se asocia a la capacidad funcional de brindar una superficie segura y cómoda al usuario. En este contexto la regularidad o rugosidad superficial es la característica predominante, entre otras características tenemos: Textura, Adecuada fricción superficial, Trazado de la carretera, incluyendo peralte y radio de curvatura, fisuras (Castro-Zabala & Gamboa-Gordillo, 2022). La degradación acelerada del pavimento se muestra por la regularidad o rugosidad superficial que es la característica más percibida por el usuario ya que afecta la calidad de la rodadura. Se relaciona con los efectos de las vibraciones, tales como niveles de deterioros, probabilidad de dañar a las mercancías transportadas, desgaste de los vehículos y consumo de energía. “*La comodidad depende principalmente del vehículo y del perfil longitudinal de la carretera*” (Meza Domínguez, 2018). Además, (Meza Domínguez, 2018) expone que la textura de un pavimento es un parámetro crítico en la comodidad y seguridad de los usuarios, además necesario para conservar carreteras, este parámetro influye directamente en la capacidad del pavimento para evacuar el agua de la interfase rueda pavimento y de forma indirecta en el valor del coeficiente de rozamiento

del pavimento, que tiene gran importancia para la adecuada adherencia entre la rueda y el pavimento.

Los principales factores que afectan la durabilidad y el comportamiento de las mezclas asfálticas son: la temperatura y el daño causado por la humedad. Una mezcla asfáltica debe ser diseñada y construida no solo para que resista las cargas impuestas por el tránsito sino también la acción del medio ambiente. Las condiciones climáticas y ambientales aceleran la aparición de fisuras es el primer aviso de una carretera con problemas. Es señal de tensiones, debidas a condiciones climáticas o de cargas de tráfico que han sobrepasado los límites de la resistencia del pavimento. Es la señal de que los costos de conservación van a aumentar sino se actúa con prontitud.

Así además En Ecuador se suma la falta de políticas viales para la conservación de carreteras por parte de los organismos seccionales y nacionales provoca problemas relacionados con el pésimo estado de las vías. La falta de una política vial de mantenimiento en la Avenida Machala por parte del Municipio es notable, ya que se puede observar que la vía ya presenta muchas fallas superficiales de manera apreciables la cual afecta directamente a los usuarios que transitan por esta avenida; debido a que el pavimento ha venido deteriorándose, su capa de rodadura ha disminuido la cual presenta baches superficiales por lo que esta genera incomodidad a los usuarios. Sin embargo, este problema también genera mayor tráfico en la zona, mayores 4 tiempos de viaje y principalmente malestares a la población que no pueden transportarse de manera eficaz, viéndose afectados en un incremento en los costos de operación vehicular, costos de administración y costos de mantenimiento vehicular de los usuarios.

1.3 Formulación del Problema

El deterioro prematuro y la efectividad limitada de los procesos de rehabilitación de pavimentos en vías urbanas es de suma importancia debido a que los pavimentos están expuestos a altos niveles de tráfico y condiciones climáticas irregulares, lo que reduce su vida útil y aumenta los costos de mantenimiento y reparación. En consecuencia, la ciudad de Machala es una zona afectada por estos problemas, además, el deterioro prematuro de los pavimentos puede tener un impacto negativo en la seguridad vial, la calidad de vida de los ciudadanos y el desarrollo económico de la ciudad. En las interrogantes surgidas en esta investigación, se enfatiza en primer lugar, la importancia de identificar los métodos de rehabilitación del pavimento que han sido aplicados en la ciudad de Machala,

mediante una investigación bibliográfica, con el fin de determinar cuáles han sido los más efectivos.

Por lo tanto, dado el deterioro a pesar de la aplicación de métodos de rehabilitación, se piensa analizar la estabilidad y flujo de una muestra de pavimento rehabilitado con el fin de identificar la causa, para poder sugerir un diseño experimental óptimo.

1.4 Delimitación del Objeto de Estudio

El objeto de estudio para este artículo se centra en la rehabilitación del pavimento en los procesos para su implementación de la misma en las vías urbanas, para ello se considera la deficiencia de estos procesos aplicado en la ciudad de Machala, por tal motivo se evaluará las calles Palmeras y el tramo de la Circunvalación Norte entre Ayacucho y Palmeras de la ciudad de Machala.

Todo esto se centrará en analizar, identificar y rehabilitación de las vías para aplicar técnicas de rehabilitación que prioricen la durabilidad y resistencia de los pavimentos y garantizar los beneficios a largo plazo para la comunidad y minimizar los costos de mantenimiento a futuro.

1.5 Justificación

En la justificación del estudio se basó en una revisión exhaustiva de referencias bibliográficas de artículos académicos y tesis de maestría, para ello, en nuestra investigación académica después de la revisión bibliográfica se analizara una propuesta de técnica de rehabilitación de pavimentos flexibles en la ciudad de Machala, que se relacione con la investigación bibliográfica, como puede ser la aplicación de la emulsión asfáltica, el asfalto espumado y fresado en frío, técnicas aplicadas en diversas partes del mundo. Además, este trabajo servirá de base a entidades públicas y privadas para seleccionar el uso y dosificación correcto de rehabilitación que se aplicará en una determinada zona según sus características.

La selección de un trabajo de mantenimiento permitirá obtener más tiempo en las vías urbanas rehabilitadas, y disminuir el tiempo que conlleva aplicar un trabajo de mantenimiento, ya que, al tener una base, se enfocaría directamente al problema y su solución. La rehabilitación de pavimentos es muy importante porque, sin un adecuado mantenimiento o falta de este, se pueden generar accidentes de tráfico por irregularidades

viales. Esto afecta negativamente la calidad de servicio vial que recibe el usuario, impidiendo que obtenga un viaje cómodo y seguro. Por eso, además, una correcta rehabilitación es importante, ya que ayuda a prolongar la vida útil del pavimento, lo que implica una menor frecuencia en los trabajos de mantenimiento, lo que permite optimizar costos y recursos a largo plazo.

1.6 Objetivos: General y Específicos.

Objeto general:

Proponer estrategias de rehabilitación de pavimento asfáltico mediante el análisis de los planes de mantenimiento periódico.

Objetivos específicos:

- Investigar los métodos de evaluación pavimentos asfálticos basados rendimiento, costo y medio ambiente mediante la revisión de referencias bibliográficas que permita que los usuarios tengan un servicio de vialidad eficiente en vías urbanas.
- Analizar las características del pavimento mediante los métodos de evaluación basados rendimiento, costo y medio ambiente para un tramo de vías urbanas de la Ciudad de Machala.
- Proponer estrategias de rehabilitación pavimento asfáltico a nivel de proyecto mediante los métodos de evaluación rendimiento, costo y medio ambiente que permita que los usuarios tengan un servicio de mantenimiento eficiente en vías urbanas.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1 Antecedentes Contextuales

En el desarrollo del estado del arte se destaca a (Vargas Guevara, 2022) que evidencia la importancia mediante una investigación desarrollada en la provincia del Oro en lo que respecta a procesos de rehabilitación implementados en la provincia se han demostrado algunas intervenciones o una serie de estudios que son fundamentales para proyectar los mantenimientos ya sea preventivos o correctivos lo cual está basado en los siguientes conceptos.

En cuanto al Método Índice de Condición del Pavimento (PCI), (Meza Domínguez, 2018) expresa que consiste en la determinación de la condición del pavimento a través de inspecciones visuales, identificando clase, severidad y cantidad de fallas encontradas. Con la información de campo obtenida durante la auscultación vial, y siguiendo la metodología indicada en el PCI, se calcula un índice que cuantifica el estado en que se encuentra el pavimento analizado, es decir, señala si el pavimento está fallando, si es malo, muy malo, regular, si es bueno, muy bueno o excelente (Meza Domínguez, 2018).

En acuerdo con (De et al., 2021) define que en el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) hay una escala única de valores para la medida de la regularidad superficial de los caminos, que pueden utilizar la mayoría de los aparatos de auscultación que existen. Este índice simula la respuesta de un vehículo al circular por una carretera a 80 km/h y por lo tanto permite considerar factores como seguridad, confort y costo de uso de los vehículos (De et al., 2021).

En el indicador PSI, (Rojas Vásquez, 2020) destaca que se deriva de la serviciabilidad el cual es un indicador que representa el nivel de comodidad y seguridad que un pavimento proporciona a sus usuarios. Este indicador tiene su génesis en valoraciones subjetivas y posteriormente se logró correlacionarlo con aspectos objetivos que pueden ser medidos en la superficie de un pavimento.

En el estudio de (Aquino et al., 2022) el municipio de Machala, según la rendición de cuentas descritas en el año 2023, expresa que se invirtió 1.823.643.82\$ en el mantenimiento vial de la ciudad según lo descrito en la rendición de cuentas de los Proyectos de dirección de obras públicas del Municipio de Machala.

Los autores (Llopis-Castelló et al., 2020) redactan que no existe o no se ha generado una guía estándar para clasificar y cuantificar los deterioros del pavimento con respecto a su tipo, gravedad y extensión, por otro lado, las estadísticas recientes revelan un aumento alarmante de vías deterioradas en áreas urbanas, intensificado por el aumento del tráfico vehicular por el crecimiento de población y la urbanización. Los mantenimientos constantes derivados de pavimentos en mal estado son considerables, incluyendo reparaciones de vehículos y la congestión del tráfico que resulta en pérdida de tiempo y productividad, junto con emisiones contaminantes adicionales.

Estos problemas impactan la vida diaria de las personas, generando incomodidades, riesgos de accidentes viales y afectando la calidad de vida urbana debido al ruido, congestión e inseguridad vial. Dentro de este marco, la evaluación de tráfico es esencial para comprender y anticipar las cargas y tipos de vehículos que transitan por la vía, así como para estimar la durabilidad y resistencia requeridas en el diseño del pavimento. A través de un adecuado estudio del tráfico se puede prolongar la vida útil del pavimento y establecer estrategias de mantenimiento adecuadas. Además, provee información vital para la selección de métodos de rehabilitación que se ajusten a las condiciones específicas de la vía, optimizando así la inversión y garantizando la seguridad y funcionalidad de la infraestructura urbana.

Los autores (Kamenchukov et al., 2023a) mencionan que previo a un trabajo de reparación se deben considerar varios aspectos como el estado de transporte y operativo del lugar de trabajo de reparación debido a que las cargas de los vehículos acelera el desgaste y la degradación del pavimento, también otro aspecto son los factores naturales y climáticos, en este último se considera la humedad, radiación solar y precipitaciones, ya que tienen un impacto directo en la resistencia de la carpeta asfáltica, además se deben considerar las temperaturas que pueden existir ya que están relacionadas con la adherencia que puede tener los materiales de la rehabilitación de pavimentos.

(Pegin et al., 2023) destaca que las infraestructuras viarias de las zonas urbanas son cruciales para el progreso social y económico de las comunidades y mejoran significativamente la calidad de vida. Las calles y carreteras urbanas, esenciales para la movilidad en todas las ciudades, soportan una gran demanda de tráfico, unida a retos como el impacto de las condiciones meteorológicas y el desgaste natural de los pavimentos. La rehabilitación y el mantenimiento de los firmes son fundamentales para

garantizar la seguridad de los usuarios y la eficiencia del sistema de transporte (Lu & Hajj, 2021). En varias investigaciones actuales de diferentes continentes como se evidencia en (Nair & McGhee, 2022) y (J. Zhang, 2022), se están buscando métodos y técnicas para agilizar y mejorar el proceso, al tiempo que se prolonga la vida útil de los pavimentos. En este contexto, uno de los fines investigativos fue crear un sistema de optimización que utilizara un tratamiento evolutivo multiobjetivo para planificar la rehabilitación de pavimentos de carreteras (Xin et al., 2022). Este sistema, diseñado para proporcionar apoyo a la toma de decisiones para proyectos de rehabilitación de pavimentos, demostró ser eficaz en la generación de soluciones óptimas de forma rápida y eficiente, ayudando así a la toma de decisiones. Este punto de vista mejora la flexibilidad de la planificación al tiempo que aumenta la eficiencia, lo que beneficia a los responsables de la toma de decisiones en este campo y demostrando así la eficacia del sistema (Xin et al., 2022).

Un estudio realizado por (Grobler et al., 2003) analizó la metodología utilizada en la rehabilitación y evaluación de pavimentos en carreteras de poco tráfico en el sur de África. La metodología consiste en evaluar visualmente detalladamente el estado de la carretera y el nivel de deterioro, tras lo cual se utilizan estos datos para identificar las zonas que justifican la realización de pruebas adicionales. Se realizan pruebas destructivas y no destructivas para anticipar el rendimiento de los diseños de rehabilitación e identificar las causas profundas de cualquier problema existente. Esto ha dado lugar a una variada gama de opciones de rehabilitación que van desde un rejuvenecimiento de la superficie con una emulsión debilitada hasta parches más grandes, resellado y, en algunos casos, regeneraciones importantes. El propósito de esta investigación fue idear soluciones rentables que optimicen los presupuestos restringidos y, al mismo tiempo, garanticen la durabilidad y la eficacia del rendimiento de la vía a lo largo del tiempo.

(P. Wang et al., 2017) exponen que del Laboratorio Nacional de Ingeniería de Equipos de Mantenimiento de Carreteras de la Universidad de Changan, en Xi'an (China), han ideado un método que utiliza el concepto de campo de energía wavelet (usado a fin de distinguir baches de otros deterioros superficiales como grietas o parches) para identificar y delinear baches en pavimentos de asfalto. El método consta de dos etapas, la creación inicial del campo de energía wavelet mediante técnicas de procesamiento de fenómenos y criterios geométricos a partir de la imagen del pavimento. Se utilizó un modelo matemático basado

en un campo aleatorio de Márkov para determinar con precisión el contorno de los baches. La implementación de este modelo se llevó a cabo mediante un programa informático en MATLAB y se sometió a entrenamiento y prueba sobre 120 imágenes de pavimento. Los resultados indican una precisión global del 86,7% en la detección de baches. En la mayoría de los casos, la región identificada se solapaba con la región del bache original en más del 85%, lo que representaba el 88,6% del total de imágenes de baches detectadas en el pavimento; en otras palabras, el método mostró una alta capacidad para detectar y delimitar baches en las imágenes de pavimentos, con un alto grado de precisión y superposición con los baches reales.

Por otra parte, en la Universidad del Sudeste, Nanjing, China realizaron un artículo creado por (Yu et al., 2015) en la cual proponen un método de detección de segregación de pavimentación asfáltica basado en características de textura de la imagen, para lograrlo crean un nuevo algoritmo de extracción de características de textura llamado patrón uniforme LBP-GLCM, que combina los algoritmos tradicionales LBP (patrón binario local) y GLCM (matriz de coocurrencia de nivel de grises), esto se valida utilizando el conjunto de datos de textura de Kylbery y se combina con SVM (Support Vector Machine) para la detección. El resultado dio consigo un diagnóstico del 94 % para la segregación de pavimentación asfáltica, superior a los algoritmos existentes, esto ayuda a mejorar la eficiencia en comparación con los métodos de detección de segregación de pavimentos asfálticos híbridos existentes.

Destacando la nueva técnica de rehabilitación se menciona al Instituto Municipal de Diseño de Ingeniería de Shanghái, China, tomaron un estudio de caso en Chengdu, para la aplicación de concreto asfáltico modificado de alta viscosidad-alto módulo en el pavimento de las estaciones de tránsito rápido de autobuses (BRT), para mejorar la resistencia al ahuellamiento del pavimento, los autores (Xiong et al., 2022) utilizaron dos mezclas asfálticas, una de grado de separación y otra de grado denso, para que sirvieran como superficie de pavimento de la estación. Las mezclas asfálticas fueron modificadas con aditivos de alta viscosidad y alto módulo para mejorar sus propiedades mecánicas. Los efectos de la modificación se validaron mediante una serie de pruebas de seguimiento de ruedas en Hamburgo. Los resultados de las pruebas mostraron que la mezcla clasificada por espacios tuvo un mejor desempeño en cuanto a resistencia al ahuellamiento en comparación con las muestras de gradación densa. La modificación con agentes de alta viscosidad inhibió significativamente la propagación del ahuellamiento.

Cuando la mezcla se modificó con agentes de alta viscosidad y de alto módulo, se pudo evitar el decaído en las condiciones de prueba más severas.

