



**ESTUDIO EXPERIMENTAL COMPARATIVO DE RESISTENCIAS ENTRE  
PAVIMENTOS RÍGIDOS Y PAVIMENTOS CON FIBRAS PLÁSTICAS, COMO  
ALTERNATIVA PARA LA REHABILITACIÓN DE LAS CICLOVÍAS DE BOGOTÁ.**

**ANGELICA PATRICIA ROMERO RODRÍGUEZ.**

**JONATHAN LEONARDO RENDÓN REYES.**

**UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL.  
FACULTAD DE INGENIERÍA.  
BOGOTÁ, COLOMBIA.  
2021.**

**ESTUDIO EXPERIMENTAL COMPARATIVO DE RESISTENCIAS ENTRE  
PAVIMENTOS RÍGIDOS Y PAVIMENTOS CON FIBRAS PLÁSTICAS, COMO  
ALTERNATIVA PARA LA REHABILITACIÓN DE LAS CICLOVÍAS DE BOGOTÁ.**

**ANGELICA PATRICIA ROMERO RODRÍGUEZ.  
JONATHAN LEONARDO RENDÓN REYES.**

**PROYECTO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:  
INGENIERO CIVIL**

**DIRECTOR:  
MOLINA GALLEGO, CARLOS MARTÍN**

**LINEA DE INVESTIGACIÓN:  
PAVIMENTOS**

**UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO ESCUELA  
DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL.  
FACULTAD DE INGENIERÍA.  
BOGOTÁ, COLOMBIA.  
2021.**

## NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado ESTUDIO EXPERIMENTAL  
COMPARATIVO DE RESISTENCIAS ENTRE  
PAVIMENTOS RÍGIDOS Y PAVIMENTOS CON FIBRAS  
PLÁSTICAS, COMO ALTERNATIVA PARA LA  
REHABILITACIÓN DE LAS CICLOVÍAS DE BOGOTÁ.,

Cumple con los requisitos para optar

Al título de INGENIERO CIVIL.

---

Firma del Tutor

---

Firma Jurado

---

Firma Jurado

BOGOTÁ, NOVIEMBRE 2021.

**ESTUDIO EXPERIMENTAL COMPARATIVO DE RESISTENCIAS ENTRE  
PAVIMENTOS RÍGIDOS Y PAVIMENTOS CON FIBRAS PLÁSTICAS, COMO  
ALTERNATIVA PARA LA REHABILITACIÓN DE LAS CICLOVÍAS DE BOGOTÁ.**

## **AGRADECIMIENTOS.**

Agradezco principalmente a mis padres, por brindarme la oportunidad de estudiar una carrera profesional, a mi hermano mayor, que siempre me ayudó y me enseñó cómo salir adelante pese a cualquier circunstancia. Gracias a mi esposa, que siempre me ha apoyado durante mis estudios, a mis compañeros que hicieron aportes importantes en todo mi proceso educativo y especialmente gracias a mi compañera en este proyecto de investigación, porque sin su esfuerzo y compromiso no habría sido posible este trabajo. Finalmente, agradezco a nuestro tutor Carlos Molina, por toda su dedicación, orientación y profesionalismo durante el desarrollo de esta investigación.

Gracias a todos ustedes, por impulsarme a culminar mi carrera, sin duda, cada uno de sus aportes han sido indispensables y de gran ayuda para que se presente este proyecto.

**Jonathan Leonardo Rendón Reyes.**

En primera instancia, agradezco a Dios y al Universo por permitirme culminar con éxito mis estudios, a mis padres, Miryam Rodriguez y Genaro Romero, por su incondicional apoyo tanto emocional como económicamente, agradezco a mi hermano que siempre ha confiado en mí, a mis sobrinas por inspirarme al ser su ejemplo a seguir. Gracias a mi hermana de corazón, quien ha estado conmigo en los triunfos y fracasos. Gracias a la vida por darme el regalo más importante de mi vida, mi hija, quien es mi inspiración más latente, gracias a mi esposo que con su esfuerzo y dedicación ha sido mi apoyo día a día.

Agradezco especialmente a mi compañero de tesis, quien se ha esforzado mucho para que juntos lográramos sacar adelante este proyecto, gracias a la Universidad Antonio Nariño, por recibirme y hacerme parte de su familia. Gracias a cada uno de los educadores que con su sabiduría y esfuerzo han realizado su aporte para que yo llegase a donde me encuentro, y finalmente, gracias a mis compañeros por sus ocurrencias en cada momento.

**Angelica Patricia Romero Rodriguez.**

## **ABSTRACT.**

Colombia is a country that invests a lot of capital in the development of its road infrastructure, however, there are currently marked differences between the different types of road infrastructure, for example, according to the latest inventory and diagnosis of the road network conducted by the IDU, there are 14,186 km of roads in Bogota, while there are only just over 550 km of bicycle lanes, a notable disadvantage, considering that an increasing number of the capital's inhabitants make daily trips by bicycle, not to mention the state of the infrastructure.

On the other hand, plastic has always had a wide range of uses, allowing the construction industry to carry out diverse research with waste plastics, which are reused in innovative, fast, simple structures that are easy to recycle after their useful life.

This is how this proposal arises with the objective of exposing the best alternative to rehabilitate the bicycle lanes of Bogota by carrying out a comparative study, focused on the compressive strength of traditional rigid pavement specimens, flexible or asphalt pavement and rigid pavement with plastic additives.

**Keywords:** Bikeway, Sustainable cities, Modified pavements, Green pavements and Road development.

**TABLA DE CONTENIDOS.**

**INTRODUCCIÓN..... 1**

**1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 2**

    1.1 Formulación del problema. .... 3

    1.2 Justificación del problema..... 3

    1.3 Relevancia del problema..... 3

**2. OBJETIVOS ..... 4**

    2.1. Objetivo general ..... 4

    2.2. Objetivos específicos ..... 4

**3. ESTADO DEL ARTE..... 5**

    3.1 Pavimento ..... 5

    3.2 Ciclovías en Bogotá ..... 8

    3.3 Ciclovías en el mundo ..... 9

**4. MARCO CONCEPTUAL..... 11**

**5. METODOLOGÍA ..... 15**

    5.1. Técnicas e instrumentos para recolectar y analizar la información..... 15

    5.2. Definición y justificación del tipo de experimentos ..... 15

    5.3. Materiales y métodos ..... 16

    5.4. Consideraciones previas..... 16

    5.5. Dosificación ..... 19

    5.6. Procedimiento ..... 19

**6. RESULTADOS EXPERIMENTALES..... 21**

    6.1 Pavimento rígido tradicional ..... 21

    6.2 Pavimento rígido con fibras plásticas..... 23

**7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... 26**

    7.1 Conclusiones..... 26

    7.2 Recomendaciones..... 27

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 28**

**ANEXOS ..... 31**

**LISTA DE TABLAS.**

<i>Tabla 1: Síntesis de investigaciones para el Estado del arte .....</i>	<i>5</i>
<i>Tabla 2: Problemas en las ciclovías según su ubicación. ....</i>	<i>9</i>
<i>Tabla 3: Las ciclovías más destacables del mundo. ....</i>	<i>10</i>
<i>Tabla 4: Características de los pavimentos de acuerdo a sus tipos. ....</i>	<i>14</i>
<i>Tabla 5: Tabla de tolerancias de acuerdo a la edad de la muestra de concreto. ....</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 6: Resumen de resultados. Ensayos de compresión en pavimento rígido tradicional de 5000 PSI. Lote de muestras N° 1. ....</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 7: Resumen de resultados. Ensayos de compresión en pavimento rígido tradicional de 5000 PSI. Lote de muestras N° 2. ....</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 8: Resumen de resultados. Ensayos de compresión en pavimento rígido tradicional de 5000 PSI. Lote de muestras N° 3. ....</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 9: Resumen de resultados. Ensayos de compresión en pavimento rígido modificado con fibras de polipropileno de 5000 PSI. Lote de muestras N° 1. ....</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 10: Resumen de resultados. Ensayos de compresión en pavimento rígido modificado con fibras de polipropileno de 5000 PSI. Lote de muestras N° 2. ....</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 11: Resumen de resultados. Ensayos de compresión en pavimento rígido modificado con fibras de polipropileno de 5000 PSI. Lote de muestras N° 3. ....</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 15: Resumen de resultados. Comparativa entre las resistencias obtenidas. ....</i>	<i>25</i>

**LISTA DE FIGURAS.**

*Figura 1: Ejemplos de ciclovías en el mundo, realizadas en pavimento flexible. .... 11*

*Figura 2: Botellas plásticas apiladas antes de ser recicladas. .... 12*

*Figura 3: Ejemplos de pavimentos, flexibles a la izquierda y rígidos a la derecha. .... 12*

*Figura 4: Ejemplos de grandes superficies asfaltadas, una avenida a la izquierda y una carretera a la derecha..... 13*

*Figura 5: Elementos de construcción para un pavimento de concreto. .... 13*

*Figura 6: Diagrama de flujo de la metodología de desarrollo. .... 15*

*Figura 7: Máquina de compresión para cilindros de concreto. .... 16*

*Figura 8: Diagrama de flujo sobre el procedimiento de los ensayos de compresión. .... 19*

*Figura 9: Valores de resistencia por días y muestras según la edad para pavimento rígido convencional ..... 22*

*Figura 10: Valores de resistencia por días y muestras según la edad para pavimento rígido con fibras plásticas. .... 25*

## **INTRODUCCIÓN.**

Para apreciar el desarrollo de los países, a menudo basta con observar el estado de sus infraestructuras asociadas a transportes y comunicaciones, es decir, el estado de calles, caminos, carreteras, entre otros. En Colombia, este sector ha sido desarrollado ampliamente y con un vasto presupuesto durante las últimas décadas, sin embargo, actualmente se aprecian marcadas diferencias entre los distintos tipos de infraestructuras viales, sin extenderse mucho dentro del territorio nacional se observa que, por ejemplo, de acuerdo al último inventario y diagnóstico de la malla vial realizado en 2019 por el Instituto de Desarrollo Urbano, existen 14.186 km de vías en Bogotá, mientras tanto, solo se cuenta con poco más de 550 km de ciclovías, una desventaja notable, contemplando que una parte cada vez mayor de los capitalinos realizan viajes diarios en bicicleta, esto, sin mencionar el estado de la infraestructura (Instituto de Desarrollo Urbano, 2019).

Por otro lado, debido al necesario uso diario de las vías de comunicación, es prácticamente indispensable que estas estén en las mejores condiciones para que los transportes de mercancías o movimientos de personas sean seguros y rápidos, en cuanto a las ciclovías particularmente, un mal estado conducirá a un retraso en los movimientos de personas principalmente dedicadas a ser empleadas con la consecuente pérdida en efectividad de los puestos de trabajo, mayores accidentes con consecuencias graves para la economía y vida de las personas y por lo tanto para el desarrollo del país.

