

**ESTRATEGIAS DE MEJORA DE LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE PAVIMENTOS  
ASFÁLTICOS: ESTUDIO DE CASO TRAMO AV. PASEO DE LOS LIBERTADORES ENTRE  
LA CALLE 170 HASTA LA CALLE 140**

Jorge Iván Rodríguez Garzón

Dayani Casallas Muñoz

Danilo Esteban González Criollo

Docente: Héctor Andrés López Naranjo

Universidad La Gran Colombia

Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales

Especialización en Gerencia

Bogotá, D.C., 2024

[dgonzalezc2@ulagrancolombia.edu.co](mailto:dgonzalezc2@ulagrancolombia.edu.co)

[dcasallasm@ulagrancolombia.edu.co](mailto:dcasallasm@ulagrancolombia.edu.co)

[jrodriguezg11@ulagrancolombia.edu.co](mailto:jrodriguezg11@ulagrancolombia.edu.co)

## Resumen

El objetivo de este estudio es diseñar estrategias para mejorar los procesos constructivos de pavimentos asfálticos en la Avenida Paseo de los Libertadores, enfocándose en el tramo entre la Calle 170 y la Calle 140 en Bogotá. Se identifica como problema principal el deterioro acelerado del pavimento debido a la insuficiente capacidad de las lasas para manejar el tráfico mixto y los problemas derivados de un drenaje inadecuado. Utilizando una metodología cualitativa y de revisión documental, el estudio evalúa las condiciones actuales del pavimento, compara los hallazgos con las normativas vigentes y propone mejoras tecnológicas y de materiales. Este estudio muestra la importancia de adoptar un enfoque integrado que combine innovación tecnológica y sostenibilidad para mejorar la durabilidad y eficiencia del pavimento. Finalmente, se concluye que la implementación de las estrategias propuestas es importante para asegurar una infraestructura vial que responda efectivamente a las necesidades actuales y futuras, mejorando así la calidad de vida urbana y la sostenibilidad del desarrollo en Bogotá.

*Palabras clave: Infraestructura vial, tecnología en construcción, sostenibilidad urbana, evaluación de pavimentos.*

### **Abstract**

The objective of this study is to design strategies to improve the construction processes of asphalt pavements on Avenida Paseo de los Libertadores, focusing on the section between Calle 170 and Calle 140 in Bogotá. The main problem identified is the accelerated deterioration of the pavement due to the insufficient capacity of the slabs to handle mixed traffic and problems arising from inadequate drainage. Using a qualitative methodology and documentary review, the study assesses the current conditions of the pavement, compares the findings with existing regulations, and proposes technological and material improvements. This study highlights the importance of adopting an integrated approach that combines technological innovation and sustainability to enhance the durability and efficiency of the pavement. Finally, it is concluded that the implementation of the proposed strategies is crucial to ensure a road infrastructure that effectively meets current and future needs, thus improving urban quality of life and the sustainability of development in Bogotá.

*Keywords: Road infrastructure, construction technology, urban sustainability, pavement assessment.*

**Estrategias de Mejora de los Procesos Constructivos de Pavimentos Asfálticos:  
Estudio de Caso Tramo Av. Paseo de los Libertadores Entre la Calle 170 Hasta la  
Calle 140**

La ciudad de Bogotá, siendo la capital de Colombia, acoge a un gran número de personas procedentes de todo el país por motivos comerciales, turísticos, políticos, entre otros. Es importante asegurar una circulación óptima de tránsito, especialmente en los accesos a la ciudad, como lo es el tramo de la Autopista Norte estudiado, el cual ha experimentado deterioro en varias secciones a lo largo de su vida útil.

Lo anterior hace referencia a que para el tipo y niveles de tráfico presentes en los carriles mixtos (no Transmilenio), tanto el espesor como el ancho de las losas diseñadas y construidas resultan insuficientes, llevando a un deterioro prematuro por fatiga de las losas, exacerbado por problemas de filtraciones de agua debido al inadecuado drenaje. En los carriles de Transmilenio, aunque el ancho diseñado puede ser adecuado, el espesor no lo es.

Ahora bien, la diversidad de deterioros en las vías se debe a una amplia gama de causas y efectos. Por tanto, el diagnóstico de estos deterioros no solo se basa en una revisión visual, sino que también incluye un análisis detallado para fundamentar técnicamente las conclusiones (Tello-Cifuentes et al., 2021), es importante resaltar el registro de volúmenes de tráfico de la ciudad, que no solo ayuda a evaluar el flujo de tráfico actual en el tramo estudiado, sino que también juega un papel crucial en la comprensión del impacto y las características operativas de las vías.

Por su parte, Ronderos (2005) destaca en su estudio, en donde incluyó ensayos y mediciones de campo, así como el análisis de muestras, varias preocupaciones respecto al diseño original, en primer lugar, se observó que ni el ancho ni el espesor de las losas eran adecuados, y se identificó la ausencia de dovelas de transmisión de carga en las juntas longitudinales, lo cual habría reducido la deflexión. En segundo lugar y según lo indica el

Instituto Nacional de Vías (INVIAS, 2008) “hay dos factores críticos en la determinación del espesor de las losas de concreto y son: la presencia de dovelas de carga en las juntas transversales y los confinamientos laterales del pavimento, tales como bermas y bordillos” (p. 50). Estos aspectos permiten la transferencia de carga a las losas adyacentes, pero la falta de estos elementos conduce a una rápida degeneración del pavimento al ingresar agua por las grietas.

Adicional a lo anterior, Steer Davies (s.f.), como se cita en Ronderos (2005), menciona que en los casos en que se requiere reparar losas antiguas, las nuevas fallas reflejarían los problemas de las anteriores. Para lo cual su estudio recomienda la reconstrucción total en áreas con grandes deformaciones o fracturas en las losas, esto, utilizando los espesores apropiados para las nuevas estructuras. Así pues, se concluyó que los tramos entre la calle 80 y la calle 177 presentan un estado de serviciabilidad muy deteriorado, con una deflexión mayor a la admisible.

Lo anterior deviene importante porque entre los factores que han contribuido al estado actual de la vía se incluyen la pérdida de capacidad de soporte de la subrasante por deficiencias en el drenaje, la fatiga estructural y las diferencias en la calidad de las mezclas asfálticas usadas en reparaciones previas, así como el reflejo del estado de las losas de concreto en la carpeta asfáltica. Por tanto, la falla en los procesos constructivos, diseños inadecuados, y el uso incorrecto de materiales para el sellado de juntas predisponen a la estructura a una menor durabilidad debido a filtraciones que pueden causar socavación en los materiales granulares, llevando a la fractura total de la losa, sobre esto Pérez (2016) indica que, además de los volúmenes de tráfico, las causas principales de los defectos incluyen el corte superficial en algunas juntas, el sellado inadecuado de algunas placas, y prácticas constructivas deficientes como el curado inapropiado del concreto.

Adicionalmente, Arias-Rueda et al., (2021) argumentan que una brecha en la formación de los ingenieros civiles contribuye a los problemas observados, pues afirma que estos profesionales deben partir de un sólido entendimiento de las competencias necesarias para responder a las necesidades del entorno laboral, utilizando un enfoque que promueva el desarrollo de habilidades para identificar y resolver problemas específicos de la ingeniería civil mediante el uso eficiente de herramientas teóricas, recursos naturales, económicos, sociales, y tecnológicos. No obstante, algunos de los recién graduados carecen de estas competencias específicas y del conocimiento necesario para realizar reparaciones efectivas de manera inmediata, y esto es relevante, dado que los pavimentos continúan deteriorándose día a día, afectando la seguridad vial. Al tenor de esta concepción, es esencial que el ingeniero civil identifique correctamente la causa del daño para ejecutar una reparación adecuada y mantener el pavimento en servicio óptimo para el público.

