

PROYECTO DE INVESTIGACION

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE UN ASFALTO 80/100 MODIFICADO  
CON AGREGADOS DE DESECHOS DE VIDRIO TEMPLADO MOLIDO PARA SU APLICACIÓN  
EN PAVIMENTOS



JORGE IVAN CARRILLO MORA  
HELEN GERALDINE SAAVEDRA HERNANDEZ



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
VILLAVICENCIO

2023

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE UN ASFALTO 80/100 MODIFICADO  
CON AGREGADOS DE DESECHOS DE VIDRIO TEMPLADO MOLIDO PARA SU APLICACIÓN  
EN PAVIMENTOS

JORGE IVAN CARRILLO MORA  
HELEN GERALDINE SAAVEDRA HERNANDEZ

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título profesional de Ingeniero Civil

Aprobado por:  
I.C. JESSICA MARÍA RAMÍREZ CUELLO, M.Sc.  
Director

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
VILLAVICENCIO

2023

**Autoridades Académicas**

**P. Álvaro José ARANGO RESTREPO, O.P.**

Rector General

**P. Eduardo GONZÁLEZ, O.P.**

Vicerrector Académico General

**P. José Antonio BALAGUERA CEPEDA, O.P.**

Rector Sede Villavicencio

**P. Rodrigo GARCÍA JARA, O.P.**

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

**Mg. JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN**

Secretaria de División Sede Villavicencio

**P. Inael SÁNCHEZ HERNÁNDEZ, O.P.**

Decano de División de Arquitectura e Ingenierías

**Ing. LUIS FERNANDO DIAZ CRUZ, Mg.**

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil

**Nota De Aceptación**

---

---

---

---

---

**LUIS FERNANDO DIAZ CRUZ**

Decano de Facultad

---

**JESSICA RAMÍREZ CUELLO**

Director Trabajo de Grado

---

**JUAN MANUEL SALGADO DIAZ**

Jurado

*Llegar acá no ha sido un proceso fácil, pero si muy enriquecedor, me acompañaste a mi primer día universitario, pero no podrás estar presente el día de mi grado. A ti, mi tía, mi madrina, mi segunda mamá te dedico este trabajo para que desde donde te encuentres sigas orgullosa de mí.*

*Ivan Carrillo Mora*

*Dedico este trabajo primeramente a Dios por permitirme llegar a estas instancias y edificar este camino para mí, a mi padre y mi madre que, aunque no se encuentren presentes me han dado la fortaleza para llevar a cabo este proceso, a ellos les debo todo lo que soy.*

*Helen Geraldine Saavedra Hernandez*

### **Agradecimientos**

Le damos gracias primero a Dios por permitirnos llegar al final de una meta más, por darnos la sabiduría, la paciencia, la constancia y la fortaleza que muchas veces necesitamos. Agradecemos a nuestros padres por formar las personas que somos hoy en día, nos llenaron de valores que honramos y aplicamos en nuestra vida.

A la Ingeniera Jessica Ramírez, nuestra directora de investigación por su paciencia y aporte de conocimientos para realizar con éxito este proyecto. A nuestro jurado, el ingeniero Juan Manuel Salgado por hacernos ver que siempre podemos dar más de nuestras capacidades.

Al equipo de laboratorios de la Universidad Santo Tomás por permitirnos hacer uso de las instalaciones, equipos y acompañarnos en los ensayos de nuestro proyecto.

## Contenido

|  | Pág. |
|--|------|
| Resumen .....  | 11   |
| Abstract .....   | 12   |
| Glosario .....   | 13   |
| Introducción.....  | 14   |
| Formulación del problema .....   | 15   |
| Objetivos .....  | 17   |
| Objetivo General .....   | 17   |
| Objetivos específicos .....  | 17   |
| Justificación.....   | 18   |
| Marco de referencia .....  | 19   |
| Estado del arte .....  | 19   |
| Marco normativo .....  | 23   |
| Metodología.....   | 24   |
| Fase 1. Recolección de materiales y alistamiento .....   | 26   |
| Fase 2. Trituración y tamizaje del vidrio templado, modificación asfáltica .....                         | 27   |
| Fase 3. Ensayos de laboratorio .....   | 29   |
| 9.3.1 Penetración de los materiales bituminosos INV E 706.....   | 29   |
| 9.3.2 Punto de ablandamiento (aparato de anillo y bola) INV E 712.....                                   | 30   |
| 9.3.3 Punto de inflamación y combustión mediante copa abierta Cleveland INV E 709..                      | 31   |
| 9.3.4 Determinación de la viscosidad del asfalto empleando el viscosímetro rotacional<br>INV E 717 ..... | 31   |
| Fase 4. Análisis de resultados y comparación de muestras de asfalto.....                                 | 32   |
| 9.4.1 Ensayo penetración .....   | 32   |
| 9.4.2 Ensayo punto de ablandamiento .....  | 33   |
| 9.4.3 Ensayo punto de inflamación y combustión.....  | 34   |
| 9.4.4 Ensayo viscosidad.....   | 35   |
| Investigadores y trayectoria.....  | 36   |