Contemplando lo anterior, el desarrollo de esta investigación irá desde la realización de experimentos comparativos entre las alternativas de pavimentos que mejor se pueden adaptar a las necesidades de las ciclovías de la capital colombiana hasta un análisis que exponga la solución más adecuada en función de los resultados experimentales, para esto, principalmente se toma en consideración factores como el flujo y carga de los vehículos previstos a transitar, es decir, las bicicletas y recientemente lo patines eléctricos; adicionalmente se busca evaluar alternativas con plástico, primero para darle un nuevo uso a uno de los residuos que más afecta el ambiente y segundo para innovar el rubro de la construcción.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Las ciclovías tradicionales surgieron con el objetivo de brindar una alternativa de transporte a quienes no contaban con vehículo propio y como una variante que aligerara el tráfico en las calles. Con el paso de los años, su destacada utilidad la hizo expandirse por todo el país, pero como todo lo que crece rápidamente, si no se le brinda el adecuado cuidado, comienza a generar más problemas que beneficios. Actualmente en las ciclovías se advierten falencias en materia del mantenimiento, falta de señalización y desconexiones abruptas, lo que empeora las condiciones para los biciusuarios, aun así, son el medio más usado por personas de los estratos 2 y 3, quienes realizan el 85% de viajes diarios en bicicleta. Particularmente, los habitantes de las localidades de Suba, Kennedy, Bosa y Engativá, son las que usan más la bicicleta (Redacción Bogotá, 2016).

Contemplando lo anterior, es claro que existe la necesidad de seguir expandiendo las ciclovías, además de realizarles el mantenimiento correspondiente, dos tareas que parecen titánicas pero que son extremadamente necesarias. En aras de aportar una solución a esta situación surge un empleo alternativo y novedoso para el plástico, y es que plastificar una ciclovía, años atrás habría parecido de ciencia ficción, pero hoy es una realidad que está cambiando la forma de vida de las personas, gracias a los constantes avances en las investigaciones realizadas en las vías y materiales de la construcción a base de plásticos reciclados, se logra mitigar el impacto ambiental en cuanto a contaminación por basuras y desperdicios, conllevando a un mejor desarrollo sostenible.

En líneas generales, el plástico siempre ha tenido una amplia gama de usos, permitiendo a la construcción realizar diversas investigaciones con plásticos de desecho, que son reutilizados en estructuras innovadoras, rápidas, sencillas y que facilitan su reciclaje luego de cumplir su vida útil (García B. , 2019).

Siguiendo esta línea de ideas, aunque el plástico es de difícil biodegradación, hay que destacar que tiene reconocidas ventajas en el campo de la construcción, además de ser muy económico, abundante y especialmente necesario de reciclar, estas condiciones permiten la sustitución del pavimento tradicional (Road, 2018).

Finalmente, vale destacar que iniciativas similares ya han sido desarrolladas de forma parcial en otras investigaciones, las mismas se exponen más abajo, entre el estado del arte, y han servido para tener bases sólidas en esta investigación. Por lo anterior, se pretende realizar un estudio comparativo, enfocado en la resistencia a la compresión de treinta especímenes de pavimento rígido tradicional y treinta de pavimento rígido con aditivos plásticos; esto con la finalidad de exponer la mejor alternativa para rehabilitar las ciclovías de Bogotá y responder la siguiente interrogante.

### ***1.1 Formulación del problema.***

¿Cuál es el tipo de pavimento más apropiado en función de su resistencia al peso y durabilidad en el tiempo, para emplear en las ciclovías de Bogotá, específicamente entre la calle 22 sur y la calle 27 sur?

### ***1.2 Justificación del problema.***

Este proyecto aborda una problemática que preliminarmente parece ser la consecuencia de una planificación truncada y que, entre otras cosas, al día de hoy se refleja como afectaciones para una sustancial parte de la población capitalina que se moviliza diariamente por las ciclovías. Frente a eso, se realizarán una serie de pruebas de laboratorio enfocadas en evaluar la resistencia al peso y durabilidad en el tiempo, de 60 muestras específicas, para luego, exponer opciones en los procesos de recuperación de las ciclovías a partir de las conclusiones del análisis comparativo, todo lo anterior apropiadamente apoyado y fundamentado en el conocimiento adquirido hasta el momento. Iniciativas como estas, brindan mejores condiciones de vida a los ciudadanos además de contribuir al desarrollo del país.

### ***1.3 Relevancia del problema.***

La propuesta cobra valor, ya que está enfocada en dos problemas que son claramente relevantes para el país: Lo primero es que una mejor calidad en las ciclovías y un mayor número de estas se traduce en un alivio directo para el tráfico vehicular, destacando además una disminución en los accidentes entre ciclistas y vehículos, lo segundo es que de ser más apropiado el pavimento plástico hay que destacar que en Colombia se producen 11.6 millones de toneladas de basura plástica al año, del cual solo se recicla el 17 %, los miles de toneladas restantes van a parar al mar, mermando

especies alrededor de todo el mundo. Este plástico no ha sido utilizado para mayores actividades, hasta ahora que se ha descubierto sus beneficios en la construcción del pavimento plástico o reciclado (Ministerio de Ambiente y Desarrollo, 2016).

## 2. OBJETIVOS.

### *2.1. Objetivo general.*

Desarrollar un estado del conocimiento a partir de los estudios comparativos de 30 muestras de pavimento rígido y 30 de pavimento con fibras plásticas, que han sido sometidos a ensayos destructivos de resistencia y durabilidad con la finalidad de determinar cuál sería el más apropiado para rehabilitar las ciclovías de Bogotá.

### *2.2. Objetivos específicos.*

1. Someter 30 muestras de pavimentos rígidos y 30 plásticos, a un ensayo destructivo de resistencia a la compresión y de durabilidad para desarrollar un cuadro comparativo entre estos.
2. Analizar y graficar los valores de falla con la finalidad de interpretar los puntos de resistencia máximos.
3. Proponer la implementación del tipo de pavimento que mejor resultado haya dado en función de los resultados obtenidos y bajo un criterio de costo-beneficio.

### 3. ESTADO DEL ARTE.

#### 3.1 Pavimento.

Es importante conocer que el pavimento tradicional ha sido utilizado para la construcción y el desarrollo de la infraestructura de los países siempre, pero con las necesidades de hoy en día, hay que plantearse estos avances con otro enfoque, desde una perspectiva ambiental. Para desarrollar este segmento de la investigación ha sido necesario recurrir a fuentes especializadas como Scopus y Google Scholar, donde empleando palabras claves asociadas a Ciclovías, Ciudades Sostenibles, Pavimentos Verdes, Pavimentos Modificados y Plásticos Reciclados se filtraron las siguientes investigaciones, sintetizadas en la Tabla 1:

Tabla 1: Síntesis de investigaciones para el Estado del arte.

Fuente: (junto a cada Item).

AUTOR, LUGAR Y FECHA	TÍTULO	CRITERIO DE ELECCIÓN	RESUMEN	RESULTADOS
(Millán, 2018). Toluca, México.	La ciclovía como movilidad sustentable; una propuesta mediante el análisis espacial con geotecnologías, caso de estudio Zona Urbana de Toluca.	<b>Palabras clave:</b> Ciclovías. <b>Filtro:</b> Investigaciones recientes, cuidado del medio ambiente	Se puso en práctica un sistema de renta de bicicletas, que se ha establecido parcialmente por que existe una falencia en la infraestructura relacionada con una ciclovía, a continuación, se desarrolló un análisis geoespacial del área urbana tomando factores como: sociales, físicos, de accesibilidad y económicos, con la finalidad de promover una propuesta de optimización para la ciclovía, centrándose particularmente en las dificultades de la movilidad urbana.	Se consiguió trazar un escenario de la red de ciclovías, tomando en cuenta todas las áreas de alta actividad urbana, la mencionada red se valoró en términos de cobertura, conectividad y accesibilidad, y por ultimo colaboro con el desarrollo de la ciudad de Toluca.

<p>(Rojas, 2019). Cuenca, Ecuador.</p>	<p>Diseño de pavimento modificado con la adición de plástico reciclado para ciclovías.</p>	<p><b>Palabras clave:</b> Ciudades sostenibles. <b>Filtro:</b> Investigaciones recientes, desarrollo vial.</p>	<p>La ciudad exhibió sustanciales aumentos en el número de vehículos motorizados y en su población, lo que provocó de forma negativa aumentos de la contaminación ambiental y las emisiones; con la finalidad de llegar a ser una ciudad sostenible, se elabora en función de gestionar la gestión de la movilidad y la planificación para todos los medios de transporte, hasta las bicicletas. Un punto trascendente de esta estrategia conlleva la implementación y el diseño de una importante red de canales para bicicletas, no obstante, implantar esta red eleva la contaminación ambiental al construirse con pavimentos tradicionales.</p>	<p>El objetivo del documento fue proponer un diseño de alternativo del pavimento que fuera más amigable con el ambiente al añadir plástico reciclado en la mezcla y, así mismo, mantener el rendimiento necesario. Aquí se desenvuelve el diseño de un asfalto modificado que incorpora plástico PET triturado en la mezcla que de no ser así terminaría siendo residuo, esta propuesta garantizaría cubrir las condiciones del código de construcción de Ecuador.</p>
<p>(Marroquín &amp; López, 2019) Medellín, Colombia.</p>	<p>Análisis de la respuesta mecánica del concreto hidráulico para pavimentos modificados con fibras de bejuco.</p>	<p><b>Palabra clave:</b> Pavimentos modificados. <b>Filtro:</b> Mantenimiento y reparación, desarrollo vial.</p>	<p>La investigación tiene por objetivo determinar y analizar las propiedades mecánicas de compresión y flexión, de un pavimento hidráulico adicionando fibras de bejuco. Se realizaron ensayos de laboratorio para comparar los pavimentos propuestos con uno convencional, y así conocer qué tan viable puede ser el uso de pavimentos con fibras de bejuco. Para esto, se elaboraron 12 elementos con concreto hidráulico tradicional y 18 añadiendo fibras de la siguiente manera 6 con el 0.3%, 6 con el 0.5% y 6 con el 0.7% de fibras. Se realiza sus respectivos ensayos en las edades 7, 14, 28.</p>	<p>Los cilindros con el 0.3% de fibra obtenían mayor módulo de rotura versus el convencional, por otro lado, las vigas realizadas con 0.5% de fibra consiguieron resultados más altos que las vigas elaboradas con pavimento convencional.</p>