En el ámbito vial, se reconocen diversas aplicaciones cuya ejecución contribuye significativamente al desarrollo urbano y la interconexión entre ciudades, mejorando el bienestar de sus habitantes. No obstante, se ha constatado que la realidad detrás de estos esfuerzos no es completamente ideal, ya que la congestión del tránsito urbano, con sus inherentes repercusiones económicas y sociales, se origina en la fricción entre vehículos dentro del flujo de tránsito. Por tanto, es posible afirmar que una planificación y mantenimiento deficientes de las vías son factores que propician una congestión innecesaria. Y es así, pues en numerosas urbanizaciones, es habitual encontrar carencias como la falta de demarcación clara de carriles, cambios inesperados en su número, y la colocación de paradas de autobús en puntos donde se reduce el ancho de la calzada, entre otras deficiencias que obstaculizan el tránsito fluido (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2003).

Desde la perspectiva ambiental, la aglomeración vehicular en áreas específicas no solo genera contaminación, sino también un impacto ambiental negativo. Según el informe mensual de la red de monitoreo del aire de Bogotá, las variaciones temporales en las concentraciones

de Black Carbon [BC] (material particulado) resaltan la importancia de este componente en el cambio climático y el deterioro de la calidad del aire. Lo anterior, considerando que el BC se destaca como uno de los contaminantes de vida corta con mayor impacto en el clima, la calidad del aire y la salud humana (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2022).

A la luz de lo anteriormente expuesto, el presente artículo busca diseñar estrategias dirigidas al mejoramiento de los procesos y procedimientos constructivos de la vía Auto norte en el tramo mencionado. Lo anterior, a través de primero, identificar los tipos de daños presentados en las estructuras de pavimentos, utilizando metodologías avanzadas de evaluación. Segundo, comparar estos daños con las normativas actuales del IDU Resolución 010910 de 2019 y Resolución 4561 de 2022 para entender cómo se alinean o divergen los procedimientos actuales con estas regulaciones. Y, tercero, proponer estrategias concretas que mitiguen los daños observados, con el fin de mejorar la durabilidad y eficiencia del pavimento en este tramo vital de la ciudad.

Finalmente, es importante mencionar que el presente estudio se enmarca en una metodología que combina enfoques cualitativos y de revisión documental para abordar los desafíos del mantenimiento y mejora de infraestructuras viales urbanas. Así las cosas, considerando las recomendaciones realizadas por Hernández et al. (2014) y Behar (2008), se optó por una investigación que profundiza en las condiciones actuales del pavimento y las estrategias de intervención propuestas. Lo anterior, a través de una revisión de fuentes secundarias, tales como artículos científicos, tesis académicas, trabajos de grado, libros especializados, informes técnicos gubernamentales y bases de datos especializados en ingeniería de pavimentos, se ha construido una sólida base teórica para comprender y abordar los desafíos específicos identificados en el estudio.

El desarrollo y mantenimiento de la infraestructura vial son esenciales para el crecimiento económico y la cohesión social de cualquier ciudad, para el presente estudio se

toma en consideración Bogotá Distrito capital y específicamente la Autonorte (Av. Paseo de Los Libertadores), una carretera vital que conecta diversos puntos neurálgicos en la ciudad y facilita el flujo diario de miles de vehículos y personas. Particularmente, el tramo entre la Calle 170 y la Calle 140, sentido norte-sur, es el eje central de la investigación debido a sus desafíos únicos en términos de congestión, deterioro y demanda de mejoras estructurales y funcionales que aseguren su óptimo funcionamiento.

Esta investigación, apunta a diseñar y proponer estrategias encaminadas al mejoramiento de los procesos y procedimientos constructivos específicamente para este tramo que sean innovadoras y sostenibles y que no solo atiendan las necesidades actuales de infraestructura, sino que, proyecten una visión a largo plazo que facilite la adaptación a las cambiantes demandas de la ciudad.

Se ha observado una problemática importante, y es en las formas de implementar mejoras de manera eficiente, a la vez que se minimicen los impactos negativos en el tráfico y en la vida de los ciudadanos, maximizando los recursos disponibles. Para el caso del tramo entre la Calle 170 y la Calle 140, sentido norte-sur la congestión vehicular, el deterioro acelerado del pavimento debido a condiciones climáticas adversas y el alto flujo de tránsito son solo algunas de las complicaciones que enfrentan, afectando así, no solo la calidad de vida de los habitantes y visitantes de Bogotá, sino que también inciden en la seguridad vial, el ambiente, y la economía local (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2022).

Este estudio ha buscado ofrecer una descripción concisa de los elementos clave que afectan a los pavimentos hidráulicos, las fallas más relevantes que los impactan y las causas más frecuentes de estas últimas. Dada la complejidad del tema y la imposibilidad de abarcar todas las peculiaridades que caracterizan a distintas regiones geográficas, se ha recomendado el uso de herramientas adecuadas para evaluar los daños y programar adecuadamente las tareas de mantenimiento (Miranda, 2010).

En cuanto a la Autopista Norte, se han identificado dos condiciones notablemente distintas en términos de calidad y servicio prestado. Rubén Linares ha analizado la importancia de implementar el modelo de Asociación Público-Privada, señalando que Bogotá enfrenta retrasos en la ampliación y mantenimiento de su infraestructura, además de limitaciones presupuestales que impiden cumplir con los estándares requeridos de cantidad y calidad, por lo que es fundamental comprender que esta situación repercute negativamente en la competitividad económica de la ciudad y en la calidad de vida de sus habitantes (López, 2021).

Por otro lado, y según lo indica Covarrubias (2012), aún se subestima el valor del mantenimiento y conservación de la infraestructura existente, siendo estas actividades más económicas que la reparación de pavimentos deteriorados. Este enfoque no solo ofrece mayor serviciabilidad y comodidad a los conductores, sino que también demanda personal cualificado y una gestión eficiente de recursos, incluyendo inspecciones frecuentes y detalladas de los pavimentos.

Conviene, por tanto, mencionar que este trabajo de investigación resalta su beneficio para estudiantes de ingeniería civil, profesionales recién graduados, constructores y demás personal técnico que inician en el campo profesional, considerando que sirve como referencia para contratistas y empresas consultoras dedicadas a la interventoría, al evidenciar las secuencias de fallos acumulados en los procesos de diseño, transporte y construcción de mezclas asfálticas.

De este modo, el estudio contribuye significativamente a la línea de investigación seleccionada (desarrollo económico y calidad de vida), enriqueciendo a la Facultad de Ingeniería de la universidad al documentar ampliamente las metodologías constructivas prevalentes. Esto permite a los profesionales en formación adquirir un conocimiento integral y holístico sobre la evaluación de pavimentos y el desarrollo de estrategias efectivas para mitigar

daños estructurales, mediante la integración de herramientas especializadas de relevancia en el ámbito de la ingeniería.

En la búsqueda por optimizar la infraestructura vial en áreas urbanas, surge la pregunta central de nuestro estudio: ¿Cómo impactan las estrategias de mejora aplicadas a los procesos y procedimientos constructivos en la eficiencia y durabilidad de la infraestructura vial en la Autonorte (Av. Paseo de Los Libertadores), sentido norte-sur, en el tramo comprendido entre la Calle 170 y la Calle 140, en términos de reducción de tiempos de ejecución, costos y aumento de la calidad del pavimento?

## **Revisión de la literatura – Marco Teórico**

### ***Pavimentos y sus características***

En el marco de la infraestructura vial, los pavimentos juegan un rol relevante proporcionando superficies seguras y confortables tanto para vehículos como para peatones. Según el INVÍAS (2008) en Colombia, se regula y establece los criterios para los estudios de pavimentos a través de manuales y guías, clasificando los daños en pavimentos flexibles en categorías como fisuras, deformaciones, pérdida de capas estructurales, daños superficiales, entre otros. Esta clasificación muestra la complejidad inherente al mantenimiento y rehabilitación de estas estructuras.