Conclusiones.....37

Recomendaciones trabajos futuros .....38

Referencias bibliográficas .....39

**Lista de Tablas**

|   | Pág. |
|---|------|
| <b>Tabla 1.</b> Estado del arte.....                            | 19   |
| <b>Tabla 2.</b> Marco normativo .....                           | 23   |
| <b>Tabla 3.</b> Metodología .....                               | 25   |
| <b>Tabla 4.</b> Especificaciones modificación de asfaltos ..... | 28   |
| <b>Tabla 5.</b> Resultados ensayo de penetración.....           | 33   |
| <b>Tabla 6.</b> Resultado ensayo punto de ablandamiento.....    | 33   |
| <b>Tabla 7.</b> Resultado ensayo de inflamación .....           | 34   |
| <b>Tabla 8.</b> Resultado ensayo combustión .....               | 34   |
| <b>Tabla 9.</b> Investigadores.....                             | 36   |

## Lista de Figuras

|  | Pág. |
|--|------|
| <b>Figura 1.</b> Metodología.....  | 24   |
| <b>Figura 2.</b> Recolección vidrio templado y fracturación manual.....        | 26   |
| <b>Figura 3.</b> Recolección de asfalto en Pasolin SAS.....                    | 27   |
| <b>Figura 4.</b> Trituración vidrio templado en la máquina de los ángeles..... | 27   |
| <b>Figura 5.</b> Proceso de tamizaje.....                                      | 28   |
| <b>Figura 6.</b> Modificación asfalto.....                                     | 29   |
| <b>Figura 7.</b> Ensayo penetración.....                                       | 30   |
| <b>Figura 8.</b> Ensayo punto de ablandamiento.....                            | 30   |
| <b>Figura 9.</b> Ensayo punto de inflamación y combustión.....                 | 31   |
| <b>Figura 10.</b> Ensayo viscosidad.....                                       | 32   |
| <b>Figura 11.</b> Datos ensayo viscosidad.....                                 | 35   |

## Resumen

Con el cambio climático que genera variaciones extremas en las temperaturas las vías se ven afectadas ya que un factor al momento del diseño es el clima y la precipitación, esto ocasiona que la capa de rodadura hecha con asfalto convencional presente una disminución en su vida útil cuya consecuencia son mayores sobrecostos en mantenimientos y reparaciones.

El proyecto de investigación se enfoca en la evaluación de las propiedades físicas de un asfalto 80/100 modificado con desechos de vidrio templado molido (DVTM), realizando ensayos de laboratorio a cada una de las modificaciones hechas con distintos porcentajes de DVTM para determinar cuál de todos mejora las características del asfalto. A su vez haciendo uso de un material no reciclable contribuyendo al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible número 9 y 12, mitigando el impacto ambiental y creando infraestructuras más sostenibles.

Con los resultados de este proyecto se determinará si modificar el asfalto con los DVTM genera una mejoría en las propiedades físicas en comparación con un asfalto sin modificar. Esto con el fin de prolongar su vida útil, así mismo, disminuyendo costos en mantenimientos y reparaciones en los pavimentos que se puedan diseñar con base en esta investigación.

Los resultados de los ensayos nos arrojaron una menor penetración lo que ocasiona una mayor rigidez, por otro lado, el punto de ablandamiento aumento, por lo tanto, la capa de rodadura no presentara daños tan frecuentes al momento de ser implementada en las vías del país prolongando la vida útil del pavimento.

**Palabras clave:** Asfalto, contaminación, infraestructura de transportes, tratamiento de desechos, mantenimiento, vidrio.

### **Abstract**

With climate change that generates extreme variations in temperatures, the roads are affected since a factor at the time of design is the climate and precipitation, this causes the rolling layer made with conventional asphalt to present a decrease in its useful life whose the consequence is greater extra costs in maintenance and repairs.