<p><b>(Marcillo, 2018). Guayaquil, Ecuador.</b></p>	<p>Evaluación del desempeño del hormigón asfáltico con plástico polietileno reciclado para vías de segundo orden.</p>	<p><b>Palabras clave:</b> Pavimentos verdes. <b>Filtro:</b> Avances en Latinoamérica, desarrollo sostenible.</p>	<p>Aquí se describe el proceso realizado para obtener el asfalto modificado con plástico polietileno reciclado. Las mezclas asfálticas utilizaron el método Marshall, se añadió el 1, 2 y 3% con relación al peso del árido. Para estimar las mezclas asfálticas elaboradas se ejecutaron las pruebas de gravedad específica máxima teórica, densidad Bulk, densidad de la mezcla asfáltica y porcentaje de vacíos de los agregados compactados.</p>	<p>Hay más estabilidad en la mezcla modificada con el 6.1% de cemento asfáltico y 3% de plástico polietileno reciclado añadido. El mismo mejora la durabilidad y las deformaciones ocasionadas por el tráfico, evitando el desgaste anticipado, el aumento de los plazos de mantenimiento y por tanto se reduce su costo total.</p>
<p><b>(Pestana, Pereira, Pais, &amp; Pereira, 2006) Minho, Brasil.</b></p>	<p>Rehabilitación de pavimentos mediante mezclas bituminosas con betún modificado.</p>	<p><b>Palabras clave:</b> Pavimentos modificados <b>Filtro:</b> Avances en Latinoamérica, desarrollo sostenible.</p>	<p>En la rehabilitación estructural del tramo CRIL-Loures de la A8, Auto-Estradas do Atlântico se utilizaron dos soluciones de refuerzo distintas usando mezclas bituminosas con betún modificado. Una de las alternativas fue una mezcla de betún con caucho de neumáticos usados reciclados (BMB), la otra fue una mezcla con un betún modificado con polímero (SBS). Luego de 4 años en servicio, se efectuó un estudio para establecer las características mecánicas de las mezclas bituminosas aplicadas con el objeto de evaluar su calidad y lograr indicaciones sobre su desempeño futuro.</p>	<p>En comportamiento mecánico, la mezcla BMB presentó una resistencia a la deformación y fatiga superior a la mezcla SBS. La resistencia a la fatiga y a la deformación son permanentes. Es posible fabricar betunes modificados híbridos, con materiales que cumplen las especificaciones, siguiendo las metodologías de la Guía para fabricación de betunes con polvo de neumáticos.</p>

### ***3.2 Ciclovías en Bogotá.***

A finales de los 70's se comenzó a promover un programa de ciclovías con fines recreativos que pronto se volvería exitoso y sería el inicio de una política pública que durante el nuevo milenio ha logrado desarrollar una infraestructura ciclovial de 550 km junto a los cicloparqueaderos, y además, ha traído especialmente la cultura del sano y ambiental uso de la bicicleta que día a día consigue que más de los viajes que se realizan en la ciudad, sean en este medio de transporte, sin embargo, Actualmente, el estado de las ciclovías no es el más óptimo, buena parte de estas han ido quedando en el olvido, adquiriendo condiciones inadecuadas para el correcto uso de los usuarios como falta de señalización, falta de iluminación, grietas sustanciales, terminaciones abruptas y, además, se enfrentan a serios problemas de inseguridad (Aparicio, Montero, & Uribe, 2020).

Por el lado positivo, los 550 km de ciclovías con los que cuenta Bogotá, atraviesan y/o acompañan algunas de las vías más importantes de Bogotá, esta conectividad entre ciclovías y vías principales resulta ágil y práctica para los usuarios. También, en mayo de 2018, el Distrito promovió el Centro de la Bici en la Plaza de los Artesanos, esta iniciativa busca conseguir que las personas aprendan nociones básicas sobre la mecánica de sus bicicletas y de esta manera puedan repararla por sus propios medios cuando sea necesario. Es válido destacar que, el Distrito ha apostado por convertir a Bogotá en la capital de la bicicleta y aunque se nota el progreso, aún hay cosas que se pueden mejorar (Bernal, 2018).

En el lado negativo, uno de los retos que debe afrontar la administración capitalina para mejorar la movilidad en bicicleta es habilitar más km de ciclovías sobre las calzadas vehiculares en lugar de desarrollarlas sobre andenes, lo anterior con la finalidad de facilitar la bicicleta como medio de transporte y evitar accidentes entre biciusuarios, vehículos y peatones. Por otro lado, las cifras del Concejo de Bogotá, exponen que el robo de bicicletas aumentó un 60% entre 2017 y 2018, esto se traduce directamente en que los biciusuarios no deseen utilizar las ciclovías por temor a ser víctimas del robo; viéndose en la necesidad de desplazarse entre vehículos y arriesgándose a sufrir accidentes con los automóviles y buses. En la Tabla 2 se relacionan los principales problemas encontrados tras realizar un sondeo superficial recorriendo la ciudad (Bernal, 2018).

Tabla 2: Problemas en las ciclovías según su ubicación.

Fuente: (Bernal, 2018).

PROBLEMA	UBICACIÓN
Estado de deterioro.	Cl. 53 con Cr. 16
	Av. Boyacá con Cl. 22
	Costado norte de Cl. 26 con Cr. 30
Terminaciones abruptas y mala señalización.	Cr. 86 con Cl. 23d
	Av. Boyacá entre Cl. 22a y 23
	Av. Boyacá entre Cl. 75 y 80
	Cl. 53 entre Cr. 35 y 24
Huecos, baches y espacio insuficiente para transitar.	Cr. 13, entre Cl. 45 y 64
	Cl. 13, frente a la Secretaría de Movilidad

### 3.3 Ciclovías en el mundo.

Actualmente, las ciclovías aportan espacios que cobran valiosa importancia para los individuos, especialmente en los tiempos que corren, donde la pandemia aún está muy presente, ya que con las limitaciones sanitarias la mayoría de los espacios deportivos y centros recreativos se vieron obligados a cerrar temporal o permanentemente, por ello, lo más apropiado es realizar actividades al aire libre que dejen guardar la sana distancia.

En los países más desarrollados, las ciclovías ya han sido concebidas para ser más que un medio de circulación. En la capital del Reino de los Países Bajos, por ejemplo, se puede estacionar la bicicleta en frente de los hogares u oficinas, de hecho, es más eficiente recorrer la ciudad en bicicleta que en auto, para el primer caso, desplazarse de norte a sur puede tomar alrededor de una hora, mientras que con auto se agrega media hora al recorrido, adicionalmente, de acuerdo al último censo realizado, existen unas 760.000 personas y cerca de 880.000 bicicletas, claramente la bicicleta es el medio de transporte predilecto por los neerlandeses. A continuación, la Tabla 3 exhibe una lista actualizada de las ciclovías más impresionantes alrededor del mundo (Muñoz, 2021).

Tabla 3: Las ciclovías más destacables del mundo.

Fuente: (Muñoz, 2021).

CICLOVÍA	CIUDAD	DESCRIPCIÓN
<b>Cuyperspassage</b>	Ámsterdam	Una ciclovía que rodea hoteles, centros comerciales y demás, con estacionamiento para bicis incluido
<b>Puente Hovenring</b>	Eindhoven	Consiste en un aro suspendido de una torre de 70 metros de alto, 24 cables la sostienen y posee un puente para acceder a las ciudades de Eindhoven y Veldhoven.
<b>Shimanami Kaido</b>	Shikoku y Honshu	Catalogada como una de las más hermosas del mundo, destacan sus impresionantes vistas.
<b>Puente de Hetchtel</b>	Eksel	Se trata del primer carril para ciclistas creado dentro de un bosque, pensado para estar en contacto con la naturaleza mientras se realiza ejercicio. Cuenta con 700 metros de longitud.
<b>Van Gogh Pat</b>	Brabant	Inspirada en La noche estrellada, del mismo Van Gogh, es un kilómetro de ciclovía que resplandece por la noche.

#### 4. MARCO CONCEPTUAL.

Situar en contexto los conceptos más importantes ayuda a esclarecer en el lector las hipótesis que se plantean y como se van a solucionar, por lo que a continuación, se describen los mismos.

Lo primero a conocer es que es una Ciclovía, el principal pilar de esta investigación; hace parte de la infraestructura pública que se destina principalmente al uso de la bicicleta, ya sea de manera independiente o de uso compartido con peatones o vehículos de motor, tienen propósito de distracción, ejercicio y medio de transporte. En la Figura 1 se pueden apreciar de dos tipos, a la izquierda, una ciclovía tradicional de pavimento flexible y a la derecha una ciclovía recubierta con conglomerado bituminoso, el criterio de escogencia es netamente estético. Actualmente, en Bogotá existen unos 550 km de ciclovías permanentes (IDRD, 2020).

*Figura 1: Ejemplos de ciclovías en el mundo, realizadas en pavimento flexible.*

*Fuente: (Rosenow, 2019).*



Seguidamente, es conveniente describir el concepto renovado del plástico, ya que ahora puede ser procedente de materiales orgánicos, de igual manera la madera, el papel o la lana. Las materias primas que se emplean al producir plástico son productos naturales como la sal, el carbón, el gas natural, la celulosa y, claramente, el petróleo. Han pasado de ser el problema más grave de contaminación a ser el material actual preferido porque admite equilibrar las necesidades actuales y la protección del medio ambiente, para muestra, el hecho de que pueda ser mezclado con pavimento para mejorar sus características y ampliar su vida útil. En la Figura 2 se observan diversas presentaciones de plástico listas para ser recicladas (Plásticos Europa, 2018).

*Figura 2: Botellas plásticas apiladas antes de ser recicladas.*

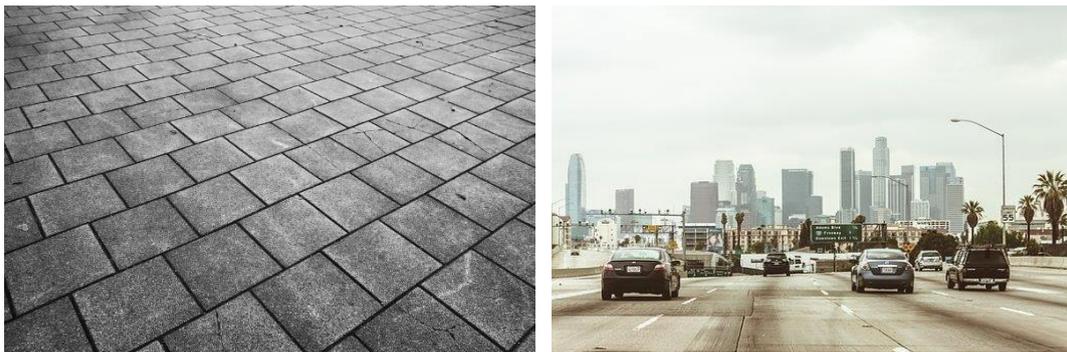
*Fuente: (Braxmeier, 2013).*



A continuación, vale mencionar que es el pavimento; un término que se emplea para especificar a cualquier base que forme el piso de una superficie o construcción que no se halle en su estado natural, como andenes o estacionamientos, por ejemplo, habitualmente están conformados por capas de diversos materiales, entre ellos concreto, cemento, asfalto y madera. Se ubican sobre una extensión de terreno previamente preparado, y una vez estos estén endurecidos conforman un manto fuerte, liso y resistente, se clasifican además de acuerdo a su comportamiento como rígidos o flexibles. La Figura 3 exhibe un pavimento conformado por adoquines a la izquierda y uno de losas rígidas, muy común en vías de grandes superficies, a la derecha (Luna, 2019).