Por otra parte, los autores (Dhakal et al., 2016), en el Centro de Investigación del Transporte de Luisiana, Baton Rouge, Luisiana, Estados Unidos, realizaron una revisión bibliográfica sobre fisuras por reflexión y un estudio de las prácticas de las agencias de carreteras para identificar estrategias de mitigación de fisuras. Además, se realizó una encuesta a agencias de carreteras en los Estados Unidos y Canadá para recopilar información sobre las prácticas actuales en este tema. Los resultados mostraron que la vida útil promedio de una capa de mezcla asfáltica de 1.5 a 2.0 pulgadas contra la reflexión de grietas es corta, entre 1 y 6 años. Se encontró que los métodos más utilizados para retrasar la reflexión de grietas son el sellado de grietas, el recubrimiento y la superposición. También se identificaron otros métodos como el reciclaje en frío, el sellado de grietas con caucho y la capa de alivio de grietas de granulometría abierta.

Así mismo se destaca que los autores (Zhou et al., 2020), en el lugar de Texas, Estados Unidos, su objetivo era desarrollar un marco de control de calidad de producción relacionado con el rendimiento utilizando pruebas de agrietamiento y ahuellamiento ideales, dado que se identifican dos pruebas simples, prácticas y relacionadas con el rendimiento adecuadas para el control de calidad de producción: la prueba de agrietamiento ideal (IDEAL-CT) y la prueba de ahuellamiento por cizallamiento ideal (IDEAL-RT). Luego, se presentan las correlaciones entre el IDEAL-CT y -RT con las pruebas de agrietamiento y ahuellamiento comúnmente utilizadas por los departamentos de transporte estatales para examinar si estas dos pruebas simples aún pueden ser utilizadas para el control de calidad de producción, los resultados del estudio muestran que es factible y práctico utilizar el IDEAL-CT y -RT para el control de calidad de producción. Estas pruebas son más simples, rápidas y tienen mejores correlaciones con el rendimiento en campo. Además, se demostró que es factible y práctico usar el baño de agua de 30 min. /ventilador de 30 min. para acondicionar los especímenes IDEAL-CT y -RT inmediatamente después de ser extraídos del molde SGC (Sistemas de Gestión de la Calidad).

Así mismo en su investigación (AMORIM, 2018) realizó una revisión bibliográfica de investigaciones existentes sobre el uso de materiales de desecho en la producción de concreto asfáltico, el artículo examina el uso de varios materiales de desecho, como

neumáticos reciclados, vidrio y plástico, en la producción de concreto asfáltico, y evalúa los posibles beneficios y desventajas de utilizar estos materiales en el ámbito económico, haciéndolo más accesibles y menos costosos. Los resultados indican que el uso de materiales de desecho tiene beneficios potenciales, como reducción del impacto ambiental, mejora en la durabilidad y reducción de costos, también puede tener desventajas, como un menor rendimiento y una mayor variabilidad en las propiedades del concreto asfáltico.

El artículo desarrollado en el Departamento de Ingeniería civil, Miami, Estados Unidos, y La Universidad de Changan, China los autores (Gong et al., 2023) llevaron a cabo una revisión de los métodos de mantenimiento tradicionales y sus problemas para las grietas y baches en los pavimentos de asfalto, así como el estado actual de la impresión 3D con respecto a la técnica y los materiales. Con el objetivo de mejorar las técnicas y métodos de conservación de las vías para luego, se proponen las ventajas de la tecnología de impresión 3D aplicada al mantenimiento de grietas y baches ligeros en el pavimento de asfalto. Este artículo tiene como resultado que la impresión 3D de asfalto puede mejorar la eficiencia, la calidad y la economía de la ingeniería de mantenimiento de angustias en el pavimento, mejorando el nivel de automatización y reducción de la dependencia del trabajo manual en el mantenimiento del pavimento.

Por otra parte, en China se trató de evaluar la uniformidad de la distribución de agregados en el pavimento asfáltico, tanto en la superficie como en la estructura interna, todo esto redactado por los autores (K. Zhang et al., 2017), por ello desarrolló el PSIAD para recoger la imagen de textura en la superficie del pavimento asfáltico. Luego, se adquirieron las imágenes seccionales de las muestras de núcleo del pavimento mediante equipos de tomografía computarizada industrial (ICT). Finalmente, se evaluó la uniformidad de la distribución de los agregados del pavimento asfáltico desde la superficie del pavimento y la estructura interna utilizando la tecnología de procesamiento de imágenes MATLAB.

En los resultados se estableció un criterio de evaluación de la uniformidad de la distribución de agregados en la superficie del pavimento basado en el valor K. Se demostró que el índice de ancho de macro textura K puede sustituir a la profundidad de textura para evaluar la uniformidad de la distribución de agregados en la superficie del pavimento asfáltico. Los índices de evaluación de la distribución de agregados gruesos

DH, DV1 y DV2 pueden reflejar la uniformidad de la distribución de agregados dentro del pavimento asfáltico.

Cabe resaltar que los autores (J. Ouyang et al., 2021) buscaron cuantificar el proceso de método de rehabilitación por emulsión con el tiempo en relación con la fracción de volumen inicial de gotas de asfalto, el espesor de la capa y la temperatura de curado, para esto se tuvo colaboración de la Universidad Tecnológica de Dalian, China, la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de Mis, Serbia y la Escuela de Ciencias e Ingeniería del Transporte, Instituto de Tecnología de Harbin, China, cuyo método usado fue usar una emulsión de asfalto de fraguado lento producida en el laboratorio. Se recogieron imágenes de la textura en la superficie del pavimento asfáltico y se analizaron utilizando la tecnología de procesamiento de imágenes MATLAB. Se propusieron un conjunto de parámetros clave que definen la ley de secado como base para juzgar la calidad de las emulsiones de asfalto desde el aspecto del secado, como resultado se estableció un criterio de evaluación de la uniformidad de la distribución de agregados en la superficie del pavimento, se demostró que el índice de ancho de macro textura K puede sustituir a la profundidad de textura para evaluar la uniformidad de la distribución de agregados en la superficie del pavimento asfáltico.

Ahora bien, el artículo (Shah et al., 2013) buscaron identificar marcos de prueba adecuados para mediciones de campo in situ de las tasas de absorción de emulsión de pavimento y las tasas de aplicación de emulsión aplicada, cuyo método fue la identificación de secciones de carreteras urbanas, la recopilación de datos de angustia del pavimento, el desarrollo de un índice de deterioro individual y finalmente el desarrollo de un Índice General de Condición del Pavimento (OPCI) combinado para la red. Se desarrollan individualmente cuatro índices de rendimiento: Índice de deterioro de la Condición del Pavimento (PCI Distress), Índice de Rugosidad de la Condición del Pavimento (PCI Roughness), Índice de Capacidad Estructural de la Condición del Pavimento (PCI Structure) e Índice de Resistencia al Deslizamiento de la Condición del Pavimento (PCI Skid). Luego, todos estos índices se combinan para formar un OPCI, dando importancia a cada indicador, el estudio concluye que el OPCI desarrollado es un buen indicativo de la condición y el rendimiento del pavimento. El OPCI desarrollado se utilizó para seleccionar la estrategia de mantenimiento para la sección del pavimento.

El análisis precedente del autor (Mubaraki, 2016) de la Universidad de Jazan, Arabia Saudita cuyo fin fue investigar la relación entre el Índice Internacional de Rugosidad (IRI) y los daños al pavimento, específicamente grietas, surcos y desmoronamientos, en la carretera que conecta Jeddah con Jazan. Recopilaron datos sobre el estado del pavimento utilizando el vehículo Road Surface Tester (RST). La MOT (Ministerio de Transporte) midió la rugosidad (ROU), el surco (RUT), el agrietamiento (CRA) y el desmoronamiento (RAV) para calcular el Índice Internacional de Rugosidad (IRI). Se investigaron las relaciones entre el IRI y los daños al pavimento, incluidos agrietamiento, surcos y desmoronamiento. Se desarrollaron tres relaciones: CRA versus IRI, RUT versus IRI y RAV versus IRI. Se analizaron los modelos relacionados con los problemas estudiados y el modelo que relaciona el IRI con la calidad de marcha. El análisis mostró una relación significativa entre IRI y agrietamiento, así como entre IRI y desmoronamiento con un nivel de confianza del 95%. Sin embargo, el celo no mostró una relación significativa con los valores del IRI. Se concluyó que el agrietamiento y el desmoronamiento podrían describirse como problemas de calidad de conducción, mientras que los surcos podrían describirse como problemas de calidad no relacionados con la conducción. Los resultados indicaron que, aunque existen relaciones estadísticamente significativas entre el IRI y las grietas y ahuellamientos, no son tan fuertes como para que el IRI se use como una medida sustituta para la condición del pavimento.

Por su parte los autores (Cai et al., 2017) se concentraron en evaluar las propiedades de servicio integral de materiales compuestos de lechada con pasta de cemento de alto desempeño para pavimentos semiflexibles cuya metodología implementada era inyectar pastas de cemento de alto desempeño (H2 y H3) y pasta de cemento puro (S) en mezclas asfálticas de matriz (hormigón asfáltico poroso 13, PAC-13) para evaluar sus propiedades de servicio integral como semi- Materiales de pavimento flexible. Las características mecánicas y el rendimiento del pavimento de estos materiales de lechada compuestos se miden y se comparan con los del hormigón asfáltico tradicional de densidad densa. Se evalúan la resistencia a la compresión uniaxial y el módulo resiliente a la compresión de los materiales compuestos de lechada, junto con la contribución de la mezcla asfáltica de la matriz y el material de lechada al rendimiento general. Los resultados de las pruebas muestran que los materiales compuestos de lechada tienen características mecánicas similares. La resistencia a la compresión uniaxial de los materiales compuestos de lechada

es mayor que la de la mezcla asfáltica, mientras que el módulo resiliente a la compresión es similar al de la mezcla asfáltica.

Por consiguiente, (Y. Ouyang & Madanat, 2004) Trataron de desarrollar un modelo de programación matemática para la planificación óptima de la rehabilitación de pavimentos de carreteras que minimice el costo del ciclo de vida para un horizonte finito. El modelo incorpora un modelo de desempeño del pavimento no lineal y variables de decisión enteras en una formulación de programación no lineal entera mixta (MINLP). Para este modelo se proponen dos enfoques de solución, un algoritmo de ramificación y limitación y una heurística codiciosa. Los autores muestran que los resultados heurísticos proporcionan una buena aproximación al óptimo exacto, pero con costes computacionales mucho más bajos. Los autores demuestran que sus enfoques de modelo y solución pueden minimizar efectivamente el costo del ciclo de vida para la planificación de la rehabilitación de pavimentos. El enfoque heurístico proporciona una buena aproximación a la solución óptima exacta, al tiempo que reduce significativamente los costos computacionales

Ahora bien, hubo una investigación sobre la efectividad de la preservación del pavimento para prevenir diferentes deterioros del pavimento e identificar los factores que afectan significativamente la efectividad de la preservación. Descrita así por los autores (H. Wang & Wang, 2013a) se seleccionó veintiún sitios específicos del experimento SPS-3, cada uno con un solo tratamiento de preservación aplicado. Los cuatro tratamientos de conservación considerados fueron recubrimiento fino, sellado de virutas, sellado de grietas y sellado de lechada. El estudio analizó la efectividad de la preservación en la prevención de deterioros del pavimento, como grietas por fatiga, grietas longitudinales, grietas transversales y ahuellamientos. Se utilizó el concepto de índice de angustia para cuantificar la eficacia de la preservación. Se realizó un análisis estadístico para identificar los factores que afectan significativamente la efectividad de la preservación, incluido el tipo de tratamiento y el deterioro del pavimento objetivo, también consideró cinco factores de diseño: tráfico, precipitación, temperatura, condición del pavimento existente y tipo de subrasante. El estudio encontró que la efectividad de la preservación variaba según el tipo de tratamiento y el deterioro del pavimento objetivo. Entre los cinco factores de diseño, la precipitación mostró la influencia más notable en la eficacia de la conservación. Los resultados del análisis del estudio pueden ayudar a las agencias de

carreteras a seleccionar mejor los tratamientos de conservación en función de las condiciones locales

Por otra parte, en la ciudad de Machala, Ecuador, el autor (Tene Narváez, 2022) en su tesis de maestría se enfoca en desarrollar una metodología que tiene como objetivo la evaluación de pavimentos flexibles de vías rurales, para lo cual se utilizó el Índice de Condición del Pavimento (PCI), que permite determinar un criterio más objetivo en base de la inspección visual, identificando, la clase del pavimento, la severidad y cuantía de los daños, además otro ensayo aplicado en esta metodología fue el deflectómetro de impacto (Falling weight Deflectometer), cuyo enfoque de análisis son vías de tráfico medio y alto, como carreteras secundarias y primarias, permitiendo determinar el módulo dinámico y resiliente, por lo cual analiza la condición estructural de los pavimentos en base a las deflexiones producidas bajo cargas dinámicas que simulan el efecto del tránsito. Dichos procesos tuvieron como resultados del primer método, TPDA (Tráfico Promedio Diario Anual), se caracterizó el tipo de tráfico existente en la vía, también con el deflectómetro se obtuvo los datos del CBR y deflexiones, por último, con la evaluación superficial PCI se determinó el estado de la vía.

Además, el artículo descrito por los autores (Guzmán & Mogrovejo, 2017) trataron de evaluar el Índice de Condición del Pavimento (PCI) y el Índice de Condición de Pavimentos (ICP) para la red vial en Girón, Ecuador, mediante un proceso semiautomatizado de recolección y análisis de datos. El proceso consistió en recopilar datos sobre la red vial y analizarla mediante un enfoque jerárquico, de optimización y de priorización, de este análisis se derivaron los valores de PCI e ICP para cada pavimento de la red, permitió determinar el nivel de servicio del pavimento y la identificación del tipo de tratamiento adecuado para cada tramo de pavimento. El costo de tratamiento para cada tramo de pavimento de la red también se determinó con base en el nivel de servicio. Se evaluó la salud general de la red de pavimentos y se utilizaron los resultados para administrar los activos de manera más sustentable, optimizar recursos y priorizar tratamientos.

2.2 Antecedentes Conceptuales

Ha medida que han avanzado las civilizaciones de igual manera surgen los problemas, las vías de comunicación, para que sea eficiente necesita estar en buen estado, por ello que para los autores (Cruz-Muñoz & Cruz-Muñoz, 2018) se refieren a la infraestructura vial

urbana como una parte integral de los procesos de expansión de las ciudades modernas. A nivel internacional, las carreteras son activos de transporte dominantes y millones de viajeros usan a diario una valiosa infraestructura que abarcan millones de kilómetros en todo el mundo, el envejecimiento requiere un mayor mantenimiento de las carreteras, el tráfico sigue creciendo e impulsa una mayor necesidad de mantenimiento.

Por lo tanto, los autores (H. Wang & Wang, 2013b) mencionan que cada red de pavimento cuenta con un ramal la cual se considera como una sección en la red de pavimentos y también se considera como una estructura única y posee un papel específico como en carreteras individuales, estacionamientos, además una sección se considera como parte de una sucursal, ya que posee propiedades regulares en toda la longitud o área para cada sección, en cualquier red de pavimento la unidad de muestra es la unidad más pequeña de esta red de carreteras.

Teniendo en cuenta este criterio, se debe tomar en cuenta lo que dicen los autores (Tennøy & Hagen, 2021) en los que menciona que los crecientes volúmenes de tráfico urbano causan problemas relacionados con la congestión, la seguridad del tráfico, la contaminación local, las emisiones de gases de efecto invernadero, la salud pública y la habitabilidad urbana, entre otras cosas, en ciudades de todo el mundo. Las autoridades de la ciudad luchan por reducir la demanda de transporte y el crecimiento del tráfico y, al mismo tiempo, garantizar una movilidad eficiente para pasajeros y mercancías.

Por eso se debe entender la relación entre el tráfico y el pavimento en la carretera, los autores (Khasawneh & Alsheyab, 2020) mencionan que la fricción del pavimento es una fuerza resistiva generada por la interacción entre el neumático del vehículo y la superficie del pavimento. Esta interacción tiene un papel importante en la seguridad vial ya que permite que el vehículo acelere, maniobre, desacelere y finalmente se detenga de manera segura.

Parte fundamental del desempeño de una carretera es una buena mezcla asfáltica, es por eso por lo que para los autores (Montoya & Haddock, 2019) mencionan como es las producciones de las mezclas asfálticas las cuales se producen en una instalación de mezcla conocida como planta de asfalto donde los agregados y el aglutinante asfáltico se calientan, se mezclan según proporciones predeterminadas y se cargan en camiones para su transporte al sitio de construcción. (Zhou et al., 2020) expresan que las mezclas asfálticas se están volviendo cada vez más complejas y, dados los componentes siempre

cambiantes de las mezclas asfálticas, tanto el diseño de mezcla equilibrada (BMD) como el control de calidad de la producción y la aceptación de la calidad (qc/qa) son fundamentales para que una mezcla tenga un buen rendimiento en el campo.