The research project focuses on the evaluation of the physical properties of an 80/100 asphalt modified with ground tempered glass waste (GTGW), carrying out laboratory tests on each of the modifications made with different percentages of GTGW to determine which of all improve the characteristics of the asphalt. At the same time, using a non-recyclable material, contributing to the fulfillment of Sustainable Development Goals number 9 and 12, mitigating the environmental impact and creating more sustainable infrastructures.

With the results of this project, it will be determined whether modifying the asphalt with GTGW generates an improvement in the physical properties compared to unmodified asphalt in order to prolong its useful life, as well as reducing costs in maintenance and repairs on the pavements. that can be designed based on this research.

The results of the tests showed us a lower penetration which causes greater rigidity, on the other hand, the softening point increased, therefore, the road course would not present such frequent damage when it was implemented on the country's roads, prolonging the useful life of the pavement.

**Key Word:** Asphalt, pollution, transportation infrastructure, waste treatment, maintenance, glass.

## Glosario

**Asfalto:** Material bituminoso derivado pétreo de color negro, viscoso que funciona como cementante para los agregados con el fin de formar una estructura solida implementada en las vías.

**Asfalto modificado:** El asfalto modificado hace referencia al asfalto convencional, el cual es mezclado con otro tipo de materiales con el fin de mejorar sus propiedades originales. Usualmente se hace con desechos inorgánicos para así mismo contribuir a la conservación del medio ambiente dándole un segundo uso a estos materiales cuyo reciclaje es más complejo o inexistente.

**Caracterización de asfaltos:** Es el proceso en el cual se determinan cada una de las propiedades de los asfaltos las cuales son importantes al momento de elegir el asfalto adecuado para la elaboración de vías dependiendo de las condiciones de cada proyecto.

**Pavimento:** Conjunto de capas construidas de forma técnica con el fin de generar una superficie lisa y uniforme para el tránsito de vehículos trasladando las cargas de forma uniforme a la capa inferior.

**Vidrio templado:** Es un vidrio el cual es sometido a tratamientos térmicos y/o químicos con el fin de aumentar la resistencia, generalmente es destinado a elementos de seguridad como puertas, ventanas, vidrios panorámicos de vehículos, entre otros usos. Por tener un proceso para un fin específico su reciclaje es muy limitado.

## **Introducción**

La infraestructura vial proporciona una base esencial para el funcionamiento de todas las economías nacionales y genera grandes beneficios económicos y sociales. Por lo que conservar adecuadamente la infraestructura vial es imprescindible para preservar y aumentar la economía y el desarrollo de un país. Los responsables de la toma de decisiones deben reconocer la importancia de la conservación, así como la de financiarla y administrarla adecuadamente para extraer el máximo valor de la red (Asociación Mundial de la Carretera (AIPCR/PIARC), 2014).

El uso de materiales y tecnologías reciclables sostenibles hoy en día es fundamental para todas las industrias intentado dar cumplimiento a los objetivos de desarrollo sostenible. En la construcción y renovación de vías se requiere de un estudio más profundo y más investigaciones de nuevos materiales para mitigar el uso de recursos naturales no renovables.

Este proyecto plantea un solución sostenible e innovadora con el fin de mejorar la infraestructura vial, para que de esta manera se pueda perfeccionar los estándares de calidad del asfalto realizando una modificación con vidrio templado, el cual es conocido por su resistencia y su durabilidad. Con esto no solo mejora la tenacidad estructural del pavimento, sino que también aporta propiedades únicas que contribuyen a una mayor seguridad vial y a la sostenibilidad ambiental.

### **Formulación del problema**

Las vías conectan lugares y permiten el intercambio de culturas, lenguas y comercio, por lo que es de gran importancia que se encuentren en óptimo estado. Hoy día, las carreteras no están preparadas para un verano más caluroso ni inviernos más fuertes, el calentamiento global está provocando daños en la estructura, generando sobrecostos en reparaciones y mantenimientos cada vez más frecuentes al disminuir su vida útil (Ralston, 2022).

Colombia es un país diverso en culturas, gastronomía, flora, fauna, clima y el actual estado vial presenta un atraso para su desarrollo. De acuerdo con el último reporte del Instituto Nacional de Vías del segundo semestre de 2022, el equivalente al 79,78% de la red vial en el país se encuentra pavimentada dejando así un déficit del 20,2%. Adicionalmente del 79,78% que se encuentra pavimentada solo el 51,57% se encuentra en buen estado, el 30% en estado regular y un 18,37% en mal estado (Galeano, 2023).