Por su lado, Montejo (2002) complementa esta visión, destacando que un pavimento es una estructura estratificada, diseñada y construida con materiales específicos y técnicas de compactación adecuadas, cuyo desempeño debe resistir las cargas del tránsito durante su vida útil, lo cual refleja la importancia de un diseño y construcción técnica meticulosos para asegurar la longevidad y la funcionalidad del pavimento.

Un análisis de esta pretensión señala que el objetivo primordial de estas estructuras no se limita solo a su existencia física, sino también a su capacidad para ofrecer comodidad, seguridad y economía a los usuarios. Por lo tanto, la necesidad de obras de rehabilitación se

da no solo por el deterioro visible sino por factores como la incomodidad en la circulación, exceso de defectos superficiales, y una capacidad estructural que ya no cumple con las demandas actuales del tránsito.

En la presente investigación, la relación entre estos estudios y el contexto actual señala la relevancia de adoptar un enfoque integral en el diseño, mantenimiento y rehabilitación de pavimentos. La consideración cuidadosa de las características y daños potenciales, junto con un enfoque proactivo hacia la rehabilitación y el mantenimiento, es relevante para mejorar la infraestructura vial y, por ende, la calidad de vida de los ciudadanos. Lo anterior, se encamina a hacia promover la sostenibilidad, seguridad y eficiencia en el desarrollo de la red vial.

### ***Mantenimiento y rehabilitación vial***

El mantenimiento vial como se ha mencionado es una actividad esencial en la gestión de infraestructuras, cuyo objetivo primordial es conservar las carreteras en condiciones óptimas para asegurar un transporte cómodo, seguro y económico. Según el INVIAS (2008), esta tarea requiere un enfoque proactivo para mitigar los efectos del deterioro natural y el desgaste por uso, contribuyendo a extender la vida útil de los caminos. Así las cosas, la importancia de un mantenimiento vial efectivo se refleja no solo en la preservación de la infraestructura, sino también en su impacto positivo sobre la economía nacional, mejorando la comodidad y seguridad de los usuarios y asegurando la transitabilidad constante, lo que a su vez favorece la regularidad, puntualidad y seguridad en los servicios de transporte.

Ahora bien, este mantenimiento abarca una amplia gama de actividades, desde operaciones simples hasta tareas complejas, incluyendo la inspección y cuidado de todos los componentes de la carretera, tales como drenajes, muros, calzadas, señalizaciones y túneles. Estas actividades se clasifican en rutinarias y periódicas, dependiendo de su naturaleza y frecuencia (INVIAS, 2008). Aunque los trabajos de mantenimiento vial están exentos de licencia

ambiental según el Decreto 2041 de 2014, se subraya la necesidad de obtener los permisos ambientales requeridos, resaltando la responsabilidad de los contratistas en este aspecto.

Según lo antes descrito, es posible afirmar entonces que la rehabilitación de las estructuras de pavimento adquiere mayor relevancia y costo a medida que avanzan su deterioro y los desafíos impuestos por factores ambientales y el tráfico. El enfoque de INVIAS (2008) hacia la administración de pavimentos se centra en la preservación de la inversión inicial, destacando la importancia de aplicar tratamientos de mantenimiento y rehabilitación de manera oportuna para prolongar la vida de estas estructuras, lo cual deviene importante porque es necesario determinar el momento adecuado para la intervención, basándose en la condición actual del pavimento, con el fin de realizar desde correcciones menores hasta reconstrucciones completas que restablezcan la capacidad estructural de la carretera.

Adentrándose en la investigación que se desarrolló en la Avenida Paseo de los Libertadores en Bogotá, estos principios y prácticas de mantenimiento y rehabilitación vial ofrecen un marco de referencia crucial para la planificación y ejecución de intervenciones. Por consiguiente, al adoptar un enfoque integral que abarque desde el mantenimiento rutinario hasta la rehabilitación estructural, basándose en evaluaciones periódicas de las condiciones del pavimento, es posible asegurar no solo la prolongación de la vida útil de la infraestructura sino también la mejora continua en la calidad del servicio de transporte.

### ***Defectos y deterioros de las estructuras de pavimentos***

La metodología del Índice de Condición del Pavimento [PCI], como lo expone Díaz (2014), constituye una herramienta valiosa en la ingeniería de pavimentos, proporcionando un marco cuantitativo para evaluar el estado de los pavimentos, desde un pavimento fallado (PCI de 0) hasta uno en perfecto estado (PCI de 100). El PCI se calcula a partir de un detallado inventario visual que clasifica los daños en términos de su clase, severidad y cantidad, permitiendo no solo evaluar la integridad estructural del pavimento sino también su condición

operativa. De este modo, se facilita la identificación de las causas subyacentes de los deterioros, ya sean estas relacionadas con el tráfico o con factores climáticos, ofreciendo así una base sólida para la toma de decisiones en materia de mantenimiento y rehabilitación vial.

Al tenor de esta concepción, la innovación de Díaz (2014), en el desarrollo del PCI radica en la introducción de los valores deducidos, que funcionan como factores de ponderación para cuantificar el impacto de distintas combinaciones de daños en la condición general del pavimento. Esta metodología aborda la complejidad inherente a la evaluación de pavimentos, facilitando la formulación de un índice que considera de manera integral los múltiples escenarios de deterioro posibles. Al hacerlo, supera los desafíos asociados con la diversidad de condiciones que pueden presentar los pavimentos, proporcionando un indicador confiable de su estado.

Indefectiblemente, esta herramienta nos permite identificar de manera efectiva las áreas críticas que requieren atención prioritaria, así como planificar intervenciones de mantenimiento y rehabilitación que sean tanto oportunas como eficientes. Por lo tanto, la integración del PCI en la estrategia de mantenimiento y rehabilitación vial para la Avenida Paseo de los Libertadores representa, por tanto, un paso adelante hacia la optimización de recursos y la prolongación de la vida útil de la infraestructura. Al adoptar un enfoque basado en evidencia y cuantitativamente riguroso, tal como el propuesto por Díaz (2014), se asegura que las inversiones en el mantenimiento vial no solo sean efectivas en el corto plazo, sino que también contribuyan a la sostenibilidad y eficiencia de la red vial en el largo plazo. Así pues, este enfoque, fundamentado en principios de ingeniería avanzada y análisis detallado, establece un modelo replicable para la gestión de infraestructuras viales en otras partes de la ciudad y el país.

## ***Métodos de diseño para estructuras de pavimentos***

En Colombia, la metodología para el diseño de pavimentos se rige por las normativas internacionales establecidas por la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transporte [AASHTO] (1993) y por la Portland Cement Association [PCA] (1984), las cuales han sido adaptadas y compiladas en el manual de diseño de pavimentos del INVÍAS (2008). Este manual estructura su contenido enfocándose en aspectos como el diseño de pavimentos de concreto, tales como las características del concreto mismo —incluyendo el módulo de rotura y el módulo de elasticidad—, la transferencia de cargas entre losas, el diseño y clasificación de juntas, y sistemas de transmisión de cargas. Adicionalmente, aborda el mantenimiento de pavimentos de concreto, cubriendo aspectos como la reparación del material de juntas y las superficies de las losas.

Esta aproximación integral permite la creación de pavimentos que cumplan con los más altos estándares de calidad y durabilidad y también permite la implementación de estrategias de mantenimiento efectivas que aseguran la prolongación de su vida útil y la optimización del uso de recursos.

De este modo, la integración de estas prácticas en la planeación y mantenimiento de la infraestructura vial de la Avenida Paseo de los Libertadores enfatiza un compromiso con la excelencia técnica y la sostenibilidad, ya que, al seguir estas directrices, no solo se avanza hacia la mejora de la infraestructura vial existente, sino que también se sientan las bases para futuras expansiones y mejoras dentro de la ciudad y más allá.