Además, los autores (Raposeiras et al., 2016) aclaran que los deterioros en las carreteras aparecen con frecuencia en los pavimentos flexibles debido al deslizamiento de sus capas, especialmente en las zonas de aceleración o desaceleraciones, cruces o curvas. En estas áreas, el nivel de tensión crítico se localiza en la interfaz de las capas superiores (base/aglutinante y capas superficiales), por lo que el nivel de unión entre ellas afecta directamente el desempeño y la capacidad de servicio del pavimento. El criterio de los autores (Aboutalebi Esfahani & Khoddami, 2022a) resaltan que una mayor penetración de la capa de imprimación aumenta el espesor de estabilización de la capa sub asfáltica y dificulta la penetración del agua.

Cabe resaltar las investigaciones propuestas por los autores (Tanikawa-Obregón et al., 2021) y (Moreira-Villavicencio & Moreira-Villavicencio, 2022) intentan explicar que el deterioro de los pavimentos asfálticos se deben a un elevado incremento de las cargas circulantes y de su frecuencia con respecto a las previstas en el diseño original, unas deficiencias durante el proceso constructivo en la calidad real de los materiales, en los espesores o en las operaciones de construcción, otro aspecto es los diseños deficientes, factores climáticos regionales desfavorables, un eficiente mantenimiento por escasos recursos económicos disponibles o inclusive problemas de aprovisionamiento en algunas zonas del país por agotamiento de materiales adecuados.

Por otra parte, (Rodríguez, 2014) menciona que las fallas más comunes en los pavimentos flexibles son Fallas por insuficiencia estructural que surge cuando las combinaciones de la resistencia al esfuerzo cortante de cada capa y sus espesores no son suficientes para establecer un mecanismo de resistencia adecuado que soporte las cargas a las que serán sometidos, las fallas por defectos constructivos la cual trata de pavimentos quizá bien proporcionados y formados por materiales suficientemente resistentes, pero en cuya construcción se han producido errores o defectos que llevan al fallo del pavimento y las Fallas por fatiga, que originalmente estuvieron quizá en condiciones apropiadas, pero que por la continuada repetición de las cargas del tránsito sufrieron efectos de fatiga, degradación estructural y, en general, pérdida de resistencia y deformación acumulada

Para determinar el deterioro en los pavimentos, se debe analizar aspectos como lo menciona la (American Association of State Highway and Transportation Officials., 1993), una de estas es el método del PCI, donde expresa que es una medida de la condición del pavimento que depende de la extensión de la rugosidad superficial y manifestaciones de daños como agrietamientos, ahuellamientos y desniveles sobre la sección de diseño, el cálculo del PCI se fundamenta en los resultados de un inventario visual del pavimento en el que se establecen clase, cantidad de cada falla presente. Dada la gran cantidad de combinaciones posibles, el método introduce un factor de ponderación, llamado “valor deducido”, para indicar en qué grado afecta a la condición del pavimento cada combinación de deterioro, nivel de severidad y densidad (cantidad).

Por otra parte, el Instituto Mexicano de Transporte, menciona el Índice Internacional de Rugosidad, aplicado a la red de carretera de México, realizado por los autores (López Pabón & Pavimentos, 2017), los cuales definen al Índice Internacional de Rugosidad (IRI) como una solución para evaluar las deformaciones superficiales de una carretera, debido que es un estándar estadístico de la rugosidad y sirve como parámetro de referencia en la medición de la calidad de rodadura de un camino, está basado en la acumulación de desplazamientos en valor absoluto, de la masa superior con respecto a la masa inferior (en milímetros, metros o pulgadas) de un modelo de vehículo, dividido entre la distancia recorrida sobre un camino (en m, km. o millas) que se produce por los movimientos al vehículo.

Tras el análisis del estado vial de las carreteras, surgen procesos de rehabilitación, por eso en Colombia crearon una propuesta de guía de rehabilitación de pavimentos flexibles mediante reciclaje, donde destaca 2 métodos, como la aplicación de la emulsión asfáltica, es un fluido procesado en plantas asfálticas, el cual constan de Bitumen Emulsificador en agua mediante el uso de agentes que mantienen en suspensión el asfalto, el asfalto espumado se produce mediante la inyección a alta presión de agua y en algunos casos aire en bitumen caliente ya que la espuma se produce al alterar temporalmente las propiedades físicas del bitumen, cuando el agua en contacto con éste genera vapor el cual es el tapado por pequeñas burbujas de asfalto, para que suceda esto se necesita de una cámara de expansión al interior de las máquinas recicladoras cabe recalcar que este proceso se debe desarrollar in situ y los materiales deben ser agregados de forma inmediata para que no se disipe la espuma.

(Cruz & Henry, 2023) evalúa un tramo esencial para esta investigación en el cuál efectúa una evaluación PCI en la ciudad y además define que el método de rehabilitación como “Fresado de carpeta Asfáltica existente” consiste en la obtención de un nuevo perfil longitudinal y transversal de un pavimento asfáltico existente, mediante su fresado en frío que consiste en la extracción rápida de la superficie de asfalto y hormigón.

Debido a todos estos aspectos que se ven en la actualidad los autores (Kamenchukov et al., 2023b), menciona que la mayor conciencia sobre la sostenibilidad y la necesidad de reducir los costos de construcción en la industria del pavimento asfáltico ha fomentado el uso de materiales reciclados, como el pavimento asfáltico recuperado (RAP) y las tejas asfálticas recuperadas (RAS). Debido a la abundancia de RAP y RAS en áreas urbanas, los propietarios y contratistas de instalaciones desean utilizar estos recursos hasta los límites prácticos de los equipos actuales.

2.3 Antecedentes Referenciales

Hay dos niveles que cualquier sistema de gestión de pavimentos puede implementar que son: nivel de proyecto además de nivel de red. El primer nivel se centra en una región en particular que decidió aplicar procedimientos de rehabilitación, mientras que el nivel de red se concentra en utilizar los fondos disponibles de la mejor manera efectiva para mantener la red general (Aboutalebi Esfahani & Khoddami, 2022b).

Cada sistema de mantenimiento de pavimentos busca aumentar la eficiencia de la reparación y el tratamiento de los pavimentos usando los fondos existentes en sus máximos beneficios. Generalmente, cada sistema de gestión de mantenimiento de pavimentos incluye el inventario de la red vial, la evaluación de la situación del pavimento, para la previsión del rendimiento, método de planificación (Guzmán & Mogrovejo, 2017).

(Pinatt et al., 2020) destacan que cada red consiste principalmente en ramas que podrían dividirse en partes más pequeñas que se conocen como secciones, se centra en la evaluación del Índice de Condición del Pavimento (PCI) y utiliza tanto evaluaciones objetivas como subjetivas denominándolo como un método rápido y sencillo. El uso de herramientas SIG, específicamente el software ArcGIS, ayudo a visualizar y comprender mejor las condiciones del pavimento en diferentes secciones.

Además, al elegir la mejor técnica para la rehabilitación del pavimento, las secciones se consideran como la parte más pequeña de este sistema de gestión. Este proceso de división dependerá de múltiples factores que son: la estructura del pavimento, el volumen de tráfico, la forma del pavimento existente y la historia de la construcción, por tal motivo (Hafezzadeh et al., 2021) proporciona una comparación crítica entre varios aspectos relacionados con el uso de materiales de parcheo de mezcla en frío (CMPM) y asfalto de mezcla en caliente (HMA) en la reparación de baches, en la que detalla las técnicas de reparación, la productividad y los costos de los CMPM y HMA, por lo que se investigó el impacto de factores cruciales como la trabajabilidad, la unión, la susceptibilidad al agua, la estabilidad y la capacidad de almacenamiento en el rendimiento de los CMPM.

(Malladi & Castorena, 2019) en la evaluación del estado del pavimento destacan que el objetivo principal de este procedimiento generalmente es realizar la situación real o el rendimiento del pavimento y principalmente esta evaluación se divide en una evaluación estructural y funcional, por eso identifica y describe los marcos de prueba utilizados para mediciones de campo de tasas de aplicación de emulsión (EAR) en aplicaciones de sellado de virutas y revestimientos adhesivos, los métodos implican medir la tasa de aplicación de aglutinante residual y combinarla con el contenido de agua de la emulsión para determinar el EAR. La evaluación estructural se considera como una evaluación cuantitativa de la eficacia del pavimento estructural para el tratamiento, mientras que la evaluación funcional es un equipo cualitativo que maneja con todo el rendimiento y el acto de capacidad de servicio de un pavimento que depende de la medición que se recoge en el campo de acuerdo con varias propiedades tales como; rugosidad, seguridad, angustias de superficie (Ecuador et al., 2020). El índice de calidad mencionado anteriormente se utiliza para evaluar estas propiedades. Por ejemplo; El índice de confort de conducción (RCI) se utiliza para medir la rugosidad de la superficie. Otra medida utilizada para representar el nivel de confort de conducción es el Índice Internacional de Rugosidad (IRI).

Según (Dhakal et al., 2016) explica, tres métodos de mantenimiento de rehabilitación de pavimentos en la que dieron como resultado: la capa intermedia de sellado de viruta mostró un rendimiento aceptable, mientras que la efectividad del sistema compuesto fue mixta y su rentabilidad fue cuestionable, por otro lado las mezclas asfálticas cauchutadas tuvieron resultados abrumadoramente positivos en Arizona, pero otros estados no informaron de un éxito similar, posiblemente debido a los diferentes climas, además el

reciclaje en frío in situ tuvo resultados abrumadoramente positivos en numerosos estados para la rehabilitación de pavimentos asfálticos.

Por otro lado, (Obaidat & Al-kheder, 2006) detalla la creación de mapas digitales de peligro vinculados a ubicaciones, información útil de la superficie y bases de datos sobre el estado del pavimento, también la distribución de las actividades de mantenimiento en los tramos de la red vial en función del presupuesto disponible y los valores de los índices de prioridad. El índice principal que representa el deterioro de la superficie es el índice de condición del pavimento (PCI), donde este índice da una indicación del tipo y cómo se propagará el deterioro; este proceso comenzó con la distinción del tipo de deterioros que existían en el pavimento y sus gravedades.

En general, hay tres descripciones para los niveles de gravedad que son (Bajo, Medio, Alto), por lo tanto menciona una nueva tecnología para dar un mantenimiento adecuado a las vías, como es la encapsulación para preparar una cápsula aceleradora combinada con una solución base de resina epóxica para obtener un nuevo tipo de pegamento lo cual tuvo el potencial de mejorar la eficiencia y la calidad de la reparación de grietas en el pavimento asfáltico, esto dio como resultado que el material exhibió una alta tasa de recuperación de resiliencia, resistiendo eficazmente la intrusión de cuerpos extraños y en condiciones de alta temperatura (Y. Zhao et al., 2021).

En los Modelos para la previsión del rendimiento según los autores (Shah et al., 2013) estos modelos se suelen utilizar en cada proyecto y nivel de red para realizar la mejor técnica de mantenimiento según la condición del pavimento. A nivel de red, estos modelos se utilizan para distinguir la condición del pavimento, planificar los fondos y la delimitación de las obras requeridas, y a nivel de proyecto estos modelos se utilizan para predecir el nivel probable de tráfico vial, además de predecir la situación climática común con el fin de seleccionar el proceso de reparación más eficaz.

Otra razón para utilizar estos modelos a nivel de proyecto es comparar entre las opciones disponibles para los procesos de mantenimiento y reparación mediante la creación de un examen de costos para el ciclo de vida del pavimento. Con el fin de desarrollar nuevos modelos para el deterioro del pavimento, se utilizaron varias estrategias, tales como; indicación de líneas rectas, reducción, técnicas markovianas y mecánico-experimentales, entre otros (Li et al., 2021).

(Y. Ouyang & Madanat, 2004) propone una técnica de modelado experta que se utiliza para los casos en que hay escasez de datos disponibles, lo que a su vez limita la capacidad de generar un modelo adecuado de deterioro.

Estos métodos de planificación pueden ayudar a las autoridades administrativas competentes a seleccionar la técnica de tratamiento más adecuada, determinando la situación actual y esperada del pavimento (Malladi & Castorena, 2019). Varios programas podrían ser diseñados por ingenieros de pavimentos tales como; Programa de planificación de las técnicas de mantenimiento recientes y entrantes para preservar la mejora de la situación del pavimento (X. Zhao et al., 2021).

Según la rugosidad y situación estructural del pavimento, las decisiones de tratamiento y priorización de procesos de mantenimiento dependen de factores como el tipo de angustia, en qué medida existieron estas angustias y su gravedad, todo esto afectará los criterios de selección para la mejor técnica de reparación del pavimento. Además, la familiaridad de la existencia de angustia controla la selección de la técnica de mantenimiento adecuada. Por ejemplo, cada tipo de angustia requerirá un procedimiento de tratamiento específico. Según pavimento seleccionado (Hurtado Pardo, 2018).

En general, (X. Wang et al., 2023) expresan que para mejorar el rendimiento del parcheo en frío, se utilizan resina epoxi a base de agua (WER), copolímero de poliestireno butadieno (SBR) y copolímero de bloque de estireno-butadieno estireno (SBS) Los resultados de la investigación muestran que, los materiales de pavimento de poliuretano pueden otorgar ciertas funcionalidades, como permeabilidad al agua y reducción de ruido. Cada técnica de rehabilitación tiene un efecto directo sobre la vida del ciclo del pavimento (J. Ouyang et al., 2021). Los procesos de mantenimiento y reparación deben organizarse por su necesidad, valor o en función de los costes y ventajas derivados de la implantación de estos procesos.

Principalmente hay seis métodos utilizados para priorizar los procedimientos de mantenimiento de la mejor manera, que son recubrimiento en frío, Instalación de un nuevo pavimento, restauración del revestimiento desgastado, tratamiento superficial del revestimiento, remarcación de revestimiento mediante inyección a chorro, relleno de grietas como lo específica (Kamenchukov et al., 2023b). Para realizar dichos métodos se debe verificar: el estado de transporte y operativo del lugar de trabajo de reparación,

factores naturales y climáticos, cumplir estrictamente todos los requisitos para el control de calidad del trabajo, realizar diagnósticos del tramo reparado.

El método matricial el cual conlleva a depender de diversos factores como la situación y tráfico, en más detalle la prioridad siempre dada al peor estado de las aceras y a las carreteras con mucho volumen de tráfico, también el Método de índice de condición la cual depende de resultados relativos que van desde cero, que se considera como el peor de los casos, hasta 100, que es el mejor estado del pavimento. Para generar una lista más reciente de proyectos, se puede hacer una combinación entre la puntuación del estado y otros factores, como el volumen de tráfico, es por eso que el proceso depende de la relación costo-beneficio, por lo general, las secciones que poseen una relación más alta de costo-beneficio siempre poseen la prioridad más alta. Esta proporción puede ofrecer altas prioridades para comenzar con un estado de pavimento deficiente que inicializar con pavimentos con los peores casos. Además, el método de coste-efectividad considera el mismo que el procedimiento de relación coste-beneficio, pero la función principal de este procedimiento es aumentar el acto de segmento con referencia al coste.

En algunos casos, el PCI podría considerarse como un indicador de prioridad de mantenimiento, donde al obtener un valor más alto de PCI entonces el estado de la carretera será mejor y eso provoca un retraso de su prioridad de mantenimiento (Lee et al., 2017). El orden de rango prioritario presenta un orden de estrategias de mantenimiento de pavimentos para diferentes segmentos de carreteras relacionadas con recursos restringidos. El modelo de clasificación de prioridades determina la disponibilidad presupuestaria conectándola con la necesidad general de mejora de costos (K. Zhang et al., 2017).

Generalmente, la medición del estado de un pavimento existente requería de la aplicación de procesos destructivos en la vía, lo que alteraba el equilibrio del sistema pavimento-subrasante (Kuleshov, 2018). Sin embargo, a través de nuevas tecnologías o también llamados instrumentos de última generación que aplican técnicas para ensayos de alto rendimiento, conocidas como pruebas no destructivas, se ha mejorado la auscultación de las vías (Kuleshov, 2018). De entre estas técnicas se destaca la utilización del deflectómetro de impacto (Falling Weight Deflectometer, FWD), cuya función es la de analizar la condición estructural de los pavimentos mediante la interpretación de las deflexiones producidas bajo cargas dinámicas que simulan el efecto del tránsito. Por este

motivo, agencias dedicadas a la investigación, como la (American Association of State Highway and Transportation Officials., 1993) y Washington State Department of Transportation (*Roadside safety* | *WSDOT*, s/f), han establecido modelos matemáticos para correlacionar dichas tecnologías a través de parámetros o indicadores de estado del pavimento. Estos nuevos métodos proporcionar soluciones de uso directo que permitan establecer un adecuado mantenimiento, rehabilitación o reconstrucción de la estructura (Cong et al., 2019).