En la ciudad de Villavicencio se encuentran realizando trabajos de reparcheos, presentándose algunos reclamos específicamente sobre los trabajos realizados en el camino ganadero, ya que se ha intervenido tres veces en seis meses; Luis Antonio Chávez, quien se encuentra ejerciendo el cargo de secretario de infraestructura de Villavicencio en diálogo con el periódico llano SIE7E DÍAS comentó que el estado actual de la estructura vial que comunica la avenida Puerto López con la avenida Catama es normal y que se debe al tiempo que tiene de haberse realizado esta vía, el cual ya supera los 20 años y añadió que este tipo de obras tiene una duración entre 10 a 12 años (“La Realidad De La Malla Vial De Villavicencio,” 2023). Actualmente se busca mejorar las propiedades del asfalto alargando su vida útil, disminuyendo costos en reparaciones y mantenimientos frecuentes haciendo uso de desechos como el caucho, el plástico, el vidrio y otros productos cuyo proceso de reciclaje es limitado.

El vidrio es un material no biodegradable y actualmente en Colombia se reciclan varias toneladas para su reutilización, sin embargo, el mayor porcentaje corresponde a envases. Otro tipo de vidrios como lo son las bombillas, los parabrisas, el vidrio de las ventanas, los que se encuentran rotos no se pueden procesar a través del sistema normal de reciclaje, por lo menos no en Colombia, terminando entonces en basureros, potreros, rellenos ilegales o en vertimientos. (Santa Marta Sostenible, 2020)

Con esta investigación se pretende evaluar un asfalto 80/100 modificado con desechos de vidrio templado a través de su caracterización física, mitigando el impacto ambiental y buscando mejorar las propiedades físicas del asfalto, orientados por la pregunta:

¿Pueden los desechos de vidrio templado mejorar las características físicas de un asfalto 80/100 teniendo en cuentas la normativa INVIAS?

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Evaluar el impacto de la adición de diferentes porcentajes de desechos de vidrio templado en la mezcla de asfalto 80/100 sobre sus propiedades físicas, teniendo en cuenta la normativa INVIAS.

### **Objetivos específicos**

- Definir los porcentajes de vidrio templado para la modificación del asfalto 80/100 teniendo en cuenta investigaciones afines con el fin de aumentar el rendimiento, la resistencia y la sostenibilidad de la mezcla.
- Realizar un análisis comparativo de las modificaciones realizadas al asfalto 80/100 respecto a las características físicas del asfalto virgen en cumplimiento con la normativa INVIAS.
- Determinar el porcentaje adecuado de vidrio templado con el que el asfalto 80/100 modificado presenta un mejor comportamiento.

## Justificación

El impacto ambiental causado por el hombre es un hecho preocupante que actualmente ha llegado a todas las áreas, de esta manera en las mezclas asfálticas se intenta innovar y desarrollar nuevas técnicas implementando algunos desechos logrando que las carreteras sean más amigables con el medio ambiente.

Los objetivos de desarrollo sostenible son la ruta para crear un mundo mejor para todos. Con la utilización del vidrio templado para modificaciones asfálticas se contribuye a los objetivos número 9 y 12; específicamente al cumplimiento de la meta 9.1 del ODS 9 la cual es, desarrollar infraestructuras sostenibles y de calidad, incluidas infraestructuras regionales y transfronterizas, para apoyar el desarrollo económico y el bienestar humano (Moran, 2015). Así como la meta 12.5 del ODS 12, la cual es de hoy a 2030, reducir considerablemente la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización (Moran, 2015).

En la utilización de residuos no biodegradables como el vidrio templado en mezclas asfálticas se espera obtener un material de mayor resistencia ya que entre sus propiedades se destacan su resistencia y durabilidad; así como también ayudar con el medio ambiente, logrando esto con características similares al asfalto convencional (Mairon, 2014). para que de esta manera se garantice una mayor vida útil del asfalto, permitiendo que al momento de su aplicación en pavimentos sea capaz de soportar cargas pesadas.

Vanegas y Segura, 2021, en su trabajo de investigación determinaron que al comparar el comportamiento de estabilidad de una mezcla convencional con una mezcla a la cual se le agrego el material no reciclable su capacidad de resistir desplazamiento y deformaciones bajo las cargas de tránsito aumentan notablemente, por consiguiente, una mezcla modificada con vidrio templado molido no será tan susceptible a fatiga y ahuellamientos (Vanegas Manrique & Segura Calleja, 2021); generando una reducción en la necesidad de reparaciones y mantenimientos frecuentes.