## ***Normativa de las especificaciones de construcción***

Las especificaciones generales de construcción de pavimentos en Colombia, dictadas por el INVÍAS mediante la Resolución 4561 del 29 de noviembre de 2022, constituyen la columna vertebral normativa para el sector constructivo de infraestructura vial en el país. Este documento detalla los estándares de calidad para los materiales empleados en la construcción

de pavimentos, así como define las responsabilidades de los distintos actores involucrados en la intervención de vías. Así las cosas, se afirma nuevamente que la rigurosidad en el control y aseguramiento de la calidad durante la fase constructiva es un aspecto fundamental.

A nivel local, las especificaciones de construcción del Instituto de Desarrollo Urbano [IDU] complementan este marco normativo. La Resolución 010910 de 2019 del IDU adopta estas especificaciones, rigiendo así la construcción y calidad de materiales en proyectos de infraestructura vial dentro de su jurisdicción. Esta dualidad normativa refleja una estructura bien establecida para la supervisión, levantamiento de datos y evaluación de daños en pavimentos, garantizando que tanto los proyectos nacionales como los locales se ejecuten bajo un estándar de calidad unificado y riguroso.

Finalmente, este enfoque normativo, basado en las resoluciones de INVÍAS e IDU, permitió enfocar los esfuerzos en la consecución de infraestructuras viales que no solo cumplan con las expectativas actuales, sino que también estén preparadas para enfrentar los desafíos futuros.

## **Estado del Arte**

### ***Antecedentes Nacionales***

Primeramente, Goenaga (2014) profundiza en un plan de mantenimiento para carreteras, analizando el flujo de caja y los costos de reparación de pavimentos. Su objetivo principal es establecer una programación eficiente de intervenciones, basándose en ocho factores financieros, para determinar los costos óptimos a largo plazo, por medio de este estudio se concluye que, considerando los altos costos de reparación, los pavimentos rígidos ofrecen una mayor economía a largo plazo en comparación con los pavimentos flexibles, especialmente en vías de alto tráfico, subrayando la importancia de optimizar el ciclo de vida de las infraestructuras viales para mejorar su sostenibilidad.

En el estudio realizado por Uribe (2014), se analiza el comportamiento de la carpeta asfáltica en el Puente El Cortijo de Bogotá, D.C. Este, inicia con una revisión bibliográfica y visita de campo, utilizando manuales del INVIAS para inspecciones visuales. Se identifican y cuantifican daños, proponiendo soluciones y mejoras basadas en la tipología de daños observados. Destaca la necesidad de guías prácticas para optimizar la intervención y conservación de infraestructuras viales.

Del mismo modo, en el estudio de Perdomo y Rozo (2016), se examina el impacto operacional de las demoras en el proyecto “Avenida La Sirena” sobre el tráfico en la Calle 153 de Bogotá, entre la Autopista Norte y la Avenida Boyacá. Utilizando análisis de tráfico y modelos predictivos, identifican un incremento significativo en los niveles de congestión y tiempos de demora, sugiriendo que el retraso en la expansión de la vía ha deteriorado la eficiencia del tráfico. Concluye que es vital completar el proyecto para aliviar la congestión y mejorar la movilidad urbana.

Asimismo, Campagnoli (2017) en su estudio examina dos experiencias significativas en la pavimentación de caminos de Bajos Volúmenes de Tráfico (BVT) en Chile y Colombia, destacando programas de conservación y optimización de mezclas asfálticas con aditivos comerciales, enfocándose en la necesidad de rasantes adecuadas y drenajes en caminos rurales, junto con una conservación efectiva post-intervención. Se concluye entonces que, a pesar de los avances tecnológicos, la correcta selección de superficies y el mantenimiento son cruciales para maximizar las inversiones en la red vial terciaria, haciendo eco de la necesidad de innovación constante y adaptación a las condiciones locales para el desarrollo de infraestructuras viales sostenibles.

En el documento del Departamento Nacional de Planeación (DNP, 2017) se detalla un proyecto tipo para la construcción de pavimento rígido en vías urbanas de bajo tránsito. El objetivo es ofrecer una metodología y especificaciones técnicas que faciliten la formulación de proyectos de pavimentación por entidades territoriales, promoviendo ahorros significativos en

tiempo y costos. La metodología incluye análisis de condiciones existentes, recomendaciones de diseño y criterios de implementación, asegurando la adaptabilidad del proyecto a las particularidades de cada localidad. Los hallazgos clave resaltan la importancia de adecuar el proyecto a las realidades locales para garantizar su éxito y sostenibilidad.

Por su parte, Ramírez y Rojas (2019) a través de su estudio proponen una guía para la construcción de losas de pavimento que requieren menos mantenimiento periódico, destacando la importancia de nuevos materiales que mejoren la resistencia a fatiga por reflexión y recomienda evaluar el uso de geomallas y otros refuerzos para extender la vida útil de los pavimentos.

Por la misma línea se encuentra el trabajo de Martínez y Noguera (2020), esta investigación aplica modelos que adaptan las condiciones de pavimento en Barranquilla para evaluar su serviciabilidad, usando enfoques tanto determinísticos como probabilísticos, los autores concluyen que realizar evaluaciones periódicas mejora la seguridad, reduce costos y mejora la calidad de vida al garantizar vías en buen estado.

Por su parte, se encuentra el estudio realizado por Baracaldo y Rodríguez (2020), en donde se compara las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas MD-20 y MS-20 modificadas con fibras de poliolefina y aramida para estaciones de Transmilenio en Bogotá. El trabajo incluye una revisión bibliográfica y análisis de las propiedades mecánicas mediante ensayos de laboratorio, enfocándose en el comportamiento dinámico y la relación costo-vida útil. Los resultados indican que la mezcla modificada ofrece mejor desempeño en términos de resistencia a la deformación y durabilidad, siendo una opción viable para mejorar la infraestructura de transporte público de Bogotá.

Del mismo modo, En el estudio realizado por Tello-Cifuentes et al., (2021), se presenta una metodología innovadora para evaluar el deterioro en pavimentos flexibles utilizando fotogrametría terrestre y redes neuronales. La metodología consta de seis etapas que incluyen

la captura de imágenes, su preprocesamiento, segmentación, extracción de características, clasificación con redes neuronales y evaluación del área de afectación. El enfoque fue probado con imágenes reales de pavimento, demostrando una alta precisión (96%) y sensibilidad (93,33%) en la identificación de tres tipos de deterioro: grietas longitudinales, piel de cocodrilo y baches. Este enfoque promete mejorar la eficiencia de los planos de mantenimiento de infraestructuras viales reduciendo tiempo y costos.

Finalmente, en el trabajo realizado por Abril et al., (2022), se investiga el periodo de desempeño de tres tipos de mezclas asfálticas prefabricadas para parcheo en pavimento flexible en Bogotá DC Utilizando ensayos de granulometría, gravedad específica, y resistencia al agua, concluyen que las mezclas tipo II y III son viables para tráficos bajos con un período de desempeño de cinco a quince meses, mientras que la mezcla tipo I se considera inadecuada debido a su desempeño desfavorable.

### ***Antecedentes Internacionales***

En el estudio realizado por Leiva-Villacorta y Vargas-Nordcbeck (2017), se exploran las mejores prácticas para el uso de Pavimento Asfáltico Recuperado (RAP) en Costa Rica. El documento ofrece directrices propuestas para la especificación, diseño, producción, ensayos y colocación de mezclas de RAP, enfatizando la reducción de costos y la mejora de la sostenibilidad en infraestructuras de transporte. Incluye recomendaciones específicas sobre cuándo considerar el fresado en la rehabilitación del pavimento, prácticas óptimas para manejo y almacenamiento de RAP, diseño de mezclas, producción y controles de calidad durante la producción de mezclas con RAP.