*Figura 3: Ejemplos de pavimentos, flexibles a la izquierda y rígidos a la derecha.*

*Fuente: (Amber, 2018).*

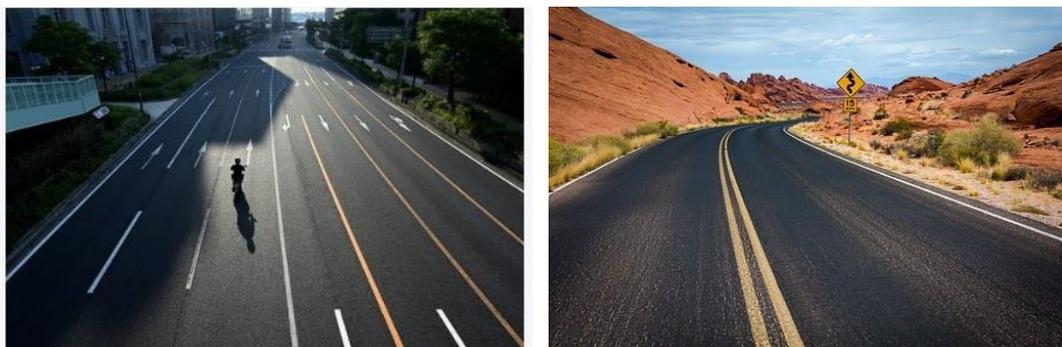


Comúnmente, suele existir confusión entre el pavimento y el asfalto, este último es un mineral resultante de diversos componentes como la brea y la gravilla, está presente en el petróleo crudo y elaborado prácticamente por completo de bitumen. Posee numerosas propiedades que permiten la elaboración de muchos productos utilizados en construcciones de vías terrestres, como revestimiento impermeabilizante de muros o techados y para asfaltar caminos. La Figura 4 deja ver lo

ampliamente utilizado que puede ser tanto en avenidas como en carreteras, útil para el tránsito de todos los calibres (Luna, 2019).

*Figura 4: Ejemplos de grandes superficies asfaltadas, una avenida a la izquierda y una carretera a la derecha.*

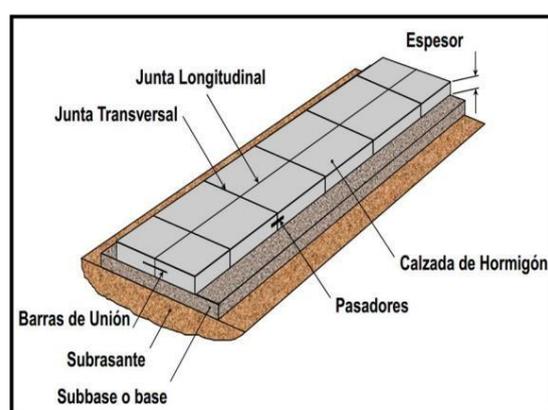
*Fuente: (Wakayama, 2021).*



Aclarado lo anterior hay que conocer cómo se diseña un pavimento; este proceso consiste en determinar los espesores de cada una de las capas que constituyen la sección estructural del pavimento, es decir, la cantidad de concreto debe ser controlada, esto permitirá soportar las cargas durante un determinado periodo de tiempo porque el elemento es capaz de transmitir directamente los esfuerzos al suelo en una forma minimizada, además es auto resistente. (Mora & Argüelles, 2015).

*Figura 5: Elementos de construcción para un pavimento de concreto.*

*Fuente: (Mora & Argüelles, 2015)*



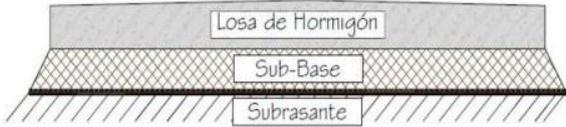
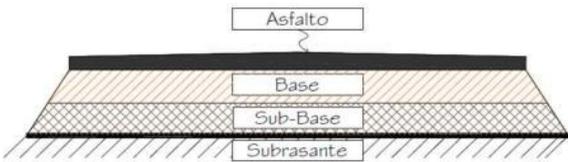
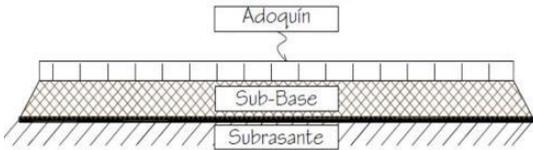
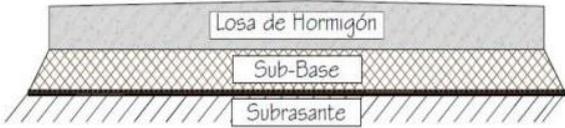
Finalmente, hay que mencionar que existen varios tipos de pavimentos, a veces compuestos principalmente por asfalto, a veces por concreto y a veces modificados con aditivos plásticos, En función del uso para el que se ha propuesto, habrá que seleccionar el material más adecuado para el mismo. Dado que el factor común para todos es que cuenten con una buena capacidad de soporte

**ESTUDIO EXPERIMENTAL COMPARATIVO DE RESISTENCIAS ENTRE PAVIMENTOS RÍGIDOS Y PAVIMENTOS CON FIBRAS PLÁSTICAS, COMO ALTERNATIVA PARA LA REHABILITACIÓN DE LAS CICLOVÍAS DE BOGOTÁ.**

frente a las cargas actuantes que recibirán, cada uno tiene una serie de bondades frente a los otros, y viceversa. Para la propuesta en cuestión, estos son las variables del problema y a continuación, la Tabla 4 expone sus características más relevantes:

Tabla 4: Características de los pavimentos de acuerdo a sus tipos.

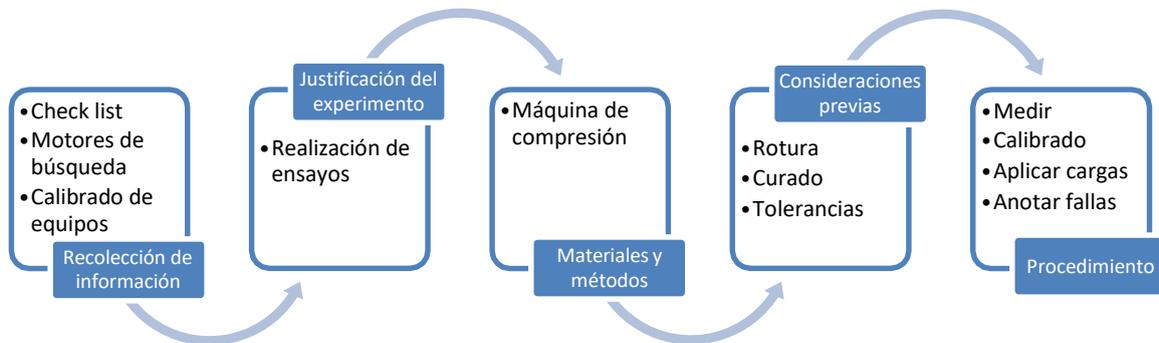
Fuente: (Barros Lozano & Gómez Hernández, 2017).

TIPOS DE PAVIMENTOS	
<p>De concreto (Rígidos).</p> 	<p>Proveen un soporte constante al pavimento. Tienen una vida útil más prolongada que el pavimento asfáltico y por poseer una superficie plana, aumentan la vida de los vehículos impidiendo que se dañen y disminuyendo su mantenimiento.</p>
<p>De asfalto (Flexibles).</p> 	<p>Tienen un tiempo de ejecución menor que los anteriores, también es menor el ruido producido por los vehículos al pasar, por ser una superficie continua. Sin embargo, se trastornan con el paso de vehículos pesados. No tienen un buen drenaje del agua de lluvia.</p>
<p>De adoquines (Articulados).</p> 	<p>Sus capas de rodadura se conforman por unidades de concreto prefabricado, adoquines, tienen espesor uniforme y se colocan sobre una capa fina de arena, que a su vez se encuentra sobre una capa granular o la subrasante.</p>
<p>Modificados con plástico.</p> 	<p>Son resultado de la incorporación de un aditivo modificador (polímero o no), que son estables en el tiempo se añaden para modificar propiedades asociadas a: temperatura, respuesta elástica, intervalo de plasticidad, envejecimiento, cohesión y resistencia al agua.</p>

## 5. METODOLOGÍA.

Figura 6: Diagrama de flujo de la metodología de desarrollo.

Fuente: Elaboración propia.



### 5.1. Técnicas e instrumentos para recolectar y analizar la información.

La primera técnica para la recolección de información comienza con un borrador donde se establecen las causas preliminares del problema y las diferencias entre las variables como soluciones. De este diagnóstico y a partir de la información obtenida se evidenciará cual es la mejor alternativa entre las variables analizadas para rehabilitar las ciclovías de la capital.

Con la intención de obtener los valores de la resistencia de los pavimentos de forma práctica, es necesario realizar los cálculos con los equipos del laboratorio. En este sentido, el principal pilar de información está conformado por los equipos de la Universidad Antonio Nariño, seguido de esto, el problema planteado requiere para su solución un proceso de recolección de datos comparativos que contempla además observaciones de comportamientos en el tiempo, aquí las fuentes de información primarias y secundarias juegan el papel principal y como se mencionó anteriormente, los principales motores de búsqueda empleados han sido Scopus y Google Scholar, de donde se filtrarán al menos 40 artículos científicos que nutrirán la propuesta.

### 5.2. Definición y justificación del tipo de experimentos.

Una vez definido el tipo de investigación, es clave realizar ensayos que aclaren la hipótesis planteada al principio. Es necesario destacar que se deben hacer la cantidad de ensayos suficientes para establecer una serie de conclusiones concordantes entre los resultados, pero sin escaparse del

**ESTUDIO EXPERIMENTAL COMPARATIVO DE RESISTENCIAS ENTRE PAVIMENTOS RÍGIDOS Y PAVIMENTOS CON FIBRAS PLÁSTICAS, COMO ALTERNATIVA PARA LA REHABILITACIÓN DE LAS CICLOVÍAS DE BOGOTÁ.**

cronograma establecido y por supuesto sin alterar el presupuesto estudiantil en caso de que sea necesario recurrir a empresas privadas. Dicho lo anterior, el número de ensayos a realizar es de 30 por cada tipo de material para cada tipo de prueba.