En la utilización de un método dinámico de elementos infinitos para evaluar la respuesta dinámica del pavimento flexible bajo carga FWD. El deflector de peso descendente (FWD) se ha utilizado con éxito en todo el mundo para caracterizar las condiciones de las estructuras del pavimento, además estimó los factores de resistencia del material de la subbase bajo cargas de camiones con sobrepeso. Los resultados indicaron que la adición de escoria de acero mejoró la resistencia a factores de falla como deformaciones verticales, tensiones verticales y radiales y deformaciones verticales (Behiry, 2013). Sugirieron que la técnica FWD se puede aplicar para evaluar las condiciones del pavimento flexible bajo cargas dinámicas reales. (Amândio et al., 2021) expresaron que el FWD debe aplicarse ampliamente a la evaluación del pavimento porque es una técnica de prueba no destructiva con precisión, confiabilidad, conveniencia y seguridad adecuadas. Aunque la FWD se ha utilizado durante muchas décadas, diferentes investigadores habían propuesto diferentes metodologías de cálculo retrospectivo que producirían resultados significativamente diferentes.

(Yu et al., 2015) realizaron un modelo de optimización multiobjetivo que integra el rendimiento, el costo y los factores ambientales del pavimento para optimizar los planes de mantenimiento del pavimento asfáltico a nivel de proyecto, el modelo comprende cuatro submodelos: evaluación de la eficacia del mantenimiento para diferentes estrategias, cálculo de costos de las actividades de mantenimiento, compilación de inventarios del ciclo de vida mediante análisis del ciclo de vida (LCA) e integración y evaluación de los submodelos mediante un algoritmo de optimización. El modelo de evaluación del ciclo de vida (LCA) utilizado en este estudio se modificó a partir de uno desarrollado previamente e incluye módulos para la producción de materiales, transporte, construcción en el sitio, uso y final de vida.

En un enfoque analítico simple al incluir la solución clásica de una ecuación de calor unidimensional en un semi espacio homogéneo y un esquema numérico de cuadratura gaussiana para predecir rápidamente el perfil de temperatura transitoria de un pavimento flexible de múltiples capas (Yu et al., 2015). Demostró que el enfoque analítico puede ayudar a los ingenieros de campo a evaluar rápidamente el perfil de temperatura de un pavimento flexible de varias capas de acuerdo con las temperaturas de la superficie del pavimento medidas durante las pruebas de FWD.

La técnica de evaluación FWD se aplica para investigar los efectos de la inyección de seri flujo en el pavimento. la inyección de seri flux podría reducir efectivamente la flexión de la superficie del pavimento, aumentar el módulo de la capa base o subbase y disminuir la permeabilidad de la superficie del pavimento. La eficiencia del FWD en la simulación de la carga de tráfico en pavimento reciclado (Chao et al., 2017). (*Universidad Antonio Nariño: Elaboración De Aditivos Para El Pavimento Asfaltico A Partir Del Plástico, Caucho De Neumático, Y Asfalto Recuperado Como, Una Solución Sostenible En La Pavimentación De Vías.*, s/f) llevaron a cabo un experimento in situ para medir y registrar los desarrollos de deformación tanto en la carga de FWD como en la carga de camiones. Encontraron que las deformaciones de tracción máximas obtenidas de la carga FWD estaban muy cerca de los valores generados por la carga de tráfico.

(Diaz, 2016) evaluó el comportamiento de ahuellamiento de materiales de mezcla asfáltica en frío (CMA) sin curar a diferentes niveles de compactación en el laboratorio utilizando una prueba de fluencia cíclica modificada (MCCT) y un penetrómetro de cono ligero (LCP) para evaluar el potencial de estabilidad, por lo cual se observó una estabilidad de laboratorio aceptable cuando se observaron valores inferiores a 0,5 $\mu\text{e}/\text{carga}$ y superiores a 1000 ciclos de carga para b y FN, respectivamente.

(Gong et al., 2023) analiza la perspectiva del uso de tecnologías de impresión 3D en el mantenimiento de grietas y baches en pavimentos asfálticos, destacando los beneficios potenciales en términos de reducción de duración, costo, mano de obra y riesgo para la seguridad de los trabajadores, las sugerencias y conclusiones extraídas incluyen la necesidad de mejorar los equipos para la detección de problemas, el control de la temperatura de impresión y los parámetros de calidad y rendimiento, y la recomendación de robots de impresión 3D móviles y vehículos aéreos no tripulados para diferentes tipos de grietas y baches.

(P. Wang et al., 2017) redactan dos procesos: construir el campo de energía wavelet de la imagen del pavimento para detectar el bache utilizando procesamiento morfológico y criterios geométricos, y segmentar el bache detectado utilizando el modelo de campo aleatorio de Márkov y extraer con precisión el borde del bache, el método integra características grises y de textura para resaltar la región del bache y solo requiere criterios geométricos para detectar el bache en la imagen. El método propuesto logró una precisión general del 86,7% para la detección de baches, con una precisión del 83,3% y una recuperación del 87,5%. Para la segmentación de baches, el grado de superposición entre la región de baches extraída y la región de baches original fue en su mayoría superior al 85%, lo que representa el 88,6% del total de imágenes de baches en el pavimento detectadas, por lo que se demostró mejores resultados de detección en comparación con otros métodos, con mayor exactitud, precisión y recuperación.

(Pino et al., 2019) aplico pruebas de FWD para evaluar la influencia estacional en los pavimentos de asfalto de mezcla caliente (HMA). desarrollaron un esquema de retro cálculo basado en algoritmos genéticos utilizando resultados de FWD a diferentes temperaturas para estimar las propiedades de la capa de pavimento flexible viscoelástica y no lineal. El esquema se verificó con datos de deflexión medidos en campo. Llegaron a la conclusión de que la tensión vertical en capas no acotadas y la deformación horizontal en la capa HMA podrían sobreestimarse y la deformación vertical podría subestimarse.

(Aquino et al., 2022) utilizaron el método de elementos espectrales (SEM) para calcular dinámicamente las propiedades de las capas de pavimento asfáltico sometidas a cargas FWD. Para simular las características de viscoelástica y el comportamiento de amortiguación de AC (Asphalt Concrete), se aplicó el modo Havriliak-Negami modificado. Se concluyó que la deflexión superficial del pavimento AC se vio muy afectada por la inercia y el comportamiento de amortiguación cuando se somete a cargas FWD, especialmente para capas base de pavimento estabilizadas con cemento. Las influencias dinámicas deben considerarse durante la interpretación de los datos de FWD

(Radopoulou & Brilakis, 2015) propone un método para detectar zonas en la carretera a partir de datos de vídeo adquiridos por la cámara de aparcamiento de un coche. El método consta de dos pasos: detección de parches basada en características visuales y seguimiento de parches mediante un rastreador de kernel, logró una precisión del 84% y una recuperación del 96% en la detección de parches en la carretera a partir de datos de video

adquiridos por la cámara de estacionamiento de un automóvil. Los resultados indican que el método es eficaz para detectar con precisión parches en la carretera, con una alta tasa de precisión del 84%, lo que significa que el 84% de los parches detectados son en realidad parches.

(Zhou et al., 2021) propuso posibles aplicaciones prácticas de simulación numérica para la prueba de rodamientos de placas en pavimento de asfalto basado en datos de deflexión FWD. Los resultados simulados de las segundas curvas de carga-desplazamiento se acercaron a los resultados de la prueba de rodamiento de placas in situ para capas de pavimento de base o subrasante.

(Castro-Zabala & Gamboa-Gordillo, 2022) aplicaron radar de penetración en el suelo (GPR), penetrómetro de cono dinámico (DCP), tomografía de imágenes magnéticas (MIT) y medición dieléctrica para estimar los espesores del pavimento y las capas de subrasante estabilizadas tanto en el campo como en el laboratorio. Los espesores de la capa asfáltica se estimaron mediante pruebas GPR y MIT y los resultados se compararon con los obtenidos de muestras de núcleo.

Se observó que, cuando se aplicaron valores de medidores dieléctricos, el error promedio fue de aproximadamente 11% para los espesores de asfalto estimados por pruebas GPR, pero disminuyó a aproximadamente 4% cuando se calibró con muestras de núcleo. Los resultados obtenidos del MIT fueron aproximadamente un 9% más altos que los obtenidos de GPR, primero, se identificaron y clasificaron los factores que rigen para cada tipo de mantenimiento en siete categorías, incluidos documentos, selección de pavimento a mantener, materiales, condición y preparación del sitio, construcción, Garantía de Calidad y Control de Calidad (QAQC) y vida y costo. En segundo lugar, se desarrolló un cuestionario de encuesta para cada categoría y se recopiló información a partir de entrevistas y documentos recopilados de los cinco distritos (Tarefder et al., 2016).

(Karimi et al., 2023) para reparar las grietas del pavimento se utilizaron dos tipos de materiales adhesivos, betún puro y hormigón polímero, en condiciones intactas, agrietadas y reparadas. La reparación con betún proporcionó parcialmente una integridad aceptable en comparación con la mezcla asfáltica intacta. Sin embargo, para temperaturas de servicio superiores a +10 °C, la reparación fue ineficiente, pero la reparación con hormigón polímero fue eficiente en todas las temperaturas, y la resistencia de las muestras reparadas con hormigón polímero fue incluso mayor que la de la muestra intacta.

Además, los módulos elásticos calculados hacia atrás de las deflexiones FWD mostraron diferencias en diferentes ubicaciones (Vargas Guevara, 2022), el cual tuvo como propósito la comparación de una mezcla asfáltica con adición de partículas de plástico reciclado de botellas, sin tapa ni etiqueta con un tamaño de hojuela de 0,30 mm de diámetro y la mezcla asfáltica tradicional, por lo que se evidencia que si influye en las propiedades físico-mecánicas del pavimento dado que la adición de plástico mejora el flujo y disminuye la fragilidad del asfalto, elimina parcialmente el índice de vacíos con aire puesto que la compactación extra que presenta el bitumen, los agregados pétreos y el plástico resulta una mezcla resistente al tráfico pesado, además de poseer una estabilidad alta con una rigidez excesiva expresado a pavimentos rígidos.

Para recopilar información de las capas subterráneas de pavimento, desarrollaron un sistema de detección GPR montado en el vehículo combinando un filtro horizontal de paso alto y un método de localización de capas modificado (Macorig et al., 2023).

De acuerdo con los principios utilizados en el programa de diseño de (Huang et al., 2021) (por ejemplo, comportamiento elástico lineal de todas las capas), no fue posible tener en cuenta la contribución estructural del SAMI en las alternativas B y B1, Establece que el programa de mantenimiento óptimo para pavimentos está influenciado por la vida de diseño del pavimento y la vida útil de las alternativas de mantenimiento. El estudio de caso mostró que la estrategia de fresado y repavimentación de la capa superior (MRU) tenía el mejor beneficio a largo plazo cuando se extendía la vida útil del pavimento.

Por lo tanto, la inclusión de la membrana debe asumirse como un factor de seguridad, debido a su contribución a una mejor distribución de las cargas de tráfico a las capas inferiores (Samsuri et al., 2019). Las soluciones presentadas por el autor se asumen como técnicamente equivalentes, pero las mismas no son válidas en términos económicos y ambientales, por ello en un apartado se menciona como la estimación de costes obtenida para cada alternativa sin tener en cuenta los costes de eliminación de los residuos de construcción en un vertedero.

De acuerdo con (Meza Domínguez, 2018) los resultados presentados las alternativas que incluyen materiales reciclados son menos costosas que la alternativa tradicional, incluso sin cuantificar los costos de eliminación de residuos. Por lo tanto, en términos técnicos y económicos, la mejor solución es la alternativa B1, ya que puede asegurar un mejor comportamiento del pavimento, con menor variación en la capacidad portante de las

capas granulares debido a la reducción de agua dentro de la estructura del pavimento (Gharieb & Nishikawa, 2021). Además, la alternativa tradicional resultaría en un aumento en el nivel de la superficie del pavimento de aproximadamente 80 a 110mm. Para aplicar esta solución, sería necesario elevar todos los senderos adyacentes a la carretera, cuyo costo no se incluyó en esta estimación. Por otro lado, la alternativa B1 tiene solo un aumento marginal de 20 mm que se puede hacer sin modificar los senderos (Obaidat & Al-kheder, 2006).

En el impacto de las diferentes alternativas de rehabilitación en el medio ambiente (Aboutalebi Esfahani & Khoddami, 2022b) expresan que, aunque el costo de los nuevos materiales se ha considerado en la estimación anterior, el ahorro obtenido al reducir el consumo de recursos naturales (agregados y aglutinantes) y al reducir la eliminación de subproductos de la construcción no es fácil de cuantificar. Esto representa una parte importante de los costos ambientales que se atribuyen a la alternativa de rehabilitación tradicional (Montoya & Haddock, 2019).

3. METODOLOGÍA

Cada año el deterioro del pavimento es un problema recurrente, en un entorno urbano en constante evolución, donde el tráfico pesado, las condiciones climáticas adversas y la demanda de movilidad plantean desafíos persistentes, por eso las grietas en el pavimento tienen orígenes en forma, composición, capacidad de carga, movimiento y tasa de deformación. En el Ecuador es notable observar que el olvido de políticas viales para la conservación de carreteras por parte de los organismos seccionales y nacionales da como resultado la presencia de problemas relacionados con el pésimo estado de las vías.

Criterio	Indicador	Instrumento	Método	Técnica	Fuente	Medio de Verificación	Referencias
Rendimiento	Rugosidad	Rugosímetro	Medición de rugosidad	Medición de campo	Informes técnicos	Comparación con estándares	(Ecuatoriana Vial, s/f)
	Durabilidad	Equipo de pruebas	Observación directa y Pruebas de laboratorio	Inspección técnica	Informes técnicos	Resultados de pruebas	(Kamenchukov et al., 2023b)
	Resistencia	Aplicación de una carga dinámica	Pruebas de laboratorio	Pruebas técnicas	Normativas de seguridad vial	Cumplimiento con estándares	(Putro Pangestu et al., 2021)
Costo	Presupuesto	Registros de operación	Análisis contenido	Análisis de precios unitario.	Informes técnicos	Comparación de presupuesto	(Informes Técnicos Pavimentos de Carreteras, s/f)
Medio ambiente	Impacto por tipo de actividad	Registros de operación	Análisis de contenidos	Valorización de impacto ambiental	Fichas de campo	Comparación con estándares ambientales	(Y. Zhao et al., 2021)

Tabla 1: Matriz de detalle del proceso metodológico

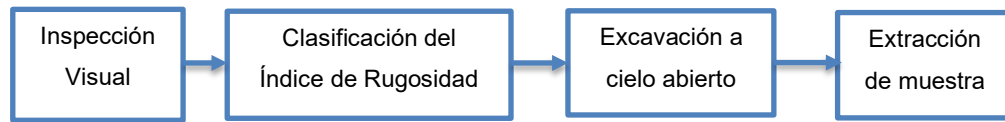
En este contexto, evaluar los procesos de rehabilitación es esencial para mantener la estructura vial en óptimas condiciones (De et al., 2021), además permite la aceleración de toma de decisiones y garantizar soluciones fundamentadas en la experiencia y la ciencia para prolongar la vida útil de los pavimentos urbanos de manera eficaz y eficiente. Existen diversas opciones de rehabilitación que van desde un rejuvenecimiento de la superficie con una emulsión debilitada hasta parches más grandes, resellado y, en algunos casos, regeneraciones importantes (Grobler et al., 2003).

Este análisis exhaustivo abarca una serie de aspectos esenciales que van desde la realización de ensayos técnicos hasta la evaluación de la idoneidad del método para las condiciones locales y la revisión de los resultados obtenidos en el sitio de aplicación específico. Al comprender en profundidad los procesos involucrados en la selección y aplicación de métodos de rehabilitación de pavimento, se puede apreciar mejor su impacto en la calidad y durabilidad de la infraestructura vial.

La evaluación detallada proporciona información valiosa para identificar las mejores prácticas y tecnologías disponibles y ayuda a comprender cómo estos métodos se adaptan a las condiciones particulares del pavimento, el tráfico y el clima en una región específica, que en este caso es la ciudad de Machala, Ecuador. Así, se pueden tomar decisiones informadas y estratégicas que maximicen los beneficios de la rehabilitación del pavimento, minimizando al mismo tiempo los costos y los impactos ambientales. Al evaluar la calidad de los materiales, la eficacia de las técnicas de construcción y el impacto ambiental de los procesos de rehabilitación, se pueden identificar oportunidades para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad de los proyectos.