Seguidamente, en el estudio de González-Fernández, et al., (2020), se desarrolla una metodología para evaluar pavimentos usando el Índice de Condición del Pavimento (PCI). Aplicando esta metodología al tramo Seminario Bautista-Loma la Cruz de la Carretera Central en Cuba, identifican que el estado del pavimento es regular. La metodología incluye

inspecciones visuales detalladas y cálculos del PCI para determinar la condición del pavimento, destacando la importancia de un mantenimiento apropiado para prolongar su vida útil y funcionalidad. Esto resalta la necesidad de intervenciones de conservación para mantener la eficacia de las carreteras.

Así también, en el estudio de Pijush et al., (2020), se examina la eficacia de los polímeros superabsorbentes en la mejora de la resistencia al congelamiento y descongelamiento del hormigón. La investigación incluye pruebas de laboratorio utilizando hormigón estándar y mezclas con adición de polímeros superabsorbentes, evaluando su resistencia mecánica y porosidad. Los resultados indican una mejora significativa en la durabilidad del hormigón tratado con polímeros frente a ciclos de congelamiento y descongelamiento, sugiriendo su utilidad en climas fríos para prolongar la vida útil del hormigón.

Por su parte, la investigación de Sequeira et al., (2021) presentado para Universidad de Costa Rica Lanamme ofrece una guía para la inspección y reparación de deterioros en pavimentos de concreto hidráulico como herramienta para inspectores de campo, promoviendo prácticas adecuadas y duraderas en la reparación de pavimentos rígidos, lo cual se alinea al presente trabajo porque precisamente se busca mejorar los procesos constructivos y de mantenimiento de pavimentos asfálticos en contextos urbanos complejos como el de Bogotá.

Del mismo modo, en el estudio de Tabakovic et al. (2022), se evalúan las propiedades de curación del asfalto de 10 mm utilizando cápsulas de alginato conductoras que encapsulan un rejuvenecedor. Utilizando calentamiento por inducción, las cápsulas demostraron mejorar la resistencia a la tracción y la sensibilidad al agua del asfalto. El estudio confirma que pequeñas cantidades de cápsulas mejoran las características mecánicas del asfalto sin degradar su rendimiento, proporcionando un método eficaz para el mantenimiento del pavimento de asfalto. Sin embargo, el aumento de las cápsulas en la mezcla a más del 5% reduce la resistencia del

asfalto, sugiriendo un equilibrio delicado en su concentración para la optimización del rendimiento.

Asimismo, Chen et al. (2022), investigan la calidad de la construcción de pavimentos de asfalto utilizando tecnología de ensayos no destructivos. Se utilizan un radar de penetración terrestre tridimensional (GPR) y un medidor de densidad no nuclear para establecer un modelo de dieléctrica-porosidad constante. Este método permite evaluar de manera precisa la calidad constructiva de los pavimentos al correlacionar el constante dieléctrico local media con la porosidad para proporcionar una guía teórica para futuras aplicaciones en procesos prácticos.

Seguidamente, Michalski et al., (2022), exploran la interacción entre la Gestión de Construcción Lean y la Tecnología de Modelado de Información de Construcción (BIM) mediante una revisión sistemática de la literatura. Se destacan las ventajas de su uso conjunto, como la eficiencia y sostenibilidad en proyectos de construcción, y se identifican desafíos como la implementación simultánea y la resistencia al cambio. Los hallazgos sugieren la necesidad de más investigación para optimizar la implementación de estas tecnologías en la gestión de proyectos de construcción.

Finalmente, el estudio de Fanijo et al., (2023), se realiza una revisión exhaustiva sobre el uso de agregados de concreto reciclado (RCA) para la construcción de pavimentos, destacando su importancia para la sostenibilidad ambiental. Se compara la eficacia del RCA con la de los agregados naturales (NA) en términos de propiedades físicas, químicas, mecánicas y de durabilidad. El documento enfatiza que el uso de RCA no solo ayuda a reducir la huella de carbono y conservar recursos naturales, sino que también minimiza la generación de residuos y la presión sobre los vertederos. Los autores concluyen que incorporar RCA en la construcción de pavimentos contribuye significativamente a los esfuerzos de sostenibilidad.

### **Metodología**

El presente estudio se enmarca en un enfoque cualitativo y de revisión documental. Según Hernández et al. (2014), este tipo de investigación descriptiva busca especificar las propiedades, características y perfiles relevantes de fenómenos que se someten a análisis. Por otro lado, Behar (2008) sugiere que las investigaciones en ingeniería pueden beneficiar de la combinación de enfoques descriptivos y correlacionales para obtener una comprensión más profunda de los problemas técnicos.

En este estudio, se dio prioridad al análisis de fuentes secundarias debido a su naturaleza de revisión documental. Estas fuentes comprenden una amplia gama de recursos, incluyendo artículos científicos, tesis académicas, trabajos de grado, libros especializados, páginas web oficiales de instituciones relacionadas con ingeniería de pavimentos, informes técnicos gubernamentales y bases de datos especializados en infraestructuras viales. La elección de estas fuentes se basa en su relevancia y autoridad en el campo de estudio, asegurando así la confiabilidad y pertinencia de la información recopilada para la comprensión detallada de las condiciones del pavimento y la formulación de estrategias de mejora.

En este contexto, se realizó una revisión de la literatura académica, así como de informes técnicos y bases de datos relevantes en ingeniería de pavimentos. Se consultaron un total de [16] artículos científicos, [5] tesis, [27] trabajos de grado, [7] libros, páginas oficiales de instituciones especializadas en infraestructuras viales, informes técnicos gubernamentales y bases de datos especializados en ingeniería civil, entre otros recursos. Lo anterior, proporcionó el marco teórico y contextual necesario para comprender las condiciones actuales del pavimento y los tipos de deterioro presentes, así como para identificar las estrategias de mejora propuestas.

En la elaboración de este estudio, se establecen criterios de inclusión y exclusión claros para asegurar la pertinencia y actualidad de la información utilizada. Los términos de inclusión

abarcaron documentos publicados en los últimos cinco años, con el fin de garantizar la incorporación de las más recientes investigaciones y avances en el campo de la ingeniería de pavimentos. Además, se priorizaron artículos revisados por pares, tesis de grado, trabajos de grado, y libros que ofrecieran datos empíricos o análisis técnicos relevantes para los objetivos del estudio. Las fuentes debían estar escritas en inglés o español, facilitando así un acceso directo y sin barreras lingüísticas a la información.

Por otro lado, se excluyeron los documentos que no proporcionaron datos empíricos, análisis técnicos detallados o que estuvieran desactualizados, es decir, publicaciones con más de cinco años de antigüedad. También se descartaron aquellas fuentes que no estaban directamente relacionadas con las metodologías de diseño, mantenimiento y mejora de pavimentos.

Como se ha mencionado, el estudio se enfoca en un análisis cualitativo y de revisión documental. Se optó por este enfoque dada la naturaleza del fenómeno estudiado y el objetivo de obtener una comprensión holística de las condiciones del pavimento y las estrategias de intervención propuestas. La revisión documental se llevó a cabo siguiendo las directrices propuestas por Hernández et al. (2014) y Behar (2008), con el fin de aprovechar las fortalezas de este enfoque y obtener una comprensión más completa del fenómeno investigado.