Como ayuda al medio ambiente, al momento de utilizar vidrio quebrado de ventanas, vehículos chocados, botellas, entre otros, se reduce la cantidad de residuos sin aprovechar que terminan en vertederos, de esta manera se garantiza una sostenibilidad ambiental.

Así mismo, hacer uso de los recursos que antes se destinaban a las reparaciones y mantenimientos en pavimentación de más kilómetros de vías, comunicando a la población colombiana que se encuentra en sectores alejados con las grandes ciudades, disminuyendo horas en los trayectos y así mismo contribuyendo al desarrollo económico, social y cultural del país. Si bien, Colombia cada día presenta un mayor avance en su infraestructura vial, aérea, etc., es importante dirigir esos proyectos a infraestructuras sostenibles.

**Marco de referencia**

**Estado del arte**

*Tabla 1. Estado del arte*

| NOMBRE  | TIPO DE TRABAJO | AUTOR (ES)  | AÑO  | TEMA DE INTERÉS   | APORTE  |
|---|-----------------|---|------|---|---|
| Effect and mechanism of waste glass powder silane modification on water stability of asphalt mixture                  | Artículo        | Chuanqi Li, Haobo Wang, Chaoliang Fu, Shaosong Shi, Quan Liu, Peixin Xu, Qizheng Liu, Dan Zhou, Ying Cheng, Lin Jiang | 2023 | Mejoramiento mezcla asfáltica con vidrio                      | El relleno de polvo de vidrio podría aumentar la rigidez, la capacidad portante y la resistencia a las deformaciones permanentes. Sin embargo, muchas investigaciones también demostraron que la sustitución de agregados y carga mineral por polvo de vidrio daría como resultado una menor densidad y mayores huecos de aire, debido a las propiedades de adhesión de las partículas de vidrio respecto al asfalto, por ese motivo es necesario mejorarlas. (Li et al., 2023) |
| Evaluación de una mezcla asfáltica modificada con vidrio templado molido por medio de la metodología MARSHALL         | Tesis grado     | de Edwin Fernando Vanegas Manrique, Laura Inés Segura Calleja   | 2021 | Modificación de Mezclas Asfálticas                            | Con el uso de desechos de vidrios como modificador en la mezcla asfáltica, se obtuvo un material más rígido y con menor tendencia a fluir (Vanegas Manrique & Segura Calleja, 2021).  |
| Caracterización física de un ligante asfáltico 60/70 modificado con desechos de polietileno de alta densidad (D-PEAD) | Tesis grado     | de Cabezas López, Paula Yineth  | 2020 | Caracterización física de un ligante asfáltico y modificación | Evaluación de un ligante asfáltico 60/70 modificado con tres porcentajes diferentes de D-PEAD, revisando su caracterización física teniendo en cuenta las normas INVIAS 2013. (Cabezas Lopez, 2020)   |

**Tabla 1.** Continuación

|   |                    |  |             |   |   |
|---|--------------------|--|-------------|---|---|
| <p>The performance of asphalt mixtures modified with lignin fiber and glass fiber: A review</p>     | <p>Artículo</p>    | <p>Dong Luo, Ahmed Khater, Yanchao Yue, Moustafa Abdelsalam, Zengping Zhang, Yuanyuan Li, Junnan Li, David Thomas Iseley</p> | <p>2019</p> | <p>Revisión comporta miento de mezclas asfálticas</p> | <p>La fibra de lignina y fibra de vidrio se utilizan para mejorar el rendimiento de la mezcla asfáltica bajo el agua y los efectos ambientales (Luo et al., 2019). La modificación hecha con fibra de vidrio mejora considerablemente a altas temperaturas, en cambio la modificación con fibra de lignina mejora a bajas temperaturas.</p> |
| <p>Estudio de mezclas asfálticas recicladas modificadas con diferentes porcentajes de weo (wa)</p>  | <p>Tesis grado</p> | <p>Mario Alejandro Alvarado Guzmán, Andrés Felipe Ayala Tamara</p>   | <p>2019</p> | <p>Estudio de mezclas asfálticas modificadas</p>      | <p>Análisis de la alternativa del uso de aceite quemado de motor de carro (WEO- Waste Engine Oil) como rejuvenecedor del concreto asfáltico, especialmente de la propiedad ligante del asfalto. (Alvarado Guzmán &amp; Ayala Tamara, 2019)</p>  |
| <p>Uso de vidrio molido en las mezclas asfálticas, con el propósito de reducir la contaminación</p> | <p>Tesis grado</p> | <p>Freire Alvear, Karlenn Nicol</p>  | <p>2018</p> | <p>Modificaciones asfálticas con vidrio molido</p>    | <p>Realiza un estudio, sobre una mezcla asfáltica con adición de vidrio molido, obteniendo resultados mecánicos y de costos para determinar si es factible la implementación de este método. (Freire &amp; Karlenn, 2018)</p>   |