### **5.3. Materiales y métodos.**

Los ensayos consisten en aplicar una carga axial de compresión a cilindros moldeados a una velocidad de carga elevada progresivamente, hasta que cada uno presente su respectiva falla. Los materiales necesarios para esta práctica son la máquina de compresión con sus almohadillas y reguladores pertinentes, ilustrada en la Figura 5 (Universidad Antonio Nariño, 2020).

*Figura 7: Máquina de compresión para cilindros de concreto.*

*Fuente: (Universidad Antonio Nariño, 2020).*



### **5.4. Consideraciones previas.**

En esta sección, lo primero a destacar es que, en cuanto a pavimentos rígidos, no existe ningún aparato capaz de medir las tensiones en el concreto, solo es posible evaluar las deformaciones para luego estimar las tensiones que las han producido, es importante destacar que existen ensayos tanto destructivos como no destructivos, los primeros, como su nombre lo indica, dejarán el elemento inservible, mientras que los segundos, se pueden realizar incluso durante la ejecución de la obra sin afectar la estructura del elemento.

Entre los ensayos más comunes se encuentran las pruebas de carga, que consisten en la reproducción de uno o varios estados de carga sobre una misma sección del elemento antes de ponerlo en servicio; para realizar este ensayo se toman las siguientes consideraciones (Laqui, 2018):

- Las muestras de concreto endurecido solo deberán ser extraídas cuando el concreto sea lo suficientemente resistente como para soportar la remoción de las muestras sin alterar la adherencia entre los agregados gruesos y el mortero.
- Las muestras deben permanecer húmedas utilizando cualquier método conveniente, durante el lapso que ocurre desde su remoción del lugar de curado hasta cuando son ensayadas.
- Un testigo tomado perpendicularmente a una superficie horizontal debe ser ubicado, de tal manera que su eje continúe estando perpendicular a la superficie de vaciado, tal como fue colocado originalmente y no cerca de juntas formadas por límites obvios de vaciado.
- Todas las muestras de acuerdo a su edad se deben romper dentro de las tolerancias indicadas en la Tabla 5 que comprende edades desde las 12 horas hasta los 90 días:

Tabla 5: Tabla de tolerancias de acuerdo a la edad de la muestra de concreto.

Fuente: (Universidad Antonio Nariño, 2020)

EDAD DEL ENSAYO	TOLERANCIA PERMISIBLE
12 horas	0.25 horas o 2.1%
24 horas	0.5 horas o 2.1%
3 días	2 horas o 2.8%
7 días	6 horas o 3.6%
28 días	20 horas o 3%
56 días	40 horas o 3%
90 días	2 días o 2.2%

- La longitud ideal del espécimen estará entre 1,9 y 2,1 veces el diámetro.

Como medida de protección, el aparato de ensayar los cilindros tendrá que contar con una cabina de seguridad. La velocidad de carga de algunos equipos de ensayo deberá ser ajustado cuando se emplee refrentado de neopreno. En todos los casos, el procedimiento a seguir deberá ser el

**ESTUDIO EXPERIMENTAL COMPARATIVO DE RESISTENCIAS ENTRE PAVIMENTOS RÍGIDOS Y PAVIMENTOS CON FIBRAS PLÁSTICAS, COMO ALTERNATIVA PARA LA REHABILITACIÓN DE LAS CICLOVÍAS DE BOGOTÁ.**

especificado en el método principal de ensayo, modificado como se especifica a continuación (Universidad Antonio Nariño, 2020):

- Se ubica un aparato exterior de fijación sujetando una almohadilla de neopreno, en los extremos del cilindro de concreto. Con las almohadillas de neopreno en empalme con el cilindro de concreto, se alinea afinadamente el eje de la muestra con el centro de empuje del bloque de carga con rótula. Se ubican las placas de carga del equipo en contacto con los dos reguladores externos de fijación.
- No deben existir partículas libres entre el cilindro de concreto y el cojín de neopreno o entre las superficies de carga de los reguladores externos de fijación y las placas.
- La superficie del cojín de neopreno tendrá que reposar sobre el cilindro de concreto para todos los ensayos realizados con el mismo cojín. Cada almohadilla de neopreno no deberá ser utilizado para más de 100 cilindros.
- Se aplica la carga consecuentemente sin propiciar golpes bruscos, con una tasa de aplicación de carga aproximada de  $0.25 \pm 0.05$  MPa/s. La velocidad escogida se debe conservar, por lo menos, durante la segunda mitad del ensayo, para la fase de carga prevista, pero no se podrá ajustar la velocidad de movimiento conforme se va obteniendo la carga última y la tasa de aplicación de carga va decreciendo por el agrietamiento del cilindro.

Otro ensayo frecuente es el cálculo del módulo resiliente, un ensayo en el que se tiene que tomar en cuenta los grosores de las capas del terraplén y los del terreno existente sobre el eje de la vía, considerando que las capas participantes serán las que se hallen por debajo de 1.50 metros de profundidad desde la rasante, utilizándose la siguiente expresión, establecida por AASHTO (Herrera Montealegre, 2014).

$$Mr_{comp} = \frac{Mr_1 \times d_1^3 + Mr_2 \times d_2^3}{d_1^3 + d_2^3}$$

Donde,  $Mr_i$  es el Módulo resiliente del estrato  $i$ , y  $d_i$  es el Espesor del estrato  $i$ , entendido entre la profundidad de influencia que es de 1.5 metros. Igual que en el ensayo anterior, hay algunos aspectos importantes a considerar (Herrera Montealegre, 2014):

**ESTUDIO EXPERIMENTAL COMPARATIVO DE RESISTENCIAS ENTRE PAVIMENTOS RÍGIDOS Y PAVIMENTOS CON FIBRAS PLÁSTICAS, COMO ALTERNATIVA PARA LA REHABILITACIÓN DE LAS CICLOVÍAS DE BOGOTÁ.**

- Se tiene que desarrollar la sectorización de la vía, empleando el método estadístico de diferencias acumuladas, desarrollado por la misma AASHTO.
- Se han de constituir secciones homogéneas, considerando diversos factores como el tipo de pavimento, la densidad de tráfico, el clima, resistencia del suelo, entre otros especificados en la norma.

### **5.5. Dosificación.**

Los cilindros de pavimento rígido se elaboraron de acuerdo con las recomendaciones de la NTC 454 – Toma de muestras. El objetivo fue alcanzar mezclas de resistencias superiores a los 300 kg/cm<sup>2</sup> verificando que los agregados cumplan con las condiciones de la NTC 174 – Especificaciones de los agregados para concreto. Para los cilindros compuestos con fibras plásticas el porcentaje de fibras añadido fue de 0.54% del contenido de cemento, el resto de la dosificación fue igual y simplemente se añadió el contenido de fibras al final del mezclado. La mezcla se elaboró de la siguiente manera:

1/3 Arena = 2.1 kg.

2/3 Grava = 5.5 kg.

1.68 l de agua.

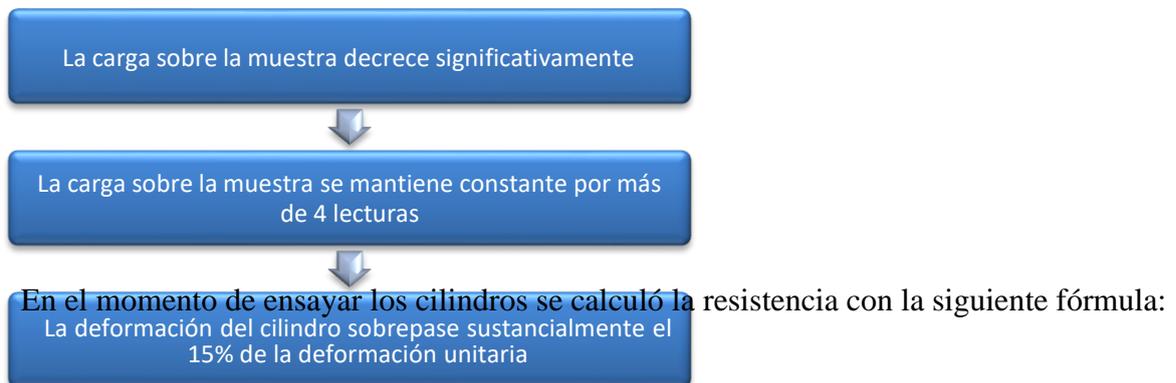
3.71 kg de cemento.

### **5.6. Procedimiento.**

*Figura 8: Diagrama de flujo sobre el procedimiento de los ensayos de compresión.*

**ESTUDIO EXPERIMENTAL COMPARATIVO DE RESISTENCIAS ENTRE PAVIMENTOS RÍGIDOS Y PAVIMENTOS CON FIBRAS PLÁSTICAS, COMO ALTERNATIVA PARA LA REHABILITACIÓN DE LAS CICLOVÍAS DE BOGOTÁ.**

Fuente: Elaboración propia.



$$\sigma = \frac{\text{Esfuerzo obtenido}}{\text{Área del cilindro}}$$

Por su parte, el porcentaje de resistencia se calculó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{\text{Resistencia obtenida} * 100}{\text{Resistencia nominal}}$$

Todos los resultados se sintetizan en las tablas de resultados por cada lote ensayado.

## 6. RESULTADOS EXPERIMENTALES.

Tras efectuar los ensayos de laboratorio, según los pasos descritos previamente en la metodología, los resultados para las muestras de pavimento rígido tradicional son los siguientes:

### 6.1 Pavimento rígido tradicional.

Tabla 6: Resumen de resultados. Ensayos de compresión en pavimento rígido tradicional de 5000 PSI. Lote de muestras N° 1.

Fuente: Elaboración propia.

Muestra	Edad (días)	D (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga		Resistencia		
				máx (kN)	máx (kg)	Kg/cm <sup>2</sup>	PSI	%
1	7	102	8171	341.4	34813.1	426.0	6058.1	119.3
2	7	102	8171	335.7	34231.9	418.9	5956.9	117.3
3	7	102	8171	345.8	35261.8	431.5	6136.1	120.9
4	7	102	8171	352.6	35955.2	440.0	6256.8	123.3
5	7	102	8171	163.6	16682.6	204.2	2903.0	57.2
6	7	102	8171	172.2	17559.5	214.9	3055.7	60.2
7	7	102	8171	227.8	23229.1	284.3	4042.3	79.6
8	7	102	8171	223.9	22831.4	279.4	3973.1	78.3
9	7	102	8171	240.8	24554.8	300.5	4272.9	84.2
10	7	102	8171	232.6	23718.6	290.3	4127.4	81.3

Tabla 7: Resumen de resultados. Ensayos de compresión en pavimento rígido tradicional de 5000 PSI. Lote de muestras N° 2.

Fuente: Elaboración propia.