En la búsqueda de soluciones para los desafíos que presentan el mantenimiento y la mejora de infraestructuras viales urbanas, se adoptó un enfoque metodológico basado en tres objetivos clave, véase:

**Figura 1.**

*Procedimientos para cumplir con los objetivos específicos*

<p><b>Objetivo 1: Identificación de tipos de daños presentados en las estructuras de pavimentos</b></p>	<p><b>Objetivo 2: Comparación de daños presentados con normativas Resolución 010910 de 2019 y Resolución 4561 de 2022</b></p>	<p><b>Objetivo 3: Propuesta de estrategias de mejora</b></p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se realizó una revisión de la literatura científica y técnica para identificar los diferentes tipos de deterioro que afectan a los pavimentos urbanos. Se consultaron [16] artículos, [5] tesis, [27] trabajos de grado, [7] libros, páginas oficiales y bases de datos especializados en ingeniería de pavimentos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se llevó a cabo un análisis detallado de las estrategias de mantenimiento y mejora de pavimentos urbanos propuestas en la literatura científica y técnica. Se revisaron [16] artículos, [5] tesis, [27] trabajos de grado, [7] libros, páginas oficiales y bases de datos especializados en ingeniería de pavimentos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se integraron los hallazgos de la revisión documental para desarrollar propuestas de solución basadas en evidencia científica y técnica. Se elaboraron recomendaciones para la gestión efectiva del mantenimiento y la mejora de pavimentos urbanos.</li> </ul>

Elaboración propia.

### Reflexión

#### **Resultados del objetivo específico No. 1: Identificación de tipos de daños presentados en las estructuras de pavimentos**

El análisis de los tipos de daños en la Avenida Paseo de los Libertadores revela una gama diversa de deterioros en las estructuras de pavimentos. Estos se deben principalmente a la insuficiencia en el espesor y el ancho de las losas diseñadas para soportar el tráfico mixto, exacerbados por problemas de drenaje inadecuado (Abril et al., 2022). La fatiga de las losas se identifica como un problema crítico, donde las filtraciones de agua agravan el deterioro prematuro (Tello-Cifuentes et al., 2021).

Los estudios indican que los principales tipos de daños incluyen fisuras, deformaciones y pérdida de capas estructurales. Estas fisuras resultan de una combinación de carga repetida y condiciones ambientales adversas, las cuales generan grietas visibles que afectan la integridad del pavimento (Montejo, 2002). Además, la pérdida de capacidad de soporte de la

subrasante por deficiencias en el drenaje es un factor significativo que contribuye a la fatiga estructural del pavimento (Ronderos, 2005).

Otra preocupación es la variabilidad en la calidad de las mezclas asfálticas utilizadas en reparaciones previas, lo que resulta en una infraestructura menos duradera. Pérez (2016) destaca que la falta de un curado adecuado del concreto durante la construcción inicial y las prácticas deficientes en el sellado de juntas predisponen a las estructuras a un deterioro acelerado.

Mientras que, Ronderos (2005) enfatiza que la ausencia de dovelas de transmisión de carga en las juntas longitudinales y transversales de las losas de concreto ha sido un factor crítico en la rápida degeneración del pavimento, ya que permite la infiltración de agua, lo cual compromete aún más la estructura.

Ahora bien, la identificación de estos tipos de daños subraya la necesidad urgente de revisar y mejorar los procesos de diseño y construcción actuales para las estructuras de pavimentos en Bogotá. Es esencial adoptar tecnologías avanzadas y materiales de alta calidad que mejoren la resistencia y durabilidad de los pavimentos, además de promover prácticas de construcción sostenibles que minimicen el impacto ambiental (Fanijo et al., 2023).

Por consiguiente, implementar un sistema de gestión de calidad durante la construcción puede garantizar que los materiales y técnicas utilizados cumplan con los estándares requeridos, lo que a su vez prolongará la vida útil de los pavimentos y reducirá la necesidad de reparaciones frecuentes (Ronderos, 2005). La capacitación continua de los profesionales involucrados en la construcción y mantenimiento de pavimentos es también perentoria para mejorar la calidad y durabilidad de las infraestructuras viales.

Finalmente, es importante recalcar que entonces la integración de innovación tecnológica y sostenibilidad son la clave para abordar los desafíos actuales y futuros en la gestión de infraestructuras viales, lo que en últimas contribuye a mejorar la calidad de vida urbana y la sostenibilidad del desarrollo en Bogotá (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2022).

**Resultados del objetivo específico No. 2: Comparación de daños presentados con la Resolución 010910 de 2019 y Resolución 4561 de 2022,**

Al comparar los daños identificados en la Avenida Paseo de los Libertadores con la Resolución 010910 de 2019 e Resolución 4561 (2022), se observan varias discrepancias significativas. Las especificaciones actuales destacan la importancia de un espesor adecuado de las losas y la inclusión de dovelas de carga, elementos que no siempre se han respetado en las prácticas de construcción observadas.

El Resolución 010910 (2019) y Resolución 4561 (2022), establecen estándares claros para la calidad de los materiales y los procesos constructivos, los cuales incluyen la selección de mezclas asfálticas y el diseño adecuado de juntas para garantizar la durabilidad del pavimento (Montejo, 2022). Sin embargo, en la práctica, se han identificado fallas en el cumplimiento de estos estándares, lo que ha llevado a un deterioro más rápido de las estructuras viales (González-Fernández et al., 2020).

Además, las normativas enfatizan la necesidad de un mantenimiento proactivo y regular para mitigar los efectos del desgaste natural y el tráfico, recomendando tratamientos específicos para la rehabilitación de pavimentos. En contraste, la falta de un programa de mantenimiento eficaz ha resultado en un aumento de los costos de reparación y una disminución de la calidad del servicio de transporte en la ciudad (DNP, 2017).

Así las cosas, la comparación con las normativas vigentes revela una necesidad urgente de alinear las prácticas de construcción y mantenimiento con los estándares establecidos en las resoluciones previamente mencionadas. Lo anterior, mejorará la durabilidad y eficiencia de los pavimentos, y, también optimizará los recursos y reducirá los costos a largo plazo (Campagnoli, 2017).

Por lo anteriormente expuesto, es necesario implementar un enfoque integral que abarque desde el diseño inicial hasta el mantenimiento rutinario, asegurando que todas las

etapas del proceso cumplan con las especificaciones técnicas y de calidad requeridas (López, 2021). La adopción de tecnologías de monitoreo avanzado, como la fotogrametría terrestre y redes neuronales para la evaluación de daños, puede mejorar significativamente la precisión y eficiencia de las intervenciones de mantenimiento (Tello-Cifuentes et al., 2021).

Finalmente, resulta importante fomentar una mayor colaboración entre las autoridades reguladoras y los profesionales del sector de la construcción para garantizar que las normativas se apliquen de manera efectiva y se adapten continuamente a las necesidades y desafíos locales. Esta colaboración puede incluir programas de capacitación y certificación que aseguren que todos los involucrados en la construcción y mantenimiento de pavimentos estén actualizados con las mejores prácticas y tecnologías disponibles (Sequeira et al., 2021).

### **Resultados del objetivo específico No. 3: Propuesta de estrategias de mejora**

Las estrategias propuestas para mejorar los procesos constructivos de pavimentos en la Avenida Paseo de los Libertadores se centran en la integración de innovaciones tecnológicas y prácticas sostenibles. Una de las principales recomendaciones es la implementación de un sistema de gestión de calidad durante todas las etapas de construcción, asegurando el uso de materiales de alta calidad y técnicas de construcción avanzadas (Chen et al., 2022).

El uso de materiales innovadores, como mezclas asfálticas modificadas con polímeros y cápsulas de alginato conductoras que encapsulan un rejuvenecedor, ha demostrado mejorar la resistencia a la tracción y la durabilidad del pavimento (Tabakovic et al., 2022). Además, la incorporación de tecnologías de ensayo no destructivas, como el radar de penetración terrestre tridimensional [GPR], puede proporcionar evaluaciones precisas de la calidad constructiva de los pavimentos, facilitando la identificación de áreas críticas que requieren atención (Chen et al., 2022).