Tras las investigaciones previas en búsqueda de la mejor forma de rehabilitación de pavimentos se encontraron métodos convencionales, como el fresado y repavimentación, por lo que también es importante considerar alternativas innovadoras que puedan mejorar la durabilidad y la eficacia de las reparaciones como es la emulsión crs-2, que por consiguiente este último método por su novedosa función es poco usual en su uso en el Ecuador, por tal motivo la investigación se basó en el estudio de esta aplicada previamente en ciertas vías en la ciudad de Machala. Cabe recalcar que este método está diseñado para regiones con climas variables, donde el pavimento está expuesto a condiciones extremas de temperatura y humedad (Kamenchukov et al., 2023b).

3.1 Trabajo de campo

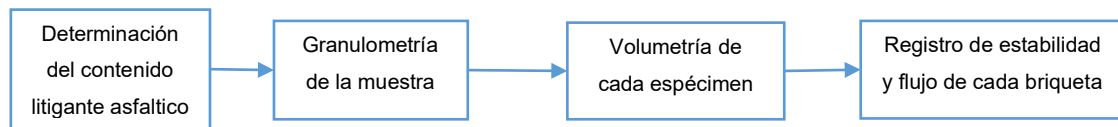


La fase inicial comienza con una investigación minuciosa de los sectores donde se han realizado rehabilitaciones de pavimentos. Este proceso implica identificar las áreas donde se han llevado a cabo proyectos de mantenimiento o mejoras en la infraestructura vial. Una vez identificados estos sectores, se procede con una inspección visual detallada para determinar qué rehabilitaciones aún prevalecen en buenas condiciones. Durante la inspección visual, se examina cuidadosamente el estado de la superficie del pavimento en cada sector identificado. Se busca identificar las áreas donde las rehabilitaciones han resistido el paso del tiempo y siguen cumpliendo su función original de manera efectiva. Esto puede incluir la evaluación de la integridad estructural, la uniformidad de la superficie y la ausencia de defectos visibles, como grietas o hundimientos.

Una vez identificadas las rehabilitaciones que aún prevalecen, se procede a evaluar la condición general de las vías, utilizando un índice de rugosidad internacional (IRI). El IRI proporciona una medida objetiva de la calidad de la superficie del pavimento y su capacidad para proporcionar una conducción suave y cómoda. (Ecuatoriana Vial, s/f-c) este análisis ayuda a determinar si la rehabilitación del pavimento seleccionada es adecuada para su muestreo. Una vez completada la evaluación del IRI, se procede con el corte de la rehabilitación de pavimento seleccionada. Este proceso implica la extracción cuidadosa de una sección representativa del pavimento, que incluye tanto la rehabilitación como las capas subyacentes del pavimento original. Esta sección se corta de manera que se obtengan muestras de briquetas que representen fielmente la composición y la calidad del material utilizado en la rehabilitación.

Estas muestras de briquetas extraídas se envían luego a laboratorios para realizar pruebas detalladas que ayuden a evaluar su resistencia, durabilidad y otras propiedades importantes. Los resultados de estas pruebas proporcionan información valiosa que se puede utilizar para mejorar los procesos de diseño y selección de materiales en futuros proyectos de rehabilitación de pavimentos, contribuyendo así a la mejora continua de la infraestructura vial.

3.2 Trabajo de laboratorio – Ensayo y Diseño de mezclas



3.2.1 Determinación del contenido litigante asfáltico de la muestra

En el laboratorio, se realiza un análisis exhaustivo de las muestras extraídas de las vías para comprender mejor la composición y las propiedades de los materiales utilizados en el pavimento. El primer paso es determinar el contenido de ligante asfáltico presente en la muestra. Para ello, se emplea una máquina centrífuga, que permite calcular con precisión la cantidad de asfalto o emulsión en la muestra. Este análisis es fundamental, ya que el contenido de ligante asfáltico influye significativamente en la durabilidad y la resistencia del pavimento.

3.2.2 Granulometría

Una vez obtenido el contenido de ligante asfáltico, se procede con la granulometría de la muestra. Este proceso implica el análisis de la distribución de tamaños de las partículas presentes en el material.

La granulometría proporciona información detallada sobre la composición y la uniformidad del agregado utilizado en la mezcla asfáltica. Esto es crucial para asegurar que el pavimento tenga la resistencia adecuada y sea capaz de soportar las cargas vehiculares de manera eficiente.

Por otro lado, se realiza un análisis detallado de los materiales que representan el diseño de la rehabilitación extraída de la vía.

Se comienza con la granulometría para evaluar la distribución de tamaños de partículas, lo que es crucial para entender la composición y uniformidad de los agregados utilizados en el pavimento. Luego, se lleva a cabo la dosificación para determinar la proporción óptima de materiales, incluyendo agregados y ligante asfáltico, asegurando así las propiedades deseadas de la mezcla y garantizando la calidad y durabilidad del pavimento resultante (Enrique et al., 2023).

3.2.3 Volumetría de cada espécimen

Otro aspecto crucial es determinar la volumetría de cada muestra. Se emplea un método de la canastilla, donde se sumerge la briqueta en un recipiente lleno de agua y se registra el volumen inicial. Después de asegurar la ausencia de burbujas de aire, se mide nuevamente el volumen, obteniendo así el volumen de la briqueta.

Este valor es esencial para calcular la densidad y compactación de la mezcla asfáltica, factores determinantes en la resistencia y durabilidad del pavimento.

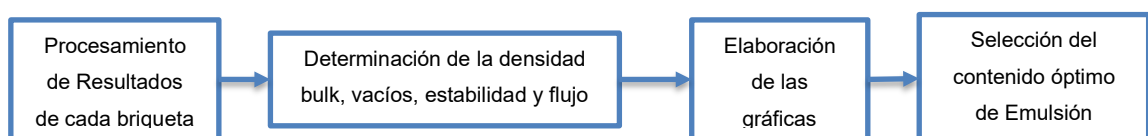
La volumetría garantiza que la compactación haya sido adecuada y que las propiedades de la muestra cumplan con los estándares requeridos, asegurando la calidad y el rendimiento del pavimento en condiciones reales de uso.

3.2.4 Método de Marshall

Antes de proceder con la evaluación de las briquetas, es fundamental garantizar la homogeneidad de la estructura, ya sea del pavimento extraído o del diseño de rehabilitación con emulsión. Para lograr esta uniformidad, se emplea la amoladora, posteriormente, las briquetas se sumergen en un baño maría y se calientan gradualmente hasta alcanzar una temperatura de 60 grados Celsius, este paso es necesario para asegurar que la muestra alcance la temperatura adecuada antes de realizar el ensayo de Marshall, este método evalúa la estabilidad y la fluidez del pavimento mediante la aplicación de carga y la medición de la deformación.

La resistencia del pavimento a las fuerzas de compresión y su capacidad para resistir el deterioro por fatiga se determinan mediante este método. Los resultados del método de Marshall se evalúan según el criterio de diseño sugerido por el Ministerio de Obras Públicas (Herrera, 2018), los parámetros de evaluación establecidos en esta normativa son esenciales para evaluar la calidad y el rendimiento del pavimento y para identificar posibles áreas de mejora en el diseño y la construcción (Kamenchukov et al., 2023b).

3.2.5 Trabajo de gabinete – Evaluación de los resultados



El trabajo de gabinete es crucial en el análisis de datos de las briquetas, extraídas de las vías y diseñadas en laboratorio, proporcionando una comprensión detallada de las propiedades del material asfáltico.

Tras recopilar los resultados de ensayos, que incluyen la densidad bulk, estabilidad y flujo, se procede al análisis. Las gráficas generadas a partir de estos datos permiten identificar tendencias y relaciones entre parámetros, facilitando la comparación entre muestras y la identificación de áreas de mejora. Basándose en este análisis, se selecciona el contenido óptimo de emulsión asfáltica, asegurando que la mezcla cumpla con los requisitos de resistencia y durabilidad bajo diversas condiciones climáticas y de carga.

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El presente informe detalla los hallazgos y resultados obtenidos, esperando que esta investigación contribuya significativamente a mejorar la gestión y conservación de la infraestructura vial en Machala, promoviendo la seguridad y comodidad de los usuarios de las vías urbanas. Conscientes de la necesidad de un mantenimiento de la infraestructura vial urbana, se llevó a cabo una evaluación y monitoreo de las condiciones de las vías en Machala, con propósito de identificar aquellas vías que habían sido rehabilitadas y evaluar el estado de las que se encontraban afectadas por baches y otros deterioros. Durante los años 2018 y 2019, se implementó un método de rehabilitación en diversas vías de la ciudad, que consistió en la utilización de una maquinaria especializada, conocida como bacheadora.

Esta máquina fue empleada para aplicar una capa de material compuesta por emulsión CRS-2, junto con dos tipos de piedra de tamaños específicos: $\frac{3}{4}$ " y $\frac{1}{2}$ ". Los materiales empleados fueron rigurosamente comparados con los estándares establecidos en la normativa NEVI-12 en los volúmenes 3 y 6 respectivamente (Ecuatoriana Vial, s/f-c) y (Ecuatoriana Vial, s/f-a), lo que proporcionó una sólida base para la toma de decisiones en cuanto al mantenimiento y rehabilitación de pavimentos. A partir de la información recopilada por la empresa encargada de la rehabilitación de pavimentos en Machala, se generó un detallado mapa que permitió visualizar la ubicación precisa de las vías rehabilitadas, como se muestra en la figura 1.

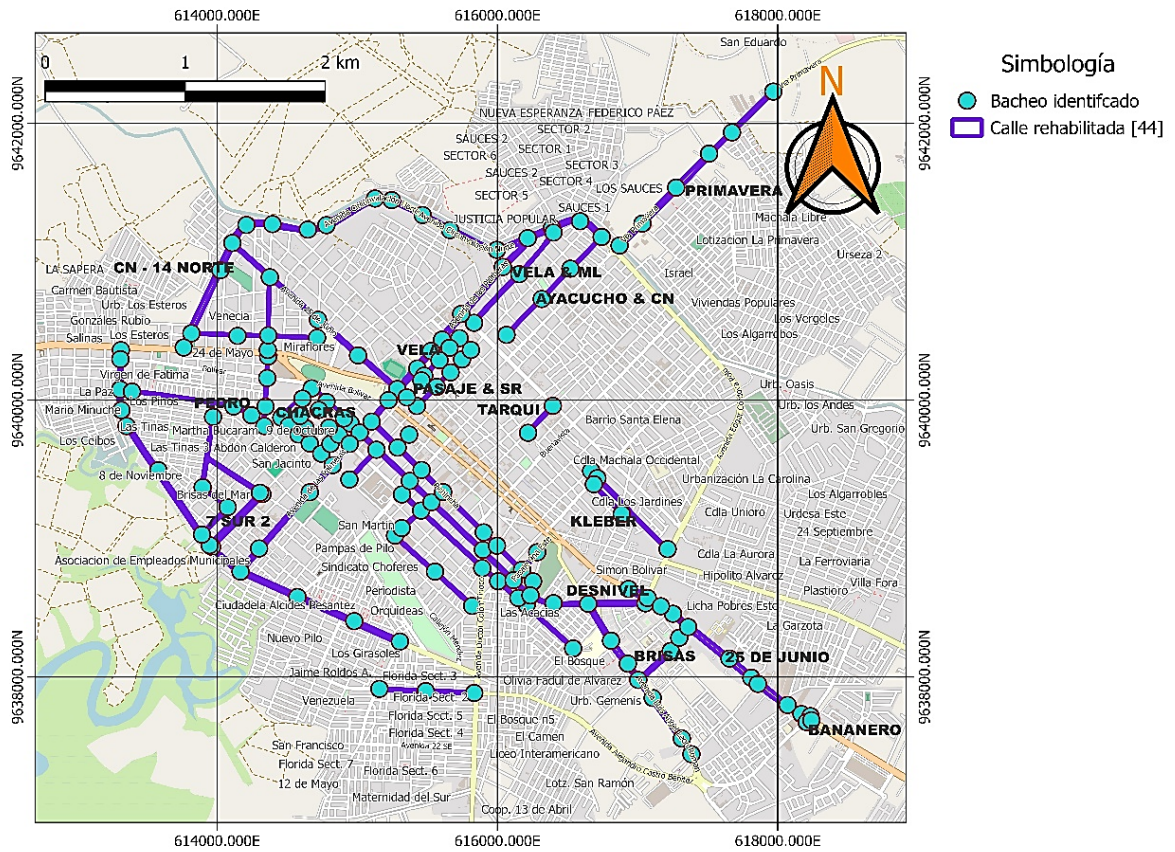


Figura 1: Tramos de vías rehabilitadas con emulsión asfáltica en la ciudad de Machala, El Oro, Ecuador

4.1 Rugosidad (IRI)

Una vez que se tuvo identificadas las vías rehabilitadas, se utilizó una aplicación de teléfono móvil llamada IRI RUGOSIDAD Y CARRETERA para medir el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) de las carreteras locales. Esta aplicación utiliza los sensores de vibración y GPS del celular para calcular el IRI, generando gráficas e informes detallados sobre la condición de la vía analizada. Este enfoque representa un avance significativo en la evaluación de carreteras al aprovechar la tecnología de bajo costo y fácil acceso. El proyecto se centra en las vías bacheadas entre 2019 y 2020, evalúa su estado actual utilizando una metodología eficiente y económica, los resultados se basaron en la normativa NEVI-12, por lo cual tiene un efecto significativo por su aporte al detallar la condición de pavimento como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2: Valor Promedio del IRI por Tramo Vial

Tramo vial	Distancia (m)	Valor promedio de IRI (m/km)	Condición del pavimento
Circunvalación Norte entre El Aguador y Av. Palmeras	600	4.3	Pavimentos viejos con imperfecciones superficiales
Redondel Bananero	100	3.0	Imperfecciones de superficie
Calle 25 de junio entre Redondel del Bananero y Paso Elevado	1900	2.5	Pavimento en buen estado
Paso Desnivel a la entrada de la ciudad	600	9.4	Pavimento se daña con profundas depresiones superficiales
Vía Pajonal	900	1.8	Pavimentos nuevos
Palmeras entre Arizaga y Rocafuerte	100	5.5	Pavimentos viejos con imperfecciones superficiales y depresiones menores
Calle 25 de junio entre Circunvalación Norte y Av. Palmeras	1200	2.3	Pavimentos viejos, daños leves y superficiales
Circunvalación Norte entre Av. Bolívar Madero Castro y Calle 14va	1500	4.3	Pavimentos viejos y daños en la parte superficial de la vía
Carretera San Martín desde Junín hasta 10 de agosto	900	4.3	Pavimentos viejos y daños en la parte superficial de la vía
Vía primavera desde aguador hasta gasolinera Araujo	3000	2.0	Pavimento nuevo
Circunvalación Norte entre Ayacucho-Palmeras	500	6.1	Pavimento deteriorado con pequeñas ondulaciones frecuentes
Avenida Juan Palomino	1000	2.0	Pavimento nuevo
Circunvalación Sur (entre Colegio de Médicos - Calle 5ta. Sur) y Circunvalación Sur entre Av. de Las Américas y Av. de Las Palmeras	1300	3.2	Imperfecciones de superficie
Av. de las Palmeras entre Arizaga y Circunvalación Sur – Paso Elevado “25 de Junio”	1000	2.5	Pavimento nuevo
Manuel Estomba entre Cristóbal Colon y Av. De Las Palmeras – Intersección entre Av. Alejandro Castro Benítez y Juan Palomino – Ayacucho entre Manuel Estomba Y Eloy Alfaro	100	2.0	Pavimento nuevo
Calle Tarqui entre Marcel Laniado Y Guabo	100	2.0	Pavimento nuevo
Avenida Arizaga	1900	2.1	Pavimento nuevo
Calle Junín desde Manuel Estomba Hasta Arizaga	1000	2.5	Pavimento nuevo

Los resultados obtenidos revelan una variedad de condiciones en los pavimentos, lo que ha llevado a enfocar el análisis en dos zonas clave: las calles Palmeras y el tramo de la Circunvalación Norte entre Ayacucho y Palmeras. En el caso específico de la calle Palmeras, se ha identificado un valor promedio de IRI de 5,5 m/Km, lo que indica la presencia de un pavimento antiguo con imperfecciones superficiales y depresiones menores. Esta condición sugiere la necesidad de intervenciones de mantenimiento para

mejorar la calidad del pavimento y garantizar una experiencia de conducción segura y cómoda para los usuarios de esta vía.

Por otro lado, en Circunvalación Norte, se ha registrado un valor promedio de IRI de 6,1 m/Km, indicando también la presencia de un pavimento viejo con daños en la parte superficial de la vía. La identificación de estas áreas problemáticas proporciona una base sólida para la planificación y ejecución de proyectos de mantenimiento y rehabilitación que contribuyan a garantizar la seguridad y eficiencia del transporte en la ciudad mitigando los riesgos asociados con un pavimento deteriorado.