**Tabla 1.** Continuación

|  |                |   |      |  |  |
|--|----------------|---|------|--|--|
| Laboratory evaluation of rutting and moisture damage resistance of glass fiber modified warm mix asphalt incorporating high RAP proportion | Artículo       | Mansour Fakhri, Sayyed Ali Hosseini                   | 2017 | Modificación asfáltica con fibra de vidrio y RAP | Análisis de los beneficios de agregar fibra de vidrio para modificar una mezcla asfáltica con alto contenido de RAP. Esta combinación puede dar como resultado mezclas con alta resistencia a la formación de roderas y al agrietamiento por fatiga (Fakhri & Hosseini, 2017) al mismo tiempo haciendo uso de dos materiales no biodegradables |
| Estudio mecánico del asfalto modificado con polímeros y cueros que son utilizados en la elaboración del calzado                            | Artículo       | Luis Ángel Moreno Anselmi, Damaris Andrea Calvo-López | 2016 | Modificación de asfaltos                         | El comportamiento físico-mecánico del cemento asfáltico modificado con polímeros y cueros, así como caracterizar el material modificado en términos de sus propiedades químicas (Moreno Anselmi & Calvo-López, 2016).  |
| Asfalto modificado con material reciclado de llantas para su aplicación en pavimentos flexibles  | Tesis de grado | Carrizales Apaza, José Javier                         | 2015 | Modificación de asfalto con material reciclado   | Este trabajo propone un nuevo diseño de una mezcla asfáltica modificado con Caucho Reciclado de Llantas (CELL), proponiendo un esquema sostenible por medio del reciclaje de llantas usadas. (Carrizales Apaza, 2015)  |
| Evaluación de asfaltos modificados en laboratorio con distintos polímeros  | Artículo       | Luis Guillermo Loria Salazar                          | 2012 | Evaluación de asfaltos modificados               | Este artículo realiza un análisis de las mejoras que podrían provocar los polímeros al asfalto. (Loria Salazar, 2012)  |

**Tabla 1.** Continuación

|   |                 |   |             |  |  |
|---|-----------------|---|-------------|--|--|
| <p>Caracterización física de un asfalto modificado con poliestireno y llanta triturada</p>  | <p>Artículo</p> | <p>Ana Sofía Figuerao Infante, Arnulfo Sánchez Castillo, Freddy Alberto Reyes Lizcano</p>                                       | <p>2007</p> | <p>Caracterización física de un asfalto y modificación</p> | <p>Incorporación de materiales de desecho no biodegradables, que generan un alto grado de contaminación ambiental, en materiales asfálticos utilizados para la infraestructura vial (Figueroa Infante et al., 2007).</p>   |
| <p>Análisis de un asfalto modificado con icopor y su incidencia en una mezcla asfáltica densa en caliente</p>   | <p>Artículo</p> | <p>Ana Sofía Figueredo Infante, Freddy Alberto Reyes Lizcano, Diana Hernández Becerra, Christian Jiménez, Natalia Bohórquez</p> | <p>2007</p> | <p>Modificación de asfalto</p>                             | <p>Resultados obtenidos en la producción de mezcla asfáltica MDC-2, modificado con poliestireno expandido (poliestireno) obtenido mediante trituración de vasos descartables para mejorar las propiedades mecánicas de la mezcla tipo rodadura y garantizar su durabilidad de acuerdo con los requerimientos del período de diseño. (Figueredo Infante et al., 2007)</p> |
| <p>Resistencia mecánica evaluada en el ensayo MARSHALL de mezclas densas en caliente elaboradas con asfaltos modificados con desechos de policloruro de vinilo (PVC), polietileno de alta densidad (PEAD) y poliestireno (PS)</p> | <p>Artículo</p> | <p>Hugo Alexander Rondón Quintana, Edgar Rodríguez Rincón, Luis Ángel Moreno Anselmi</p>  | <p>2007</p> | <p>Evaluación de asfaltos modificados</p>                  | <p>Este documento presenta ensayos para evaluar el cambio en la resistencia mecánica que experimentan mezclas asfálticas densas en caliente cuando se adicionan, por vía húmeda, al cemento asfáltico aditivos poliméricos producto de desechos industriales del tipo plastómero, por medio del ensayo Marshall. (Rondón Quintana et al., 2007)</p>                      |