Otra estrategia es la adopción de prácticas de construcción sostenible que minimicen el impacto ambiental, como el uso de agregados de concreto reciclado [RCA] y la implementación

de sistemas inteligentes de tráfico y sensores para recopilar datos en tiempo real (Fanijo et al., 2023). Esto no solo optimiza el uso de recursos, sino que también mejora la eficiencia y sostenibilidad de la red vial (Michalski et al., 2022).

Así pues, la implementación de estas estrategias de mejora promete no solo prolongar la vida útil de los pavimentos, sino también aumentar la calidad y seguridad del servicio de transporte en Bogotá. Al adoptar un enfoque basado en la innovación tecnológica y la sostenibilidad, se puede asegurar que las infraestructuras viales respondan efectivamente a las demandas actuales y futuras (Leiva-Villacorta & Vargas-Nordcbeck, 2017).

Del mismo modo, la capacitación continua y la actualización de competencias de los profesionales involucrados en la construcción y mantenimiento de pavimentos son fundamentales para garantizar la implementación exitosa de estas estrategias (Arias-Rueda et al., 2021). Además, es importante fomentar la investigación y el desarrollo continuo en el campo de la ingeniería de pavimentos, promoviendo la adopción de nuevas tecnologías y materiales que mejoren la resistencia y durabilidad de las estructuras viales (Pijush et al., 2020).

Finalmente, las estrategias propuestas en este estudio muestran la importancia de un enfoque integrado que combine conocimientos técnicos avanzados, innovación y sostenibilidad para mejorar los procesos constructivos de pavimentos. Este enfoque contribuye a una infraestructura vial más robusta y duradera, y también a la mejora de la calidad de vida urbana y la sostenibilidad del desarrollo en Bogotá (Abril et al., 2022).

Como ingenieros civiles, la responsabilidad no se limita a la aplicación de conocimientos técnicos, también, es necesario estar preparados para anticipar problemas, con la finalidad de realizar propuestas de soluciones innovadoras y sostenibles. Arias-Rueda et al., (2021), argumentan que una formación sólida en competencias específicas es esencial para abordar eficazmente los desafíos del entorno laboral actual. Así las cosas, el ingeniero civil debe ser

capaz de integrar habilidades analíticas para la correcta comprensión de los materiales y procesos de construcción para mejorar la calidad y durabilidad de los pavimentos (Fanijo et al., 2023).

Indefectiblemente, existe una gran necesidad de innovar en los métodos y materiales utilizados en la construcción de pavimentos, por lo cual, este estudio sugiere la adopción de tecnologías avanzadas y materiales de alta calidad que mejoren la resistencia y durabilidad de los pavimentos y adicionalmente, promuevan la sostenibilidad ambiental (Tello-Cifuentes et al., 2021).

### **Conclusión**

Este estudio ha logrado demostrar que existe una urgencia en la mejora de los pavimentos en la Avenida Paseo de los Libertadores, es más, se destaca la integración de innovación tecnológica y prácticas sostenibles. Del mismo modo, se ha confirmado que la implementación de soluciones innovadoras y eficaces es posible, pero también necesarias para garantizar la durabilidad y eficiencia del pavimento en respuesta a las demandas actuales y futuras.

El objetivo general de diseñar estrategias para mejorar los procesos constructivos ha sido alcanzado mediante la identificación precisa de los tipos de daños, la comparación con normativas actuales, y la propuesta de estrategias concretas basadas en la sostenibilidad y la innovación. Así las cosas, se aboga por la mejora de la calidad del pavimento y por lograr una gestión más eficiente y ambientalmente responsable del mismo, reafirmando el compromiso con la conservación de recursos y la reducción del impacto ambiental.

Asimismo, la evaluación detallada de los daños reveló que, además de los deterioros visibles, factores subyacentes como diseños inadecuados de mezcla y deficiencias en la ejecución de los trabajos contribuyen significativamente al estado actual de la vía. Lo cual deja

ver también que hace falta tomar decisiones orientadas a la rehabilitación y mantenimiento, permitiendo intervenciones más precisas y efectivas.

Lo anterior, deviene importante porque al comparar los resultados del estudio con las normativas del IDU e INVÍAS, se ha evidenciado una divergencia entre las prácticas actuales y las recomendaciones normativas, dejando ver la necesidad de una revisión y adaptación de las regulaciones existentes para incorporar avances técnicos y materiales innovadores que responden mejor a las condiciones locales.

Es necesario, de igual forma hacer hincapié en las estrategias desarrolladas para mitigar los daños observados, las cuales se centran en la implementación de tecnologías avanzadas, como, por ejemplo, la fotogrametría y materiales modificados con polímeros, los cuales prometen mejorar la serviciabilidad y longevidad del pavimento.

Finalmente, y a pesar de los hallazgos, este estudio reconoce la limitación en la disponibilidad y el acceso a ciertos tipos de datos de tráfico de alta granularidad, que podrían mejorar aún más la precisión de las propuestas de diseño. De este modo, futuras investigaciones podrían explorar la integración de sistemas inteligentes de tráfico y sensores para recopilar datos en tiempo real, facilitando así un mantenimiento predictivo y proactivo del pavimento. Además, sería una ventaja expandir la investigación para incluir la percepción y la satisfacción del usuario respecto a las mejoras implementadas, asegurando que las soluciones propuestas se alineen efectivamente con las necesidades y expectativas de los ciudadanos.

## Lista de Referencia o Bibliografía

- Abril, S., Fernández, W., Reyes, F. (2022). Periodo de desempeño de mezclas asfálticas prefabricadas almacenadas para actividades de parcheo en Bogotá D.C. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 32(1). 25-41.  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0124-81702022000100025](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-81702022000100025)
- Arias-Rueda, J., Arias-Rueda, M. Arias-Rueda, C. (2021), Desarrollo de competencias de ingenieros civiles en formación a través de proyectos integradores. *Opción*, 37(96). 142-164. <https://www.redalyc.org/journal/310/31070032006/html/>
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2022). *Informe Mensual de Calidad del Aire de Bogotá: mayo 2022*. Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá [RMCAB].  
[http://rmcab.ambientebogota.gov.co/Pagesfiles/informe%20mensual%20mayo%202022\\_V2.pdf](http://rmcab.ambientebogota.gov.co/Pagesfiles/informe%20mensual%20mayo%202022_V2.pdf)
- Baracaldo, J. y Rodríguez, L. (2020). *Comparación de las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica MD-20 y una mezcla asfáltica MS-20 modificada con fibras de poliolefina y aramida (KEVLAR). estudio caso en estaciones de troncal norte de Transmilenio*. [Trabajo de Grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio Universidad Distrital Francisco José de Caldas.  
<https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/29734>
- Behar, D. (2008). *Introducción a la Metodología de la Investigación*. Primera ed. Shalom.  
<http://187.191.86.244/rceis/wp-content/uploads/2015/07/Metodología-de-la-Investigación-DANIEL-S.-BEHAR-RIVERO.pdf>
- Campagnoli, S. (2017). Innovación en métodos de pavimentación: casos regionales. *Revista de Ingeniería* (45), 22-31. <https://revistas.uniandes.edu.co/index.php/rdi/article/view/7426>

Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL]. (2003). *Congestión de Tránsito: El problema y cómo enfrentarlo*. Cuadernos de la CEPAL.

[https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/27813/S0301049\\_es.pdf](https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/27813/S0301049_es.pdf)

Covarrubias, J. (2012). Design of concrete pavement with optimized slab geometry. *Revista ingeniería de construcción*, 27(3), 181-197.

[https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-50732012000300005&lng=en&nrm=iso&tlng=en](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732012000300005&lng=en&nrm=iso&tlng=en)

Chen, W., Hu, G., Han, W., Zhang, X., Wei, J., Xu, X. & Yan, X. (2022). Research on the Quality of Asphalt Pavement Construction Based on Nondestructive Testing Technology.