4.2 Durabilidad (IRI)

Para determinar los parámetros de diseño y control de calidad de los bacheos realizados en las avenidas Las Palmeras y Circunvalación Norte de la ciudad de Machala, se requieren ensayos de probetas de la capa de rodadura del bacheo. Por esta razón, se realizó un corte en el pavimento en las áreas de análisis y se extrajeron núcleos utilizando maquinaria especializada equipada con una broca de diamante de 100 mm de diámetro, permitiendo obtener las muestras necesarias. Posteriormente, se realizó el ensayo de estabilidad y flujo de las probetas, siguiendo el procedimiento establecido para determinar el porcentaje de emulsión asfáltica, conforme a la normativa (*AASHTO T 164 - Standard Method of Test for Quantitative Extraction of Asphalt Binder from Hot Mix Asphalt (HMA) | GlobalSpec, s/f*). Las muestras utilizadas fueron obtenidas de las áreas restantes del corte del pavimento, las cuales fueron disgregadas para su preparación y posterior lavado con solvente. En este caso, se empleó gasolina como solvente y las muestras fueron colocadas en una centrifugadora para el proceso de lavado. Durante la práctica, se realizaron tres lavados con 300 ml de solvente en cada uno.

Para determinar el porcentaje de emulsión asfáltica en una muestra, se emplea un cálculo que considera el peso inicial de la muestra antes del ensayo y su peso final después del mismo. También se registra el peso del papel filtro utilizado antes y después del ensayo. La diferencia de peso de la muestra, ajustada por la variación en el peso del papel filtro, se divide entre el peso inicial de la muestra. Multiplicando este resultado por cien, se obtiene el porcentaje de emulsión asfáltica en la muestra, lo que proporciona una medida precisa de la cantidad de emulsión perdida o retenida durante el ensayo. Este método garantiza una evaluación detallada y precisa de la composición de la emulsión asfáltica en la muestra analizada, tal como se detalla en la tabla 3.

Tabla 3: Resumen de los datos y resultados de las muestras:

PORCENTAJE DE EMULSIÓN			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso de muestra antes del ensayo: W1 gr	80.32	102.66	99.03
Peso de muestra después del ensayo: W2 gr	72.31	90.15	87.67
Peso del papel filtro antes del ensayo: W3 gr	20.31	20.31	20.31
Peso del papel filtro después del ensayo: W4 gr	24.30	26.20	24.90
% de emulsión asfáltica	5.00	6.45	6.84
Promedio de % de emulsión asfáltica	6.1%		

Fuente: Autor

Con base en los resultados obtenidos del análisis del contenido de emulsión asfáltica, se determinó que el porcentaje adecuado para la aplicación de la emulsión asfáltica en el bacheo superficial de las calles afectadas es del 6.1%. Este valor se encuentra dentro del rango recomendado por la normativa NEVI-12 tabla 811-4.4, que establece un rango óptimo de entre el 6% y el 11% para agregados de $\frac{3}{4}$ y $\frac{1}{2}$.

4.3 Resistencia

La evaluación de la resistencia de la capa asfáltica es un componente esencial en la comprensión del desempeño y la durabilidad de los pavimentos urbanos. En este contexto, el ensayo Marshall emerge como una herramienta fundamental para medir la capacidad de carga y resistencia de estos pavimentos frente a las cargas gravitacionales del tráfico vehicular. En este ensayo, se han llevado a cabo un análisis exhaustivo de los pavimentos extraídos, considerando el porcentaje de emulsión utilizada y la granulometría de los materiales empleados. La aplicación de técnicas de simulación y análisis estadístico ha permitido evaluar las dosificaciones de materiales para mejorar la resistencia y durabilidad de la rehabilitación de los pavimentos urbanos. Es por ello que en la tabla 4 se muestra los resultados obtenidos de las briquetas extraídas del pavimento donde fue aplicado la rehabilitación con emulsión CRS-2.

Tabla 4: Resultados de ensayos de flujo y estabilidad de núcleos (pavimento extraído)

Resultados de ensayos de flujo y estabilidad de núcleos				
Parámetro	Unidad	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3
Altura	mm	80.75	75.20	78.30
Diámetro	mm	101.52	100.21	99.80
Volumen	cm ³	654.33	623.42	640.95
Deformación	mm	5.95	6.20	5.80
Flujo	mm	5.66	4.20	5.10
Carga máxima	kN	3.724	4.182	3.499
Estabilidad	kN	2.845	3.282	2.690
Densidad bulk	g/cm ³	1.58	1.54	1.60
Flujo tangente	mm	4.817	3.497	4.386
Cociente Marshall	kN/mm	0.478	0.529	0.464
Promedio de Estabilidad	kN	2.939		
Promedio de Flujo	mm	4.987		
Promedio de Densidad Bulk	g/cm ³	1.573		
Promedio de Flujo Tangente	mm	4.234		
Promedio de Cociente Marshall	kN/mm	0.490		

Fuente: Autores

Tras analizar los resultados del Ensayo Marshall en los núcleos extraídos, se observa que, a pesar de alcanzar un porcentaje óptimo de emulsión del 6,10%, la mezcla no cumple con los estándares ideales de resistencia para un bacheo. Esto se atribuye a una incorrecta granulometría, ya que la mezcla se encuentra fuera de los límites especificados. Por lo tanto, se procedió a simular el método de rehabilitación utilizado en la zona, basándose en los porcentajes de materiales utilizados en la máquina bacheadora, que incluían emulsión CRS-2 combinada con grava de dos tamaños, $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$, como se detalla en la tabla 5. Además, se añadió otra briqueta con arena para evaluar su efecto en la resistencia, como se muestra en la tabla 6. Adicionalmente, se determinó el porcentaje necesario de emulsión asfáltica basándose en el análisis de los componentes de la mezcla. Se determinó que se requería un 4.7% de emulsión, lo cual se obtuvo mediante el análisis de la composición de los agregados y sus contribuciones respectivas. Con estos datos, se propuso una nueva dosificación para la mezcla, que consiste en un 65% de agregados gruesos y un 35% de agregado fino, equilibrando así los componentes para alcanzar las características deseadas en la mezcla final, como se detalla en la tabla 7. Este enfoque se basa en los criterios de la norma NEVI, para determinar la combinación óptima que maximice el rendimiento de la mezcla de suelo y emulsión (Enrique et al., 2023), se ha observado que el uso de emulsión ha arrojado resultados satisfactorios en su implementación en diversas regiones alrededor del mundo (J. Ouyang et al., 2021).

Tabla 5: Dosificación de Briqueta 6% Emulsión con 50% ¾" y 50 % ½" (Diseño)

MATERIAL UTILIZADO	PORCENTAJE REQUERIDO	PORCENTAJE DEL AGREGADO	CANTIDAD DE MATERIAL	NÚMERO DE BRIQUETAS	TOTAL
¾"	0.5	0.94	1500	3	2115
½"	0.5	0.94	1500	3	2115
ARENA	0	0.94	1500	3	0
CRS-2.	0.06		1500	3	270
TOTAL					4500

Tabla 6: Dosificación para briqueta Emulsión 6% con 70% ¾", 10 % ½" y 20% fino (Diseño)

MATERIAL UTILIZADO	PORCENTAJE REQUERIDO	PORCENTAJE DEL AGREGADO	CANTIDAD DE MATERIAL	NÚMERO DE BRIQUETAS	TOTAL
¾"	0.7	0.94	1500	3	2961
½"	0.1	0.94	1500	3	423
Arena	0.2	0.94	1500	3	846
CRS-2.	0.06		1500	3	270
Total					4500

Tabla 7: Dosificación para briqueta con Emulsión 4,7% con 55% ¾", 10 % ½" y 35% fino (Diseño)

MATERIAL UTILIZADO	PORCENTAJE REQUERIDO	PORCENTAJE DEL AGREGADO	CANTIDAD DE MATERIAL	NÚMERO DE BRIQUETAS	TOTAL
¾"	0.550	0.953	1500	3	2358.7
½"	0.100	0.953	1500	3	428.9
Arena	0.350	0.953	1500	3	1501.0
CRS-2.	0.047		1500	3	211.5
Total					4500

Para representar claramente y comprender estas dosificaciones, se ha desarrollado un gráfico que permitirá visualizar eficazmente las proporciones y relaciones entre estos materiales, tal como se presenta en la figura 2.

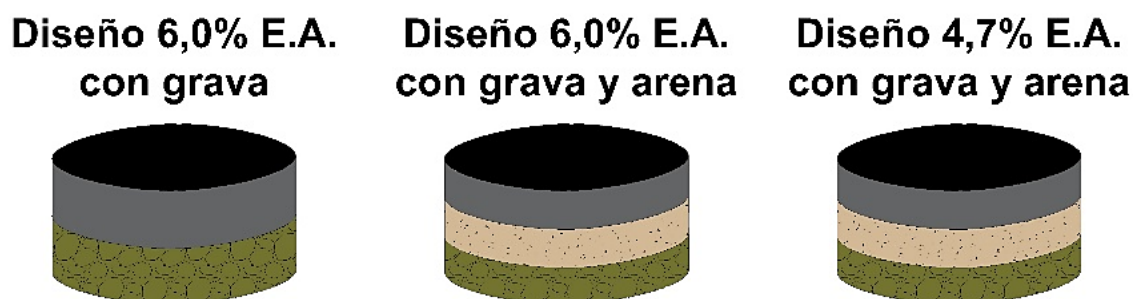


Figura 2: Representación gráfica de las tres dosificaciones para la Emulsión CRS-2

Para determinar la resistencia de la briqueta al 6% de emulsión con el 50% de ¾" y ½", primero se calculó la densidad bulk, registrando los pesos de los diferentes componentes: el peso de la canastilla, el peso de la canastilla con la briqueta dentro, el peso de la canastilla con la briqueta y agua, y el peso de la canastilla con agua solamente, además,

registramos el peso de la briqueta. Luego, utilizamos estos datos que representan la relación entre el peso de la briqueta y la diferencia entre los pesos. En este caso, al dividir el peso de la briqueta por la diferencia entre el peso total de la briqueta y el agua y el peso total del agua solamente, obtenemos un valor aproximado de 2 para la densidad bulk. Este resultado indica que la densidad bulk es aproximadamente 2 veces el volumen del agua desplazada por la briqueta y la canastilla. A continuación, se procedió hacer el ensayo Marshall, que dio como resultado lo que se muestra en la tabla 8.

Tabla 8: Resultados de ensayos de flujo y estabilidad de núcleos (Emulsión más Grava)

Resultados de ensayos de flujo y estabilidad de núcleos				
Parámetro	Unidad	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3
Altura	mm	68.83	68.50	69.20
Diámetro	mm	103.00	102.80	104.00
Volumen	cm ³	556.79	553.79	572.94
Deformación	mm	4.50	4.30	4.60
Flujo	mm	1.957	1.9	2.1
Carga máxima	kN	12.068	12.125	12.321
Estabilidad	kN	10.738	10.804	10.976
Densidad bulk	g/cm ³	2.00	1.98	2.02
Flujo tangente	mm	1.012	0.978	1.065
Cociente Marshall	kN/mm	2.386	2.513	2.386
Promedio de Estabilidad	kN	10.839		
Promedio de Flujo	mm	1.986		
Promedio de Densidad bulk	g/cm ³	2.000		
Promedio de Flujo Tangente	mm	1.019		
Promedio de Cociente Marshall	kN/mm	2.428		

Fuente: Autores

Como resultado de la elaboración de las briquetas y el respectivo ensayo de estabilidad y flujo, se obtiene valores promedios de estabilidad y flujo que son de 10.839 KN y 1.986 mm respectivamente, estos resultados se encuentran dentro de los criterios óptimos de evaluación, por lo que se denomina una mezcla con una estabilidad muy rígida, con esto se fundamenta que la emulsión tiene buena absorción y resistencia para las vías (Shah et al., 2013).

Para evaluar la resistencia de la briqueta con una emulsión del 6% y una combinación de agregados que consiste en un 70% de material de tamaño ¾”, un 10% de tamaño ½”, y un 20% de material fino, se obtuvo un valor de densidad bulk de 1.6 g/cm³ para esta combinación de agregados. Esta cifra es fundamental para comprender la densidad de las briquetas, lo que resulta crucial para analizar su comportamiento y resistencia ante diversas condiciones y cargas. Finalmente, se procedió a realizar el ensayo Marshall con las briquetas, cuyos resultados se detallan en la tabla 9.

Tabla 9: Resultados de ensayos de flujo y estabilidad de núcleos (Emulsión con Grava y Fino)

Resultados de ensayos de flujo y estabilidad de núcleos				
Parámetro	Unidad	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3
Altura	mm	68.53	67.30	68.80
Diámetro	mm	97.57	97.51	98.70
Volumen	cm ³	555.24	551.97	562.59
Deformación	mm	2.50	2.20	2.40
Flujo	mm	2.58	2.45	2.75
Carga máxima	kN	15.890	15.968	15.821
Estabilidad	kN	14.115	14.205	14.070
Densidad bulk	g/cm ³	1.62	1.63	1.60
Flujo tangente	mm	0.940	0.885	1.01
Cociente Marshall	kN/mm	5.646	6.457	5.863
Promedio de Estabilidad	kN	14.130		
Promedio de Flujo	mm	2.593		
Promedio de Densidad Bulk	g/cm ³	1.617		
Promedio de Flujo Tangente	mm	0.945		
Promedio de Cociente Marshall	kN/mm	5.988		

Fuente: Autores

Se observa que las tres probetas presentan valores similares en términos de altura, diámetro, volumen y deformación. Sin embargo, hay algunas variaciones en los valores de flujo, carga máxima, estabilidad, densidad bulk, flujo tangente y cociente Marshall entre las probetas. El promedio de estabilidad fue de aproximadamente 14.130 kN, mientras que el promedio de flujo fue de alrededor de 2.593 mm. La densidad bulk promedio se situó en aproximadamente 1.617 g/cm³, con un flujo tangente promedio de alrededor de 0.945 mm y un cociente Marshall promedio de aproximadamente 5.988 kN/mm. Estos resultados indican que el pavimento evaluado muestra una buena estabilidad y resistencia, lo que sugiere un rendimiento satisfactorio en términos de capacidad de carga y durabilidad.

Para la briqueta propuesta con una concentración de emulsión del 4.7% y una mezcla compuesta por un 55% de agregado de tamaño ¾”, un 10% de agregado de tamaño ½”, y un 35% de agregado fino, se calculó una densidad bulk de 2.15 g/cm³. Este dato es vital para comprender la densidad de las briquetas y cómo estas responden ante distintas condiciones y esfuerzos aplicados, cabe mencionar que, de acuerdo al valor del resultado del porcentaje tentativo de emulsión, de 4.7%, el manual de emulsiones asfálticas cita que la preparación de ensayos requiere al menos 2 tipos de porcentajes de emulsión superior e inferior al tentativo, con la finalidad de selección de contenido óptimo (Ecuatoriana Vial, s/f-a). Con esta base, las briquetas fueron sometidas al ensayo Marshall, y los resultados obtenidos se presentan en la tabla 10, proporcionando información valiosa sobre su comportamiento y Resistencia.

Tabla 10: Resultados de ensayos de flujo y estabilidad de núcleos (Emulsión con Grava y Fino Ajustada)

Resultados de ensayos de flujo y estabilidad de núcleos				
Parámetro	Unidad	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3
Altura	mm	63.50	64.20	62.80
Diámetro	mm	101.60	100.80	102.20
Volumen	cm ³	336.57	330.24	340.16
Deformación	mm	2.80	3.10	2.50
Flujo	mm	3.20	3.10	2.80
Carga máxima	kN	11.00	9.80	10.50
Estabilidad	kN	10.29	9.55	10.35
Densidad bulk	g/cm ³	2.05	2.02	2.38
Flujo tangente	mm	1.792	1.885	1.624
Cociente Marshall	kN/mm	6.48	6.11	6.89
Promedio de Estabilidad	kN	10.063		
Promedio de Flujo	mm	3.033		
Promedio de Densidad Bulk	g/cm ³	2.150		
Promedio de Flujo Tangente	mm	1.767		
Promedio de Cociente Marshall	kN/mm	6.493		

Fuente: Autores

La altura, diámetro, volumen y deformación de las probetas muestran valores similares, se identifican diferencias en el flujo, carga máxima, estabilidad, densidad bulk, flujo tangente y cociente Marshall. El promedio de estabilidad se sitúa en alrededor de 10.063 kN, mientras que el promedio de flujo es de aproximadamente 3.033 mm. Respecto a la densidad bulk, se registra un promedio de alrededor de 2.150 g/cm³, con un flujo tangente promedio de aproximadamente 1.767 mm y un cociente Marshall promedio de cerca de 6.493 kN/mm.