Muestra	Edad (días)	D (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga		Resistencia		
				máx (kN)	máx (kg)	Kg/cm <sup>2</sup>	PSI	%
1	14	102	8171	346.4	35323.0	432.3	6146.8	121.1
2	14	102	8171	340.7	34741.7	425.2	6045.6	119.1
3	14	102	8171	350.8	35771.6	437.8	6224.9	122.6
4	14	102	8171	357.6	36465.0	446.3	6345.5	125.0
5	14	102	8171	241.1	24585.4	300.9	4278.3	84.3
6	14	102	8171	235.0	23963.3	293.3	4170.0	82.1
7	14	102	8171	291.2	29689.0	363.3	5166.4	101.8
8	14	102	8171	285.7	29128.2	356.5	5068.8	99.9
9	14	102	8171	330.2	33671.0	412.1	5859.3	115.4
10	14	102	8171	335.7	34231.9	418.9	5956.9	117.3

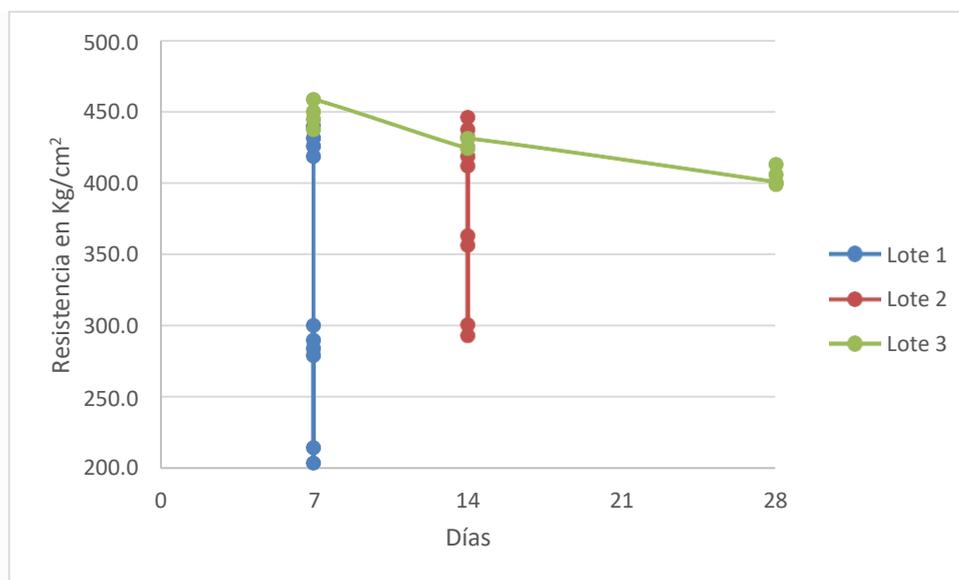
Tabla 8: Resumen de resultados. Ensayos de compresión en pavimento rígido tradicional de 5000 PSI. Lote de muestras N° 3.

Fuente: Elaboración propia.

Muestra	Edad (días)	D (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga		Resistencia		
				máx (kN)	máx (kg)	Kg/cm <sup>2</sup>	PSI	%
1	7	102	8171	356.4	36342.7	444.8	6324.2	124.6
2	7	102	8171	350.7	35761.4	437.6	6223.1	122.6
3	7	102	8171	360.8	36791.4	450.3	6402.3	126.1
4	7	102	8171	367.6	37484.8	458.7	6523.0	128.5
5	28	102	8171	321.2	32753.3	400.8	5699.6	112.3
6	28	102	8171	319.8	32610.5	399.1	5674.8	111.8
7	28	102	8171	331.2	33773.0	413.3	5877.1	115.8
8	28	102	8171	325.4	33181.6	406.1	5774.2	113.7
9	14	102	8171	340.2	34690.7	424.5	6036.8	118.9
10	14	102	8171	345.7	35251.6	431.4	6134.4	120.8

Figura 9: Valores de resistencia por días y muestras según la edad para pavimento rígido convencional.

Fuente: Elaboración propia.



En este grupo de muestras se observa que menos de la tercera parte tiene una resistencia menor a la esperada, concentrando esta tendencia en el primer lote. Esto puede deberse en gran parte a la temprana edad a la que se ha realizado el ensayo. En líneas generales, las resistencias son bastante acordes a los estándares establecidos.

**ESTUDIO EXPERIMENTAL COMPARATIVO DE RESISTENCIAS ENTRE PAVIMENTOS RÍGIDOS Y PAVIMENTOS CON FIBRAS PLÁSTICAS, COMO ALTERNATIVA PARA LA REHABILITACIÓN DE LAS CICLOVÍAS DE BOGOTÁ.**

**6.2 Pavimento rígido con fibras plásticas.**

Continuando con los ensayos de laboratorio; respecto a las muestras de pavimento rígido modificado con plástico, se escogió un pavimento desarrollado con fibras de polipropileno, hay que mencionar que este es uno de los materiales plásticos más utilizados en todas las industrias, se obtiene de la polimerización del propileno y ofrece una gran resistencia mecánica y química, baja absorción de humedad y funciona muy bien como aislante térmico. Es una combinación que en la teoría alcanza una resistencia nominal de 5000 PSI, igual a la del caso anterior porque se busca mantener un criterio comparativo uniforme (ABN Pipe Systems, 2019).

*Tabla 9: Resumen de resultados. Ensayos de compresión en pavimento rígido modificado con fibras de polipropileno de 5000 PSI. Lote de muestras N° 1.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Muestra	Edad (días)	D (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga max	Carga	Resistencia		
				(kN)	máx (kg)	Kg/cm <sup>2</sup>	PSI	%
1	7	102	8171	333.9	34048.3	416.7	5925.0	116.7
2	7	102	8171	338.8	34548.0	422.8	6011.9	118.4
3	7	102	8171	294.6	30040.8	367.6	5227.6	103.0
4	7	102	8171	298.7	30458.9	372.8	5300.4	104.4
5	7	102	8171	290.5	29622.7	362.5	5154.9	101.5
6	7	102	8171	297.7	30356.9	371.5	5282.6	104.1
7	7	102	8171	284.5	29010.9	355.0	5048.4	99.4
8	7	102	8171	291.3	29704.3	363.5	5169.1	101.8
9	7	102	8171	302.5	30846.4	377.5	5367.8	105.7
10	7	102	8171	305.9	31193.1	381.7	5428.1	106.9

Tabla 10: Resumen de resultados. Ensayos de compresión en pavimento rígido modificado con fibras de polipropileno de 5000 PSI. Lote de muestras N° 2.

Fuente: Elaboración propia.

Muestra	Edad (días)	D (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga máx	Carga	Resistencia		
				(kN)	máx (kg)	Kg/cm <sup>2</sup>	PSI	%
1	14	102	8171	347.9	35475.9	434.2	6173.4	121.6
2	14	102	8171	352.8	35975.6	440.3	6260.4	123.3
3	14	102	8171	308.6	31468.4	385.1	5476.0	107.9
4	14	102	8171	312.7	31886.5	390.2	5548.8	109.3
5	14	102	8171	304.5	31050.4	380.0	5403.3	106.4
6	14	102	8171	311.7	31784.5	389.0	5531.0	109.0
7	14	102	8171	298.5	30438.5	372.5	5296.8	104.3
8	14	102	8171	305.3	31131.9	381.0	5417.5	106.7
9	14	102	8171	316.5	32274.0	395.0	5616.2	110.6
10	14	102	8171	319.9	32620.7	399.2	5676.6	111.8

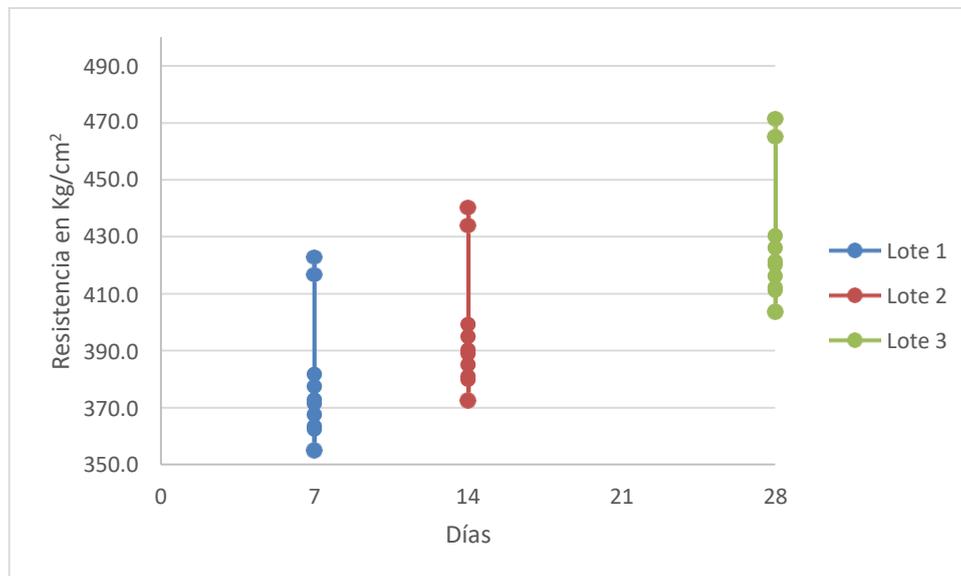
Tabla 11: Resumen de resultados. Ensayos de compresión en pavimento rígido modificado con fibras de polipropileno de 5000 PSI. Lote de muestras N° 3.

Fuente: Elaboración propia.

				Carga máx	Carga máx	Resistencia		
				(kN)	(kg)	Kg/cm <sup>2</sup>	PSI	%
1	28	102	8171	372.9	38025.2	465.4	6617.0	130.4
2	28	102	8171	377.8	38524.9	471.5	6704.0	132.1
3	28	102	8171	333.6	34017.7	416.3	5919.7	116.6
4	28	102	8171	337.7	34435.8	421.4	5992.4	118.0
5	28	102	8171	329.5	33599.6	411.2	5846.9	115.2
6	28	102	8171	336.7	34333.8	420.2	5974.7	117.7
7	28	102	8171	323.5	32987.8	403.7	5740.4	113.1
8	28	102	8171	330.3	33681.2	412.2	5861.1	115.5
9	28	102	8171	341.5	34823.3	426.2	6059.8	119.4
10	28	102	8171	344.9	35170.0	430.4	6120.2	120.6

Figura 10: Valores de resistencia por días y muestras según la edad para pavimento rígido con fibras plásticas.

Fuente: Elaboración propia.



En este conjunto de ensayos, se aprecia que solo una de las 30 muestras no alcanza a cumplir la resistencia esperada, nuevamente se trata de uno de los ensayos en edad temprana, aunque hay que destacar que el resultado es insuficiente solo por 27.6 PSI, apenas un 0.6% por debajo de lo esperado, que en la práctica bien podría ser despreciable. En ese orden de ideas y en función de estos resultados, se puede afirmar que el pavimento a base de fibras plásticas es notablemente mejor que el tradicional.

Tabla 12: Resumen de resultados. Comparativa entre las resistencias obtenidas.

Fuente: Elaboración propia.