*Coatings*, 12(379). 1-16. <https://www.mdpi.com/2079-6412/12/3/379>

Decreto 2041/14, octubre 15, 2014. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (Colombia).  
Obtenido el 4 de mayo de 2024.

[https://archivo.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/7b-decreto\\_2041\\_oct\\_2014.pdf](https://archivo.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/7b-decreto_2041_oct_2014.pdf)

Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2017). *Construcción de pavimento rígido en vías urbanas de bajo tránsito*.

<https://proyectostipo.dnp.gov.co/images/pdf/pavimento/PTpavimento.pdf>

Díaz, J. (2014). *Evaluación De La Metodología Pci Como Herramienta Para La Toma De Decisiones En Las Intervenciones A Realizar En Los Pavimentos Flexibles*. [Trabajo de Grado, Universidad Militar Nueva Granada]. Repositorio Universidad Militar Nueva Granada.

<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/12102/Evaluaci%F3n%20d;jsessionid=D69E6E3917CF9F0293976930069A9C6C?sequence=1>

Fanijo, E., Kolawole, J., Babafemi, A. & Liu, J. (2023). A comprehensive review on the use of recycled concrete aggregate for pavement construction: Properties, performance, and

sustainability. *Cleaner Materials*, 9, 100199.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772397623000321>

Goenaga, L. (2014). *Estudio técnico-económico de los mantenimientos de pavimentos en concreto asfáltico y concreto hidráulico*. [Trabajo de Grado, Universidad de los Andes]. Repositorio Universidad de los Andes.

<https://repositorio.uniandes.edu.co/entities/publication/b9f597f4-3467-4b83-bbe5-531cbb6ab099>

González-Fernández, H., Ruiz-Caballero, P., Guerrero-Valverde, D. (2020). Propuesta de metodología para la evaluación de pavimentos mediante el Índice de Condición del Pavimento (PCI). *Ciencia en su PC*, 1(4). 58-71.

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181358738015>

Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. Sexta ed. Mc Graw Hill. [https://www.esup.edu.pe/wp-](https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodología%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf)

[content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodología%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf](https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodología%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf)

Instituto Nacional de Vías [INVIAS]. (2008). *Manual de Diseño Geométrico de Carreteras*.

<https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/proyectos-de-norma/11313-manual-de-diseno-geometrico-de-carreteras-2008/file>

Leiva-Villacorta, F. y Vargas-Nordbeck, A. (2017). Mejores prácticas para diseñar mezclas asfálticas con pavimento asfáltico recuperado (RAP). *Revista Infraestructura Vial*. 19(33), 35-44. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/vial/article/view/32921>

López, L. (2021). *Análisis de las Asociaciones Público Privadas - APP en el desarrollo de la infraestructura vial de la Autopista Norte de Bogotá*. [Trabajo de Grado, Universidad Militar Nueva Granada]. Repositorio Universidad Militar Nueva Granada.

<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/39132/LopezPaibaLilianaAndrea2021.pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Martínez, L., & Noguera, R. (2020). *Modelos de serviciabilidad de pavimentos a partir del índice de condición del pavimento (PCI) con relación a las velocidades de operación*. [Trabajo de Grado, Universidad de la Costa]. Repositorio Universidad de la Costa.

<https://repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/6265>

Michalski, A., Głodziński, K., & Böde, K. (2022). Lean construction management techniques and BIM technology – systematic literature review. *Procedia Computer Science*, 196, 1036-1043. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050921023309>

Miranda, R. (2010). *Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos*. [Trabajo de Grado, Universidad Austral de Chile]. Repositorio Universidad Austral de Chile.

<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2010/bmfcm672d/doc/bmfcm672d.pdf>

Montejo, A. (2002). *Ingeniería de pavimentos*. (Ed. Segunda). Universidad Católica de Colombia.

[https://www.academia.edu/22782711/Ingenieria\\_de\\_pavimentos\\_Alfonso\\_Montejo\\_Fons\\_ea](https://www.academia.edu/22782711/Ingenieria_de_pavimentos_Alfonso_Montejo_Fons_ea)

Perdomo, L. y Rozo, J. (2016). *Análisis operacional del tramo de la calle 153 entre la autopista norte y la avenida Boyacá, y la incidencia que presentan las demoras en el proyecto Avenida la Sirena*. [Trabajo de Grado, Universidad de la Salle]. Repositorio Universidad de la Salle.

[https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1117&context=ing\\_civil](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1117&context=ing_civil)

Pérez, L. (2016). *Evaluación visual de fisuras tempranas en las losas de pavimento rígido mr41 en la vaiente del municipio de Urrao (Dep. Antioquia)*. [Trabajo de Grado, Universidad Militar Nueva Granada]. Repositorio Universidad Militar Nueva Granada.

<https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/15731>

Pijush, S., Dookie, K., Nagesh, I., & Sandeep, C. (2020). *New Materials in Civil Engineering*. Butterworth-Heinemann. <https://www.sciencedirect.com/book/9780128189610/new-materials-in-civil-engineering>

Ramírez, J., & Rojas, N. (2019). *Guía técnico constructiva de las losas de pavimentos JPCP y JRCP mediante concreto hidráulico colados*. [Trabajo de Grado, Universidad Piloto de Colombia]. Repositorio Universidad Piloto de Colombia. <http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/5514/rojas%20nicolas%20final%20icontec.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Resolución 010910/19, diciembre 06, 2019. Instituto de Desarrollo Urbano IDU. (Colombia). Obtenido el 4 de mayo de 2024. [https://www.idu.gov.co/Archivos\\_Portal/2022/Transparencia/ley-de-transparencia/normatividad/resoluciones/02-05-22/8-Resolucion-010910.pdf](https://www.idu.gov.co/Archivos_Portal/2022/Transparencia/ley-de-transparencia/normatividad/resoluciones/02-05-22/8-Resolucion-010910.pdf)

Resolución 4561/22, noviembre 29, 2022. Ministerio de Transporte. (Colombia). Obtenido el 4 de mayo de 2024. <https://www.invias.gov.co/index.php/normativa/resoluciones-circulares-otros/14478-resolucion-4561-de-29-de-noviembre-de-2022/file>

Ronderos, C. (2005). *Las siete causas de los problemas de la Autopista Norte: Análisis*. Cemex. <https://www.cemexcolombia.com/documents/45752949/45885042/cemex-informa-autopista-7-causas-junio-2005.pdf/92db1d5c-a643-4548-5133-0b4ec4da2623>

Sequeira, W., Rodríguez, J., Herra, L., Salas, M., Abarca, P., & Ulate, A. (2021). Guía para la inspección y reparación de deterioros en pavimentos de concreto hidráulico. *Lanamme UCR*. <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/2223/guía%20reparación.pdf?sequence=8>

Tabakovic, A., Valentin, J. & He, L. (2022). *Advances in Asphalt Pavement Technologies and Practices*. MDPI.

[https://www.mdpi.com/journal/applsci/special\\_issues/asphalt\\_pavement\\_technologies](https://www.mdpi.com/journal/applsci/special_issues/asphalt_pavement_technologies)

Tello-Cifuentes, L., Aguirre-Sánchez, M., Díaz-Paz, J., & Hernández, F. (2021). Evaluación de daños en pavimento flexible usando fotogrametría terrestre y redes neuronales.

*Tecnológicas*, 24(50), 1-13.

<https://revistas.itm.edu.co/index.php/tecnologicas/article/view/1686/1811>

Uribe, E. (2014). Análisis del comportamiento de la carpeta asfáltica en el puente el cortijo ubicado en la ciudad de Bogotá D.C. [Trabajo de Grado, Universidad Militar Nueva Granada]. Repositorio Universidad Militar Nueva Granada.

<https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/12164>