Estos hallazgos sugieren que el pavimento exhibe una adecuada estabilidad y resistencia, indicando un desempeño satisfactorio en términos de capacidad de carga y durabilidad, Esto indica que este diseño es apto para soportar un tráfico de alta intensidad, lo que lo convierte en un punto de referencia relevante para la formulación de una mezcla óptima destinada a la rehabilitación de pavimentos, por eso el estudio de una nueva alternativa para la dosificación de mezclas de asfalto con emulsión se basa en las Norma Ecuatoriana Vial Nevi-12 MTOP, el Manual Básico De Emulsiones Asfálticas Series No. 19, y las Especificaciones generales para la construcción de puentes y caminos MOP-2002 (Obras Publicas, 2002). Para el cumplimiento de las fajas granulométricas se basa en la tabla 811-4.4, de la normativa NEVI – 12 (Ecuatoriana Vial, s/f-c).

4.4 Presupuesto

Después de analizar las muestras extraídas y generar diseños de briquetas con emulsión para obtener recomendaciones, es fundamental considerar el aspecto del presupuesto. En

los años 2018 y 2019, el método de rehabilitación con la máquina bacheadora ha sido evaluado en términos de costo. Este costo puede variar según varios factores, como el tipo y tamaño del proyecto, la ubicación geográfica y las tarifas de alquiler o compra de la maquinaria. En general, el uso de la máquina bacheadora puede tener un costo inicial más elevado en términos de adquisición o alquiler de equipo, así como los costos asociados con el combustible y el mantenimiento de la maquinaria. Por ende, el costo aproximado es de 22 dólares por metro cuadrado, considerando diversos aspectos como el alquiler de la máquina, el operador, el conductor, el ayudante, el supervisor, el combustible utilizado durante el proceso, los materiales necesarios como la emulsión CRS-2 y la piedra de $\frac{3}{4}$ y $\frac{1}{2}$, y el mantenimiento de la máquina bacheadora. Este costo refleja los gastos asociados con la eficiencia y la velocidad proporcionadas por esta tecnología, permitiendo una rehabilitación rápida y eficiente de las superficies dañadas, lo que reduce el tiempo necesario para completar el trabajo y, por lo tanto, minimiza los gastos generales.

En contraste, el método tradicional de aplicación de rehabilitación, que implica trabajo manual, puede requerir menos inversión inicial en maquinaria especializada, pero puede resultar en costos más altos debido a la necesidad de una mayor cantidad de mano de obra. El proyecto podría ser significativamente mayor, ya que el proceso manual sería inherentemente más lento y laborioso, implicando mayores costos de material y un mayor consumo de combustible debido al tiempo adicional necesario para llevar a cabo el proceso. Por lo tanto, el costo de producción se estima en aproximadamente 12 dólares por metro cuadrado de tratamiento de bacheo, incluyendo el uso de herramientas menores, los materiales aplicados como agregados pétreos de tamaño $\frac{3}{4}$ " y $\frac{1}{2}$ ", emulsión asfáltica y agua para la limpieza del área afectada, así como la mano de obra, supervisores, conductores, operadores y ayudantes, y el mantenimiento de equipo.

Es importante destacar que, a pesar del mayor costo inicial, el uso de la máquina bacheadora puede resultar en una mayor eficiencia y un menor tiempo de aplicación. Por ejemplo, en un proyecto de pavimentación de 1000 metros cuadrados, el costo total utilizando el método tradicional podría ser de \$30,000, mientras que con el uso de la máquina bacheadora, el costo total podría reducirse a \$25,000 debido a la eficiencia en la aplicación y la reducción del tiempo de trabajo. Aunque el costo inicial de la máquina bacheadora es más alto, esta inversión puede conducir a una reducción significativa en los costos totales del proyecto a largo plazo.

4.5. Impacto por tipo de actividad

El siguiente apartado se centra en la comparación del impacto ambiental entre dos métodos comunes de aplicación de emulsión asfáltica: la aplicación tradicional manual y la aplicación mediante máquina bacheadora. A través de una evaluación de los distintos aspectos ambientales involucrados en cada método, se busca proporcionar una comprensión clara de las implicaciones ambientales de ambas prácticas. La tabla comparativa que se presenta a continuación ofrece una visión detallada de los diferentes aspectos ambientales considerados, destacando las similitudes y diferencias entre la aplicación tradicional y el uso de máquina bacheadora en términos de su impacto en el entorno. La Tabla 11 presenta un análisis detallado del impacto ambiental asociado tanto a la aplicación de emulsión asfáltica convencional como a la aplicación utilizando una máquina bacheadora.

Tabla 11: Impacto Ambiental por aplicación de Emulsión Asfáltica dado el tipo de actividad.

Impacto Ambiental	Emulsión Asfáltica Tradicional	Emulsión Asfáltica con Máquina Bacheadora
Evaporación de Gases	Liberación potencial de compuestos orgánicos volátiles (COV) durante la aplicación manual.	Liberación potencial de COV durante la aplicación, pero con una posible reducción debido a la técnica controlada de la máquina.
Contaminación de Suelo	Riesgo de contaminación del suelo si no se maneja adecuadamente la emulsión o hay derrames durante la aplicación.	Riesgo similar de contaminación del suelo si no se gestionan correctamente los residuos generados durante el proceso de bacheado.
Generación de Olores	Posible generación de olores desagradables durante la aplicación manual de la emulsión.	Posible generación de olores, pero potencialmente menos pronunciados debido a la aplicación controlada de la máquina.
Consumo de Energía	Consumo moderado de energía durante la aplicación manual.	Consumo potencialmente menor de energía por la eficiencia de la máquina comparada con la aplicación manual.
Generación de Residuos	Posible generación de residuos de emulsión no utilizada o derramada durante la aplicación manual.	Posible generación de residuos de emulsión y material de pavimento durante el bacheado, que deben ser gestionados adecuadamente.
Impacto en el Paisaje	Menor impacto visual en el paisaje durante la aplicación manual.	Posible alteración del paisaje durante el bacheado debido al movimiento de tierras y la maquinaria involucrada.
Contaminación Acústica	Posible generación de ruido durante la aplicación manual.	Potencialmente mayor generación de ruido durante el uso de la máquina bacheadora.
Tiempo de Aplicación	El tiempo de aplicación puede ser más prolongado en comparación con el uso de una máquina bacheadora.	La aplicación puede ser más rápida y eficiente utilizando una máquina bacheadora.

Tras analizar detenidamente los resultados presentados en la tabla comparativa del impacto ambiental entre la aplicación tradicional de emulsión asfáltica y la aplicación mediante máquina bacheadora, se analizó que cada método presenta ventajas y desventajas específicas en términos de su efecto en el medio ambiente. Si bien la aplicación manual puede ofrecer una menor generación de ruido y una menor alteración del paisaje, la aplicación mediante máquina bacheadora se destaca por su eficiencia en términos de consumo de energía y tiempo de aplicación.

Además, el uso de la máquina bacheadora puede reducir potencialmente la liberación de compuestos orgánicos volátiles (COV) y gestionar de manera más eficaz los residuos generados durante el proceso. En última instancia, la elección entre ambos métodos dependerá de una serie de factores, incluyendo las necesidades específicas del proyecto, las consideraciones ambientales y las limitaciones técnicas y económicas, como se evidencia en diferentes estudios de caso en Ecuador (Salazar Noboa, 2008), (Guerrero Veloza & Pavimentos, 2014).

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 conclusiones

La investigación se ha respaldado en una amplia revisión de fuentes académicas e informes técnicos, que han abordado aspectos cruciales como la calidad de las mezclas asfálticas y su durabilidad. Se han explorado diversas metodologías y técnicas para evaluar y rehabilitar estas mezclas. Estos aspectos han sido fundamentales para llevar a cabo los ensayos en las muestras extraídas del pavimento analizado. Los resultados indican que, a pesar de contar con un porcentaje adecuado de emulsión asfáltica, las muestras no cumplen con los estándares requeridos en términos de estabilidad y flujo, lo que evidencia el impacto del deterioro prematuro de los pavimentos. Esto se debe principalmente a la granulometría de los agregados de $\frac{3}{4}$ y $\frac{1}{2}$ pulgada, lo que afecta negativamente su desempeño y eficacia en la aplicación.

La propuesta de briqueta, con una concentración de emulsión del 4.7% y una cuidadosa combinación de agregados, demuestra un rendimiento excelente en términos de estabilidad y resistencia, siendo esta caracterizada para un tráfico muy pesado y al tiempo que ofrece una eficiencia en costos de mantenimiento significativa. Esta combinación equilibrada de materiales se presenta como una opción económica y duradera para proyectos de rehabilitación de pavimentos urbanos, cumpliendo con los objetivos de rendimiento y rentabilidad.

La aplicación de la emulsión asfáltica mediante máquina bacheadora muestra un potencial para reducir el impacto ambiental en comparación con la aplicación manual. Aunque ambos métodos pueden generar contaminación del suelo y olores, la técnica controlada de la máquina bacheadora puede mitigar estos efectos, así como minimizar el consumo de energía y la generación de residuos durante el proceso. Esta estrategia puede contribuir a una aplicación más sostenible de emulsiones asfálticas en proyectos de pavimentación urbana, alineándose con los objetivos de preservación ambiental y ecoeficiencia.

5.2 Recomendaciones

Para obtener el muestreo de probetas de asfaltos, se recomienda obtener muestras de bacheo, donde la profundidad del bacheo sea mayor a 5.5 cm de espesor, con la finalidad de evitar muestras de la capa de pavimento antiguo con muestra diferente de granulometría y cemento asfáltico.

Cuando el agregado grueso por sí solo, no cumple con los requerimientos de granulometría, es importante aplicar agregado fino para cumplir con los porcentajes de pasantes en tamices de agregado fino.

Es importante realizar la compactación de briquetas debidamente, con la finalidad de manipular el espécimen sin el problema que se deshaga la probeta al retirarla al recipiente.

Para la consideración del bacheo es necesario evaluar el estado del pavimento, las condiciones de utilidad y afectaciones secundarias que deben ser corregidas, para evitar nuevas degeneraciones en las nuevas habitaciones realizadas.

La propuesta de tratamiento de bacheo para la calles y avenidas principales afectadas por el deterioro, debe ser una combinación entre el tratamiento sellado de grieta con una mezcla de emulsión y arena, con el tratamiento de bacheo superficial que incluye el uso de áridos gruesos.

BIBLIOGRAFÍA

- AASHTO T 164 - Standard Method of Test for Quantitative Extraction of Asphalt Binder from Hot Mix Asphalt (HMA)* | *GlobalSpec*. (s/f). Recuperado el 26 de febrero de 2024, de <https://standards.globalspec.com/std/13053329/AASHTO%20T%20164>
- Aboutalebi Esfahani, M., & Khoddami, S. M. N. (2022a). Evaluation and identification of parameters affecting the penetration of emulsion bitumen on aggregates. *Australian Journal of Civil Engineering*, 20(1), 195–207. <https://doi.org/10.1080/14488353.2021.1945258>
- Aboutalebi Esfahani, M., & Khoddami, S. M. N. (2022b). Evaluation and identification of parameters affecting the penetration of emulsion bitumen on aggregates. *Australian Journal of Civil Engineering*, 20(1), 195–207. <https://doi.org/10.1080/14488353.2021.1945258>
- Alaamri, R. S. N., Kattiparuthi, R. A., & Koya, A. M. (2017). Evaluation of Flexible Pavement Failures-A Case Study on Izki Road. *International Journal of Advanced Engineering, Management and Science*, 3(7), 741–749. <https://doi.org/10.24001/IJAEMS.3.7.6>
- Amândio, A. M., Coelho das Neves, J. M., & Parente, M. (2021). Intelligent planning of road pavement rehabilitation processes through optimization systems. *Transportation Engineering*, 5, 100081. <https://doi.org/10.1016/J.TRENG.2021.100081>
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). *AASHTO guide for design of pavement structures, 1993*.
- AMORIM, E. F. (2018). Uso de residuos de caucho en pavimentos de asfalto: una revisión de literatura. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, 2(7), 39–47. <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-civil/pavimentacao-asfaltica-3>
- Aquino, F., Dillan, J., Zúñiga, C., & Enrique, G. (2022). Estado de conservación de un pavimento flexible mediante métodos convencionales de evaluación – Avenida Las Palmeras, Los Olivos 2021. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/117290>

- Aramayo, L., Silva Junior, C. A. P., Fontenele, H. B., Aramayo, L., Silva Junior, C. A. P., & Fontenele, H. B. (2019). Escala visual para evaluación de pavimentos urbanos: *Revista ingeniería de construcción*, 34(1), 45–54. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732019000100045>
- Ávila, E., Albarracín, F., & Bojorque, J. (2015). Evaluación de pavimentos en base a métodos no destructivos y análisis inverso. *Maskana*, 6(1), 149–167. <https://doi.org/10.18537/MSKN.06.01.11>
- Behiry, A. E. A. E. M. (2013). Evaluation of steel slag and crushed limestone mixtures as subbase material in flexible pavement. *Ain Shams Engineering Journal*, 4(1), 43–53. <https://doi.org/10.1016/J.ASEJ.2012.07.006>
- Cai, J., Pei, J., Luo, Q., Zhang, J., Li, R., & Chen, X. (2017). Comprehensive service properties evaluation of composite grouting materials with high-performance cement paste for semi-flexible pavement. *Construction and Building Materials*, 153, 544–556. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2017.07.122>
- Castro-Zabala, A. J., & Gamboa-Gordillo, P. D. (2022). *Diseño de Mezcla con Residuos de Demolición de Pavimento Asfáltico Para la Rehabilitación de Vías Urbanas en el Área Metropolitana de Bucaramanga*. Universidad de Santander. <https://repositorio.udes.edu.co/handle/001/8053>
- Chao, C. C., Lin, D. F., Luo, H. L., Wang, Y. K., & Lo, W. (2017). Non-destructive evaluation of a city roadway for pavement rehabilitation: A case study. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 11(7), 667–678. <https://doi.org/10.1016/j.ijprt.2017.12.002>
- Cobos Maldonado, T. G. (2015). *Rehabilitación de la capa de rodadura de las calles Arizaga entre calle 9 de Mayo y Guayas de la ciudad de Machala Provincia de El Oro*. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/5089>
- Cong, L., Shi, J., Wang, T., Yang, F., & Zhu, T. (2019). A method to evaluate the segregation of compacted asphalt pavement by processing the images of paved asphalt mixture. *Construction and Building Materials*, 224, 622–629. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2019.07.041>

- Cruz, P., & Henry, G. (2023). *Análisis del pavimento de la avenida circunvalación norte desde la avenida Las Palmeras hasta la vía La Primavera en la ciudad de Machala*. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/21231>
- Cruz-Muñoz, F., & Cruz-Muñoz, F. (2018). LA MOVILIDAD URBANA: DIMENSIONES Y DESAFÍOS. *EURE (Santiago)*, 44(133), 277–281. <https://doi.org/10.4067/S0250-71612018000300277>
- De, D., Cruz, L., Asesor, C., Jane, M. I., & Llanos, E. Á. (2021). Comparación técnico - económica de un pavimento convencional y un pavimento modificado con incorporación de plástico reciclado pet en su capa de rodadura, Cajamarca 2020. *Universidad Privada del Norte*. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/27742>
- Dhakal, N., Elseifi, M. A., & Zhang, Z. (2016). Mitigation strategies for reflection cracking in rehabilitated pavements – A synthesis. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 9(3), 228–239. <https://doi.org/10.1016/J.IJPRT.2016.05.001>
- Diaz, L. G. (2016). Creep performance evaluation of Cold Mix Asphalt patching mixes. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 9(2), 149–158. <https://doi.org/10.1016/J.IJPRT.2016.04.002>
- Ecuador, S., Alberto, C., Argandoña, Z., & Maldonado, L. (2020). *Desarrollo agrario y problemática agroindustrial en el norte de la provincia de Manabí*. <http://repositorio.uasb.edu.ec/handle/10644/7681>
- Ecuador, S., Belén, M., Samaniego, M., Enrique, P., & Peralta, O. (2019). *Estrategias institucionales para la mejora de la seguridad vial en Ecuador y Chile, caso de análisis de los pilares 3 y 4 del Decenio de Acción*. <http://repositorio.uasb.edu.ec/handle/10644/6848>
- Ecuadoriana Vial, N. (s/f-a). *MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS DEL ECUADOR SUBSECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE*.
- Ecuadoriana Vial, N. (s/f-b). *MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS DEL ECUADOR SUBSECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE*.
- Ecuadoriana Vial, N. (s/f-c). *MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS DEL ECUADOR SUBSECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE*

VOLUMEN N° 3 ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS Y PUENTES.