### Marco normativo

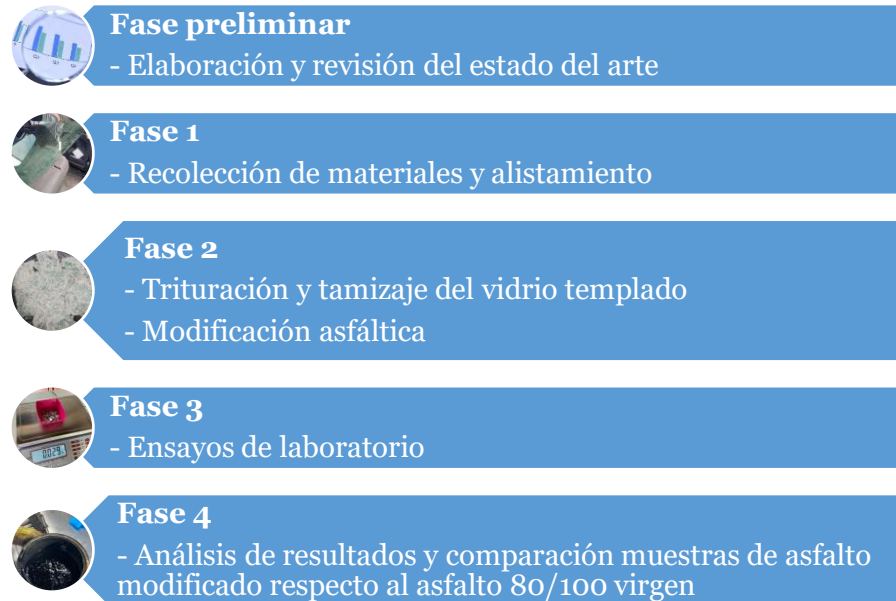
Para que el proyecto pueda ser viable se debe tener en cuenta los parámetros establecidos por las autoridades competentes. Las normas que rigen esta investigación son las establecidas por el Instituto Nacional de Vías INVIAS en el año 2013 y se pueden ver en la tabla 2.

**Tabla 2.** Marco normativo

| NOMBRE  | NORMATIVA | NOMBRE DEL ENSAYO   |
|---|-----------|---|
| Materiales y mezclas<br>asfálticas y prospección de<br>pavimentos<br><b>INVIAS 2013</b> | INV E-706 | Penetración de los materiales<br>bituminosos  |
|   | INV E-712 | Punto de ablandamiento de materiales<br>bituminosos (aparato anillo y bola)           |
|   | INV E-709 | Punto de inflamación y combustión<br>mediante la copa abierta Cleveland               |
|   | INV E-717 | Determinación de la viscosidad del<br>asfalto empleando el viscosímetro<br>rotacional |

## Metodología

**Figura 1. Metodología**



La investigación se dividió en fases, una preliminar donde se recopiló toda la información necesaria para el proyecto como el estado del arte donde se indagó sobre modificaciones previas al asfalto para tener en cuenta sus recomendaciones y que tan innovador resultaría hacer la modificación con vidrio templado por vía húmeda. También se identificó el marco normativo del INVIAS como referencia para hacer los ensayos y verificar la viabilidad de la modificación asfáltica con desechos de vidrio templado molido.

Las siguientes cuatro fases son directas del proyecto y llevan el orden en que se elaboró. Los ensayos que se realizan con el fin de analizar las propiedades físicas del asfalto virgen y el asfalto modificado para poder hacer la comparación son:

- Penetración de los materiales bituminosos INV E-706
- Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (aparato de anillo y bola) INV E-712
- Punto de inflamación y de combustión mediante la copa abierta Cleveland INV E-709
- Determinación de la viscosidad del asfalto empleando el viscosímetro rotacional INV E-717

En la tabla 3 se resume toda la elaboración de cada una de las etapas del proyecto