	Carga max (kN)	Resistencia	
		Kg/cm²	PSI
Pavimento rígido tradicional	332.2	414.6	5894.8
	333.8	416.5	5922.7
	335.8	419.0	5958.1
Pavimento rígido modificado con fibras plásticas	335.6	418.8	5955.2
	336.5	419.9	5970.7
	336.4	419.9	5970.2

Dado que el anterior no es un ensayo normalizado no se presentan requerimientos para determinar si los datos obtenidos en el laboratorio son óptimos o deben ser descartados, no obstante, los resultados obtenidos de carga y resistencia no superan el 10% de dispersión por lo tanto se procederá con el análisis de resultados.

**ESTUDIO EXPERIMENTAL COMPARATIVO DE RESISTENCIAS ENTRE PAVIMENTOS RÍGIDOS Y PAVIMENTOS CON FIBRAS PLÁSTICAS, COMO ALTERNATIVA PARA LA REHABILITACIÓN DE LAS CICLOVÍAS DE BOGOTÁ.**

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### 7.1 Conclusiones.

De acuerdo con los resultados experimentales, obtenidos a partir de las 60 muestras ensayadas se puede afirmar que el pavimento más apropiado en función de su resistencia al peso y durabilidad en el tiempo para ser el material de construcción de las ciclovías bogotanas es el pavimento rígido desarrollado con fibras plásticas, esta afirmación se fundamenta en los siguientes puntos:

- Entre el pavimento convencional y el pavimento con fibras plásticas, los resultados fueron mucho más favorables para el segundo conjunto de muestras, tanto de forma individual como en el global, vale decir que, las resistencias fueron muy buenas aun cuando se ensayaron a tan solo 7 días de elaborarlos.
- La metodología de suministro e instalación del pavimento rígido con fibras plásticas hace que tenga un tiempo de vida útil mayor y que se abaraten los costos de mantenimiento, reduciendo a la larga el costo global de construir y mantener las ciclovías. Esto sin mencionar el uso que se le puede dar a esas bastas toneladas de desperdicio plástico que abundan en el país.

Durante la realización de los ensayos se pudo observar que los cilindros tendían a desmoronarse más cuanto mayor era su contenido de agregados finos, por lo que se puede afirmar que una mezcla óptima para ciclovías debe tener un contenido equilibrado entre agregados finos y gruesos.

A la luz de los objetivos planteados para solucionar la hipótesis establecida, se pueden considerar como alcanzados satisfactoriamente, dado que se logró desarrollar una justificación clara y objetiva sobre el criterio de escogencia del tipo de pavimento.

## **7.2 Recomendaciones.**

Es importante mencionar que no es conveniente privar las mezclas de pavimento de los aditivos; una mezcla sin aditivos tendrá un desgaste más notable y por consecuencia un tiempo de vida útil menor.

Para llevar a cabo correctamente este tipo de ensayos hay que tener especial cuidado con que las superficies de la máquina de compresión estén limpias y libres de humedad.

Las fallas que se pudieron observar en cada tipo de muestra estuvieron dentro de los criterios esperados, esto es un indicador de que los materiales granulares y sus respectivos añadidos cumplieron su objetivo de deformación, sin embargo, es importante destacar que para lograr estos resultados esperados se debe contar con equipos calibrados y cuyo mantenimiento es rutinario, como ha sido el caso.

Si bien es cierto que, para las condiciones del proyecto, el pavimento rígido con fibras plásticas ha resultado ser el más pertinente, esto no es indicativo de una solución absoluta y como se mencionó en el apartado anterior, es muy importante seguir realizando ensayos para ampliar el número de muestras, variar las condiciones de evaluación y así afianzar más esta teoría.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- ABN Pipe Systems. (28 de 10 de 2019). Envaselia. Madrid, Madrid, España.
- Amber, M. (07 de 02 de 2018). *Pixabay*. Obtenido de Pixabay: <https://pixabay.com/es/photos/pavimento-pavimentaci%c3%b3n-acera-3147099/>
- Aparicio, D., Montero, Y., & Uribe, M. (2020). *DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE LAS CICLORRUTAS EN BOGOTÁ PARA PROPONER OPCIONES DE MEJORA SOSTENIBLES PARA LA CIUDAD*. Bogotá: Publicaciones Universidad EAN. Obtenido de [https://repository.ean.edu.co/bitstream/handle/10882/10298/AparicioDiana\\_2020.pdf;jsessionid=4C36E7901885B045E5D46A2584AC34B3?sequence=2](https://repository.ean.edu.co/bitstream/handle/10882/10298/AparicioDiana_2020.pdf;jsessionid=4C36E7901885B045E5D46A2584AC34B3?sequence=2)
- Barros Lozano, C., & Gómez Hernández, A. (2017). *ANÁLISIS SUPERFICIAL Y METODOLOGIAS DE PAVIMENTOS PARA EL MANTENIMIENTO DE VÍAS TERCIARIAS DEL MUNICIPIO DE ESPINAL - TOLIMA*. Girardot: Publicaciones Universidad Piloto de Colombia. Obtenido de <http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/5683/Metodologia%20de%20Pavimentos.pdf?sequence=1>
- Bernal, D. (31 de 07 de 2018). ¿Paciente enfermo?: diagnóstico de algunas ciclorrutas bogotanas. *El Tiempo*, pág. 1. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/cual-es-el-estado-de-las-ciclorrutas-de-bogota-250270>
- Braxmeier, H. (03 de 05 de 2013). *Pixabay*. Obtenido de Pixabay: <https://pixabay.com/es/photos/botellas-de-pl%c3%a1stico-botellas-115071/>
- Forigua, J., & Pedraza, E. (2014). *DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS MEDIANTE LA ADICIÓN DE DESPERDICIOS PLÁSTICOS*. Bogotá: Publicación de la Universidad Católica de Colombia.
- García, B. (2019). Rodar por carreteras de plástico reciclado. *OpenMind*, 1.
- Herrera Montealegre, M. (2014). *DETERMINACIÓN DEL MÓDULO RESILIENTE DE DISEÑO DE PAVIMENTOS MEDIANTE CRITERIOS ASSHTO 1993 Y 2002*. Lima: Repositorio institucional PIRHUA. Obtenido de [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2018/MAS\\_ICIV-L\\_025.pdf?sequence=1](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2018/MAS_ICIV-L_025.pdf?sequence=1)
- IDRD. (04 de 2020). *Instituto Distrital de Recreación y Deporte*. Obtenido de Bogotá alcanza los 80 kilómetros de ciclovías temporales: <https://www.idrd.gov.co/noticias/bogota-alcanza-los-80-kilometros-ciclovias-temporales>

- Instituto de Desarrollo Urbano. (2019). *Malla Vial*. Bogotá: IDU. Obtenido de <https://www.idu.gov.co/page/inventario-malla-vial>
- Laqui, F. (2018). *Ensayos destructivos y no destructivos del concreto*. Ciudad de Guatemala: UDOCZ.
- Luna, L. (10 de 01 de 2019). *Rocas y Minerales*. Obtenido de <https://www.rocasyminales.net/pavimento/#:~:text=Base%3A%20Es%20la%20parte%20estructural,pavimento%2C%20la%20conforman%20mezclas%20bituminosas>.
- Marcillo, V. (2018). *EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL HORMIGÓN ASFÁLTICO CON PLÁSTICO POLIETILENO RECICLADO PARA VÍAS DE SEGUNDO ORDEN*. Guayaquil: Publicación de la Univesidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil.
- Marroquín, H., & López, M. (2019). *Análisis de la respuesta mecánica del concreto hidráulico para pavimentos modificados con fibras de bejuco*. Bogotá: Publicaciones Universidad Piloto de Colombia. Obtenido de <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/5722>
- Metaute, D., & Casas, D. (2009). *DESARROLLO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA UTILIZANDO RESIDUOS PLÁSTICOS*. Medellín: Publicación de la Universidad EAFIT.
- Millán, M. (2018). *La ciclovía como movilidad sustentable; una propuesta mediante el análisis espacial con geotecnologías, caso de estudio Zona Urbana de Toluca*. Toluca: Publicaciones Universidad Autónoma del Estado de México .
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo. (17 de 10 de 2016). *Minambiente*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/2512-en-cuenta-regresiva-para-limpiar-colombia>
- Mora, A., & Argüelles, C. (2015). *DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTO RIGIDO PARA LA URBANIZACION CABALLERO Y GONGORA, MUNICIPIO DE HONDA - TOLIMA*. Bogotá: Publicaciones Unversidad Católica de Colombia. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2687/1/dise%C3%B1o%20de%20pavimento%20rigido%20para%20la%20urbanizaci%C3%B3n%20Caballero%20Gongora%2C%20Municipio%20de%20Honda-Tolima.pdf>
- Muñoz, L. (16 de 02 de 2021). Las ciclovías más largas y originales del mundo. *Mexico, ruta mágica*, 1. Obtenido de <https://mexicorutamagica.mx/2021/02/16/estas-son-las-ciclovias-mas-largas-y-originales-del-mundo/>
- Pestana, C., Pereira, P., Pais, J., & Pereira, P. (2006). *Rehabilitación de pavimentos mediante mezclas bituminosas con betún modificado*. Minho: Publicaciones universidad de Minho. Obtenido de <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/6332>

- Plásticos Europa. (04 de 04 de 2018). *Plastics Europe*. Obtenido de <https://www.plasticseurope.org/es/about-plastics/what-are-plastics>
- Redacción Bogotá. (30 de 03 de 2016). Top 10 de las problemáticas que más agobian a biciusuarios en Bogotá. *El Espectador*, pág. 1.
- Road, P. (2018). *Circular y modular*. Países bajos : Plastic Road.
- Rojas, N. (2019). *Diseño de pavimento modificado con la adición de plástico reciclado para ciclovías*. Cuenca : Publicación de la Universidad de Cuenca.
- Rosenow, A. (01 de 04 de 2019). *Pixabay*. Obtenido de Pixabay: [https://www.istockphoto.com/es/foto/carril-bici-en-una-acera-con-c%C3%A9sped-verde-en-bogot%C3%A1-colombia-gm1139396427-304528737?utm\\_source=pixabay&utm\\_medium=affiliate&utm\\_campaign=SRP\\_image\\_sponsored&referrer\\_url=http%3A%2F%2Fpixabay.com%2Fes%2Fimages%](https://www.istockphoto.com/es/foto/carril-bici-en-una-acera-con-c%C3%A9sped-verde-en-bogot%C3%A1-colombia-gm1139396427-304528737?utm_source=pixabay&utm_medium=affiliate&utm_campaign=SRP_image_sponsored&referrer_url=http%3A%2F%2Fpixabay.com%2Fes%2Fimages%2F)
- Ulloa, A. (2011). *Guía de pruebas de laboratorio y muestreo en campo para la verificación de calidad en materiales de un pavimento asfáltico*. San José: Publicaciones lanammeUCR. Obtenido de [file:///D:/Users/Usuario/Downloads/Dialnet-GuiaDePruebasDeLaboratorioYMuestreoEnCampoParaLaVe-6240953%20\(1\).pdf](file:///D:/Users/Usuario/Downloads/Dialnet-GuiaDePruebasDeLaboratorioYMuestreoEnCampoParaLaVe-6240953%20(1).pdf)
- Universidad Antonio Nariño. (2020). *RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO CON REFRENTADO DE NEOPRENO*:. Bogotá: Universidad Antonio Nariño.
- Wakayama, Y. (23 de 05 de 2021). *Pixabay*. Obtenido de Pixabay: <https://pixabay.com/es/photos/lacarretera-ciudad-motocicleta-6281973/>

## ANEXOS.

Resultados de laboratorio para los ensayos de pavimento rígido tradicional.