- Enrique, P., Tarma, A., & Paima, A. M. (2023). Elaboración de un diseño de mezcla para la estabilización de un suelo con emulsión asfáltica tipo CSS-1h y pavimento asfáltico reciclado (RAP) basado en el procedimiento de Marshall modificado. *Infraestructura Vial*, 25(44), 1–17. <https://doi.org/10.15517/IV.V25I44.53441>
- Gharieb, M., & Nishikawa, T. (2021). Development of Roughness Prediction Models for Laos National Road Network. *CivilEng 2021, Vol. 2, Pages 158-173*, 2(1), 158–173. <https://doi.org/10.3390/CIVILENG2010009>
- Gong, F., Cheng, X., Fang, B., Cheng, C., Liu, Y., & You, Z. (2023). Prospect of 3D printing technologies in maintenance of asphalt pavement cracks and potholes. *Journal of Cleaner Production*, 397, 136551. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2023.136551>
- Grobler, J. A., Taute, A., & Joubert, I. (2003). Pavement Evaluation and Rehabilitation Design Methodology Currently Used on Low-Volume Roads in Southern Africa. <https://doi.org/10.3141/1819b-44>, II(1819), 343–352. <https://doi.org/10.3141/1819B-44>
- Guerrero Veloza, E. M., & Pavimentos, E. en I. de. (2014). *Tratamiento superficial con emulsión asfáltica y análisis de costos respecto a placa huella*. <http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/13149>
- Guzmán, G. A., & Mogrovejo, D. E. (2017). Gestión sostenible del pavimento flexible, rígido y articulado del centro urbano del Cantón Girón. *Maskana*, 8, 207–217. <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/article/view/1980>
- Hafezzadeh, R., Autelitano, F., & Giuliani, F. (2021). Asphalt-based cold patches for repairing road potholes – An overview. *Construction and Building Materials*, 306, 124870. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2021.124870>
- Herrera, I. (2018). Posibles impactos del internet de las cosas en la administración de la cadena de suministros. *IV CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS*, 414. https://play.google.com/store/books/details/IV_congreso_internacional_de_ingenier%C3%ADas_La_ingeni?id=D6SLEAAAQBAJ&hl=es&gl=EC

- Herrera Salazar, J. P. (2022). Diseño de un pavimento rígido de alta resistencia inicial para la puesta de servicio del Aeropuerto de Chachapoyas, Amazonas 2022. *Repositorio Institucional - UCV*.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/115103>
- Huang, M., Dong, Q., Ni, F., & Wang, L. (2021). LCA and LCCA based multi-objective optimization of pavement maintenance. *Journal of Cleaner Production*, 283, 124583. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.124583>
- Hurtado Pardo, L. (2018). Estudio de las propiedades físico – mecánicas de adoquines elaborados con vidrio reciclado para pavimentos de transito ligero, Lima - 2018. *Repositorio Institucional - UCV*.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/36438>
- Informes Técnicos Pavimentos de Carreteras.* (s/f). Recuperado el 26 de febrero de 2024, de <https://www.piarc.org/es/PIARC-Base-Conocimiento-Carreteras-y-Transporte-Por-Carretera/Infraestructura-Vial-Resiliente/Firmes-Carreteras/Technical-Reports-Road-Pavements>
- Kamenchukov, A., Ishkov, A., Gajduk, A., & Voinash, S. (2023a). Conceptual Approach to Performance Assessment Road Repair and Maintenance. *Transportation Research Procedia*, 68, 670–679. <https://doi.org/10.1016/J.TRPRO.2023.02.093>
- Kamenchukov, A., Ishkov, A., Gajduk, A., & Voinash, S. (2023b). Conceptual Approach to Performance Assessment Road Repair and Maintenance. *Transportation Research Procedia*, 68, 670–679. <https://doi.org/10.1016/J.TRPRO.2023.02.093>
- Karimi, H. R., Khedri, E., Aliha, M. R. M., Shaker, H., & Jafari Haghighatpour, P. (2023). Repair efficiency evaluation for cracked asphalt mixture pavement in different ambient temperatures using bitumen and polymer concrete as repair materials. *Construction and Building Materials*, 369, 130556. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2023.130556>
- Khasawneh, M. A., & Alsheyab, M. A. (2020). Effect of nominal maximum aggregate size and aggregate gradation on the surface frictional properties of hot mix asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*, 244, 118355. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.118355>

- Kuleshov, A. (2018). COMPARATIVE ANALYSIS OF PAVEMENT RECONSTRUCTION METHODS. *Architecture and Engineering*, 3(1), 21–28. <https://doi.org/10.23968/2500-0055-2018-3-1-21-28>
- Lee, K. W. W., Wilson, K., & Hassan, S. A. (2017). Prediction of performance and evaluation of flexible pavement rehabilitation strategies. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 4(2), 178–184. <https://doi.org/10.1016/J.JTTE.2017.03.005>
- Li, Y., Ding, H., Nie, Y., & Hesp, S. A. M. (2021). Effective control of flexible asphalt pavement cracking through quality assurance testing of extracted and recovered binders. *Construction and Building Materials*, 273, 121769. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.121769>
- Llopis-Castelló, D., García-Segura, T., Montalbán-Domingo, L., Sanz-Benlloch, A., & Pellicer, E. (2020). Influence of Pavement Structure, Traffic, and Weather on Urban Flexible Pavement Deterioration. *Sustainability 2020, Vol. 12, Page 9717, 12(22)*, 9717. <https://doi.org/10.3390/SU12229717>
- López Pabón, C. C., & Pavimentos, E. en I. de. (2017). *Influencia del índice de rugosidad internacional (IRI) en el comportamiento funcional y toma de decisiones de gestión vial en el tramo comprendido entre Silvania (pr 78+600) y Fusagasugá (pr 64+000) de la doble calzada Bogotá – Girardot*. <http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/17025>
- Lu, Y., & Hajj, R. (2021). *Development of a Finite Element Framework for Modeling Flexible Pavement Maintenance Patching*. <https://doi.org/10.21203/RS.3.RS-676148/V1>
- Macorig, D., Ristori, C., Fiore, P., & Bertoli, V. (2023). Road maintenance: which future? *Transportation Research Procedia*, 69, 687–694. <https://doi.org/10.1016/J.TRPRO.2023.02.224>
- Malladi, H., & Castorena, C. (2019). Field measurements of emulsion application rates and pavement emulsion absorption in tack coats and chip seals. *Construction and Building Materials*, 218, 701–711. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2019.05.105>

- Meza Domínguez, Y. (2018). “Propiedades Físico – Mecánicas de adoquines elaborados con plástico reciclado para pavimento peatonal en el Centro Comercial Tambo Plaza, Lurín - 2017”. *Universidad César Vallejo*.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/26903>
- Montoya, M. A., & Haddock, J. E. (2019). Estimating asphalt mixture volumetric properties using seemingly unrelated regression equations approaches. *Construction and Building Materials*, 225, 829–837.
<https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2019.07.266>
- Moreira-Villavicencio, L., & Moreira-Villavicencio, L. (2022). Infraestructura y dotación de servicio del transporte público urbano de la ciudad de Portoviejo. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 24(2), 10–16.
<https://doi.org/10.14718/REVARQ.2022.24.3950>
- Mubaraki, M. (2016). Highway subsurface assessment using pavement surface distress and roughness data. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 9(5), 393–402. <https://doi.org/10.1016/J.IJPRT.2016.10.001>
- Nair, H., & McGhee, K. (2022). Evaluation of Different Surface Treatments to Extend Pavement Life. *Transportation Research Record*, 2676(8), 312–321.
<https://doi.org/10.1177/03611981221083604>
- Obaidat, M. T., & Al-kheder, S. A. (2006). Integration of geographic information systems and computer vision systems for pavement distress classification. *Construction and Building Materials*, 20(9), 657–672.
<https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2005.02.009>
- Obras Publicas, M. DE. (2002). *ESPECIFICACIONES GENERALES ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS Y PUENTES DE CAMINOS Y PUENTES*.
- Ouyang, J., Meng, Y., Tang, T., Miljković, M., & Tan, Y. (2021). Characterization of the drying behaviour of asphalt emulsion. *Construction and Building Materials*, 274, 122090. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.122090>
- Ouyang, Y., & Madanat, S. (2004). Optimal scheduling of rehabilitation activities for multiple pavement facilities: exact and approximate solutions. *Transportation*

- Research Part A: Policy and Practice*, 38(5), 347–365.
<https://doi.org/10.1016/J.TRA.2003.10.007>
- Pegin, P., Nemchinov, D., & Il'in, A. (2023). Analysis of the Effectiveness of the Development of the Road Network. *Bûlleten' rezul'tatov naučnyh issledovanij*, 2023(2), 71–80. <https://doi.org/10.20295/2223-9987-2023-2-71-80>
- Pinatt, J. M., Chicati, M. L., Ildefonso, J. S., & Filetti, C. R. G. D. arce. (2020). Evaluation of pavement condition index by different methods: Case study of Maringá, Brazil. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 4, 100100. <https://doi.org/10.1016/J.TRIP.2020.100100>
- Pino, Y. A., Giovana, M., & Alegre, M. Z. (2019). Evaluación del pavimento flexible de la avenida la Marina, entre Av. Central hasta Jirón Pacífico Nuevo Chimbote, Ancash, 2019 – propuesta de mejora. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/35880>
- Putro Pangestu, T., Akande Ahmad, W., Setiabudi Bawono, A., Aqif, M., PLN UIP Maluku, P., Kitring Maluku Utara, U., Wijaya Kusuma, J., & Baru, K. (2021). The performance of stability test using Bantak aggregate and AC50/70 as polymer on Marshall characteristic. *Journal of Engineering and Applied Technology*, 1(2), 97–109. <https://doi.org/10.21831/JEATECH.V1I2.39232>
- Radopoulou, S. C., & Brilakis, I. (2015). Patch detection for pavement assessment. *Automation in Construction*, 53, 95–104. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2015.03.010>
- Raposeiras, A. C., Rojas-Mora, J., Piffaut, E., Movilla-Quesada, D., & Castro-Fresno, D. (2016). Development of an estimative model for the optimal tack coat dosage based on aggregate gradation of hot mix asphalt pavements. *Construction and Building Materials*, 118, 1–10. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2016.05.045>
- Repositorio Institucional Universidad de Cuenca: Evaluación de pavimentos en base a métodos no destructivos y análisis inverso, caso de estudio vía Chicti-Sevilla de Oro.* (s/f). Recuperado el 26 de febrero de 2024, de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/5309>
- Roadside safety | WSDOT.* (s/f). Recuperado el 26 de febrero de 2024, de <https://wsdot.wa.gov/engineering-standards/design-topics/roadside-safety>

- Rodríguez, A. R. (2014). *La ingeniería de los suelos en las vías terrestres*. 2, 1–644. Capítulo XVI: Estabilización de suelos con cemento. En *La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres*, Vol II
- Rojas Vásquez, A. J. (2020). *Reciclado de pavimento flexible de la Av. Leoncio prado, con adición de asfalto modificado con polímeros en el distrito de Chilca, Huancayo - 2018*. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/7873>
- Salazar Noboa, G. F. (2008). *Sistema institucional de gestión de las carreteras de segundo orden del Ecuador, para disminuir costos de mantenimiento vial y de operación de vehículos*. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/2164>
- Samsuri, S., Surbakti, M., Tarigan, A. P., & Anas, R. (2019). A Study on the Road Conditions Assessment Obtained from International Roughness Index (IRI): Roughometer Vs Hawkeye. *Simetrikal: Journal of Engineering and Technology*, 1(2), 103–113. <https://doi.org/10.32734/JET.V1I2.756>
- Shah, Y. U., Jain, S. S., Tiwari, D., & Jain, M. K. (2013). Development of Overall Pavement Condition Index for Urban Road Network. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 104, 332–341. <https://doi.org/10.1016/J.SBSPRO.2013.11.126>
- Tanikawa-Obregón, K., Paz-Gómez, D. M., Tanikawa-Obregón, K., & Paz-Gómez, D. M. (2021). El peatón como base de una movilidad urbana sostenible en Latinoamérica: una visión para construir ciudades del futuro. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 50, 33–38. <https://doi.org/10.15446/RBCT.N50.94842>
- Tarefder, R. A., Ahmad, M., & Hossain, M. I. (2016). Pavement maintenance procedures with and without milling materials. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 9(1), 20–29. <https://doi.org/10.1016/J.IJPRT.2016.01.001>
- Tene Narváez, C. L. (2022). *Metodología para la evaluación de vías rurales, Considerando la regularidad superficial de pavimentos Flexibles: estudio caso vía Santa Rosa, Bellavista, La Avanzada del cantón Santa Rosa, provincia de El Oro*. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/19273>

- Tennøy, A., & Hagen, O. H. (2021). Urban main road capacity reduction: Adaptations, effects and consequences. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 96, 102848. <https://doi.org/10.1016/J.TRD.2021.102848>
- Universidad Antonio Nariño: *Elaboración De Aditivos Para El Pavimento Asfaltico A Partir Del Plástico, Caucho De Neumático, Y Asfalto Recuperado Como, Una Solución Sostenible En La Pavimentación De Vías.* (s/f). Recuperado el 26 de febrero de 2024, de <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/7540>
- Vargas Guevara, A. J. (2022). *Efecto de adición de partículas de plástico reciclado en las propiedades físico-mecánicas de pavimento.* <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/36287>
- Wang, H., & Wang, Z. (2013a). Performance Evaluation of Pavement Preservation Using Long-Term Pavement Performance Data. *Airfield and Highway Pavement 2013: Sustainable and Efficient Pavements - Proceedings of the 2013 Airfield and Highway Pavement Conference*, 855–864. <https://doi.org/10.1061/9780784413005.070>
- Wang, H., & Wang, Z. (2013b). Performance Evaluation of Pavement Preservation Using Long-Term Pavement Performance Data. *Airfield and Highway Pavement 2013: Sustainable and Efficient Pavements - Proceedings of the 2013 Airfield and Highway Pavement Conference*, 855–864. <https://doi.org/10.1061/9780784413005.070>
- Wang, P., Hu, Y., Dai, Y., & Tian, M. (2017). Asphalt Pavement Pothole Detection and Segmentation Based on Wavelet Energy Field. *Mathematical Problems in Engineering*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/1604130>
- Wang, X., Ma, B., Su, W., Tao, J., Shi, H., & Si, W. (2023). Design and laboratory performance of reactive cold patching materials containing epoxy/unsaturated polyester blends. *Construction and Building Materials*, 377, 131152. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2023.131152>
- Xin, J., Akiyama, M., Frangopol, D. M., & Zhang, M. (2022). Multi-objective optimisation of in-service asphalt pavement maintenance schedule considering system reliability estimated via LSTM neural networks. *Structure and Infrastructure Engineering*, 18(7), 1002–1019. <https://doi.org/10.1080/15732479.2022.2038641>

- Xiong, H., Han, J., Wang, J., Ren, Q., & Wu, L. (2022). Application of high viscosity-high modulus modified asphalt concrete in bus rapid transit station pavement—A case study in Chengdu, China. *Case Studies in Construction Materials*, 17, e01337. <https://doi.org/10.1016/J.CSCM.2022.E01337>
- Yu, B., Gu, X., Ni, F., & Guo, R. (2015). Multi-objective optimization for asphalt pavement maintenance plans at project level: Integrating performance, cost and environment. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 41, 64–74. <https://doi.org/10.1016/J.TRD.2015.09.016>
- Zhang, J. (2022). Analysis on improving the service life of asphalt pavement. *Frontier Research: Road and Traffic Engineering*, 224–233. <https://doi.org/10.1201/9781003305002-31>
- Zhang, K., Zhang, Z., Luo, Y., & Huang, S. (2017). Accurate detection and evaluation method for aggregate distribution uniformity of asphalt pavement. *Construction and Building Materials*, 152, 715–730. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2017.07.058>
- Zhao, X., Xue, L., & Xu, F. (2021). Asphalt pavement paving segregation detection method using more efficiency and quality texture features extract algorithm. *Construction and Building Materials*, 277, 122302. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2021.122302>
- Zhao, Y., Goulias, D., & Peterson, D. (2021). Recycled Asphalt Pavement Materials in Transport Pavement Infrastructure: Sustainability Analysis & Metrics. *Sustainability*, 13(14), 8071. <https://doi.org/10.3390/SU13148071>
- Zhou, F., Hu, S., & Newcomb, D. (2020). Development of a performance-related framework for production quality control with ideal cracking and rutting tests. *Construction and Building Materials*, 261, 120549. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.120549>
- Zhou, F., Steger, R., & Mogawer, W. (2021). Development of a coherent framework for balanced mix design and production quality control and quality acceptance. *Construction and Building Materials*, 287, 123020. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2021.123020>