MUESTRA	FECHA DE LA TOMA	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (mm)	AREA (mm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA NOMINAL (PSI)	CARGA MAXIMA (kN)	CARGA MAXIMA (kg)	RESISTENCIA		
									Kg/cm <sup>2</sup>	PSI	%
1	24-09-21	01-10-21	7	102	8171	5076.3	341.4	34813.1	426.0	6058.1	119.3
2	24-09-21	01-10-21	7	102	8171	5076.3	335.7	34231.9	418.9	5956.9	117.3
3	28-09-21	05-10-21	7	102	8171	5076.3	345.8	35261.8	431.5	6136.1	120.9
4	28-09-21	05-10-21	7	102	8171	5076.3	352.6	35955.2	440.0	6256.8	123.3
5	11-10-21	18-10-21	7	102	8171	5076.3	163.6	16682.6	204.2	2903.0	57.2
6	11-10-21	18-10-21	7	102	8171	5076.3	172.2	17559.5	214.9	3055.7	60.2
7	11-10-21	18-10-21	7	102	8171	5076.3	227.8	23229.1	284.3	4042.3	79.6
8	11-10-21	18-10-21	7	102	8171	5076.3	223.9	22831.4	279.4	3973.1	78.3
9	20-10-21	27-10-21	7	102	8171	5076.3	240.8	24554.8	300.5	4272.9	84.2
10	20-10-21	27-10-21	7	102	8171	5076.3	232.6	23718.6	290.3	4127.4	81.3

MUESTRA	FECHA DE LA TOMA	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (mm)	AREA (mm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA NOMINAL (PSI)	CARGA MAXIMA	CARGA MAXIMA (kg)	RESISTENCIA		
									Kg/cm <sup>2</sup>	PSI	%
1	24-09-21	08-10-21	14	102	8171	5076.3	346.4	35323.0	432.3	6146.8	121.1
2	24-09-21	08-10-21	14	102	8171	5076.3	340.7	34741.7	425.2	6045.6	119.1
3	28-09-21	12-10-21	14	102	8171	5076.3	350.8	35771.6	437.8	6224.9	122.6
4	28-09-21	12-10-21	14	102	8171	5076.3	357.6	36465.0	446.3	6345.5	125.0
5	11-10-21	25-10-21	14	102	8171	5076.3	241.1	24585.4	300.9	4278.3	84.3
6	11-10-21	25-10-21	14	102	8171	5076.3	235.0	23963.3	293.3	4170.0	82.1
7	11-10-21	25-10-21	14	102	8171	5076.3	291.2	29689.0	363.3	5166.4	101.8
8	11-10-21	25-10-21	14	102	8171	5076.3	285.7	29128.2	356.5	5068.8	99.9
9	15-10-21	29-10-21	14	102	8171	5076.3	330.2	33671.0	412.1	5859.3	115.4
10	15-10-21	29-10-21	14	102	8171	5076.3	335.7	34231.9	418.9	5956.9	117.3

MUESTRA	FECHA DE LA TOMA	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (mm)	AREA (mm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA NOMINAL (PSI)	CARGA MAXIMA	CARGA MAXIMA (kg)	RESISTENCIA		
									Kg/cm <sup>2</sup>	PSI	%
1	24-09-21	01-10-21	7	102	8171	5076.3	356.4	36342.7	444.8	6324.2	124.6
2	24-09-21	01-10-21	7	102	8171	5076.3	350.7	35761.4	437.6	6223.1	122.6
3	28-09-21	05-10-21	7	102	8171	5076.3	360.8	36791.4	450.3	6402.3	126.1
4	28-09-21	05-10-21	7	102	8171	5076.3	367.6	37484.8	458.7	6523.0	128.5
9	25-09-21	09-10-21	14	102	8171	5076.3	340.2	34690.7	424.5	6036.8	118.9
10	25-09-21	09-10-21	14	102	8171	5076.3	345.7	35251.6	431.4	6134.4	120.8
5	24-09-21	22-10-21	28	102	8171	5076.3	321.2	32753.3	400.8	5699.6	112.3
6	24-09-21	22-10-21	28	102	8171	5076.3	319.8	32610.5	399.1	5674.8	111.8
7	24-09-21	22-10-21	28	102	8171	5076.3	331.2	33773.0	413.3	5877.1	115.8
8	24-09-21	22-10-21	28	102	8171	5076.3	325.4	33181.6	406.1	5774.2	113.7

Resultados de laboratorio para los ensayos de pavimento rígido con fibras plásticas.

MUESTRA	FECHA DE LA TOMA	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (mm)	AREA (mm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA NOMINAL (PSI)	CARGA MAXIMA (kN)	CARGA MAXIMA (kg)	RESISTENCIA		
									Kg/cm <sup>2</sup>	PSI	%
1	07-09-21	14-09-21	7	102	8171	5076.3	333.9	34048.3	416.7	5925.2	116.7
2	07-09-21	14-09-21	7	102	8171	5076.3	338.8	34548.0	422.8	6011.9	118.4
3	18-09-21	25-09-21	7	102	8171	5076.3	294.6	30040.8	367.6	5227.6	103.0
4	18-09-21	25-09-21	7	102	8171	5076.3	298.7	30458.9	372.8	5300.4	104.4
5	15-09-21	22-09-21	7	102	8171	5076.3	290.5	29622.7	362.5	5154.9	101.5
6	15-09-21	22-09-21	7	102	8171	5076.3	297.7	30356.9	371.5	5282.6	104.1
7	26-09-21	03-10-21	7	102	8171	5076.3	284.5	29010.9	355.0	5048.4	99.4
8	26-09-21	03-10-21	7	102	8171	5076.3	291.3	29704.3	363.5	5169.1	101.8
9	30-09-21	07-10-21	7	102	8171	5076.3	302.5	30846.4	377.5	5367.8	105.7
10	30-09-21	07-10-21	7	102	8171	5076.3	305.9	31193.1	381.7	5428.1	106.9

MUESTRA	FECHA DE LA TOMA	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (mm)	AREA (mm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA NOMINAL (PSI)	CARGA MAXIMA (kN)	CARGA MAXIMA (kg)	RESISTENCIA		
									Kg/cm <sup>2</sup>	PSI	%
1	07-09-21	21-09-21	14	102	8171	5076.3	347.9	35475.9	434.2	6173.4	121.6
2	07-09-21	21-09-21	14	102	8171	5076.3	352.8	35975.6	440.3	6260.4	123.3
3	18-09-21	02-10-21	14	102	8171	5076.3	308.6	31468.4	385.1	5476.0	107.9
4	18-09-21	02-10-21	14	102	8171	5076.3	312.7	31886.5	390.2	5548.8	109.3
5	15-09-21	29-09-21	14	102	8171	5076.3	304.5	31050.4	380.0	5403.3	106.4
6	15-09-21	29-09-21	14	102	8171	5076.3	311.7	31784.5	389.0	5531.0	109.0
7	26-09-21	10-10-21	14	102	8171	5076.3	298.5	30438.5	372.5	5296.8	104.3
8	26-09-21	10-10-21	14	102	8171	5076.3	305.3	31131.9	381.0	5417.5	106.7
9	30-09-21	14-10-21	14	102	8171	5076.3	316.5	32274.0	395.0	5616.2	110.6
10	30-09-21	14-10-21	14	102	8171	5076.3	319.9	32620.7	399.2	5676.6	111.8

MUESTRA	FECHA DE LA TOMA	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (mm)	AREA (mm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA NOMINAL (PSI)	CARGA MAXIMA (kN)	CARGA MAXIMA (kN)	RESISTENCIA		
									Kg/cm <sup>2</sup>	PSI	%
1	07-09-21	05-10-21	28	102	8171	5076.3	372.9	38025.2	465.4	6617.0	130.4
2	07-09-21	05-10-21	28	102	8171	5076.3	377.8	38524.9	471.5	6704.0	132.1
3	18-09-21	16-10-21	28	102	8171	5076.3	333.6	34017.7	416.3	5919.7	116.6
4	18-09-21	16-10-21	28	102	8171	5076.3	337.7	34435.8	421.4	5992.4	118.0
5	15-09-21	13-10-21	28	102	8171	5076.3	329.5	33599.6	411.2	5846.9	115.2
6	15-09-21	13-10-21	28	102	8171	5076.3	336.7	34333.8	420.2	5974.7	117.7
7	26-09-21	24-10-21	28	102	8171	5076.3	323.5	32987.8	403.7	5740.4	113.1
8	26-09-21	24-10-21	28	102	8171	5076.3	330.3	33681.2	412.2	5861.1	115.5
9	30-09-21	28-10-21	28	102	8171	5076.3	341.5	34823.3	426.2	6059.8	119.4
10	30-09-21	28-10-21	28	102	8171	5076.3	344.9	35170.0	430.4	6120.2	120.6

**ESTUDIO EXPERIMENTAL COMPARATIVO DE RESISTENCIAS ENTRE PAVIMENTOS RÍGIDOS Y PAVIMENTOS CON FIBRAS PLÁSTICAS, COMO ALTERNATIVA PARA LA REHABILITACIÓN DE LAS CICLOVÍAS DE BOGOTÁ.**

Registro fotográfico actual de la Carrera décima entre la calle 22 y 27 sur.



**ESTUDIO EXPERIMENTAL COMPARATIVO DE RESISTENCIAS ENTRE PAVIMENTOS RÍGIDOS Y PAVIMENTOS CON FIBRAS PLÁSTICAS, COMO ALTERNATIVA PARA LA REHABILITACIÓN DE LAS CICLOVÍAS DE BOGOTÁ.**

Registro fotográfico de los ensayos de laboratorio.



**ESTUDIO EXPERIMENTAL COMPARATIVO DE RESISTENCIAS ENTRE PAVIMENTOS RÍGIDOS Y PAVIMENTOS CON FIBRAS PLÁSTICAS, COMO ALTERNATIVA PARA LA REHABILITACIÓN DE LAS CICLOVÍAS DE BOGOTÁ.**