**Tabla 3. Metodología**

| <b>Objetivo</b>  | <b>Actividad</b>   | <b>Descripción</b>   | <b>Actores</b>                 |
|--|--|--|--------------------------------|
| <b>Fase Preliminar</b>   |  |  |                                |
| Analizar datos e información para tener en cuenta recomendaciones de trabajos anteriores   | Elaboración y revisión del estado del arte                         | Se recopila información de proyectos de investigación anteriores para identificar las diferentes modificaciones asfálticas, tener en cuenta sus recomendaciones y así poder evitar errores                     | Jorge Carrillo, Helen Saavedra |
| <b>Fase 1</b>  |  |  |                                |
| Definir materiales a usar  | Recolección de materiales y alistamiento                           | Se gestiona la obtención de tres latas de asfalto con la planta de producción PASOLIN, así como dos vidrios panorámicos de vehículos automóviles   | Jorge Carrillo, Helen Saavedra |
| <b>Fase 2</b>  |  |  |                                |
| Definir los porcentajes de vidrio templado para la modificación del asfalto 80/100 teniendo en cuenta investigaciones afines con el fin de aumentar el rendimiento, la resistencia y la sostenibilidad de la mezcla. | Trituración y tamizaje del vidrio templado, modificación asfáltica | Se tritura el vidrio panorámico, se hace el tamizaje con ayuda de los tamices #1/2, #3/8, #4, #10, #40, #80, #100 y #200. Luego el asfalto es llevado junto con el vidrio templado molido para su modificación | Jorge Carrillo, Helen Saavedra |
| <b>Fase 3</b>  |  |  |                                |
| Realizar un análisis comparativo de las modificaciones realizadas al asfalto 80/100 respecto a las características físicas del asfalto virgen en cumplimiento con la normativa INVIAS.                               | Ensayos de laboratorio   | Se realizan los ensayos de penetración, punto de ablandamiento, punto de Inflamación y viscosidad  | Jorge Carrillo, Helen Saavedra |

**Tabla 3.** Continuación

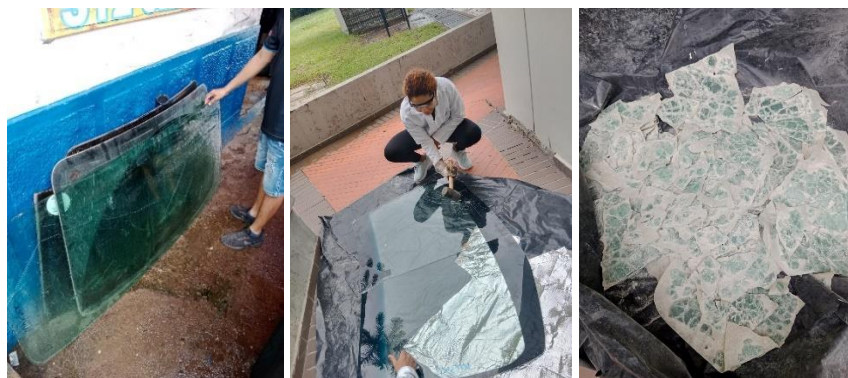
|   |  |             | <b>Fase 4</b>  |
|---|--|-------------|--|
| <p>Determinar el porcentaje adecuado de vidrio templado con el que el asfalto 80/100 modificado presenta un mejor comportamiento.</p> | <p>Análisis de resultados y Comparación muestras de asfalto modificado respecto al asfalto 80/100 virgen</p> | <p>de y</p> | <p>Se analizan los resultados de los ensayos hechos a cada una de las tres muestras modificadas con el fin de identificar qué porcentaje de vidrio templado molido género un mejor comportamiento</p> <p style="text-align: right;">Jorge Carrillo, Helen Saavedra</p> |

**Fase 1. Recolección de materiales y alistamiento**

Los materiales necesarios para esta investigación son el vidrio templado molido y el asfalto 80/100.

El vidrio templado molido se obtuvo en el barrio siete de agosto de Villavicencio en los desechos de un local comercial donde se hace el cambio de esta parte a los vehículos. En total se recogieron dos vidrios panorámicos y se llevaron a las instalaciones de la universidad Santo Tomás donde primero se fracturo el vidrio templado de forma manual para luego poder ser metido en la máquina de los ángeles con el fin de triturarlo en partículas más finas.

**Figura 2.** Recolección vidrio templado y fracturación manual



El asfalto 80/100 se adquirió en la planta de mezclas y emulsiones asfálticas de calidad PASOLIN SAS. Ubicada en la vereda el cocuy de Villavicencio cerca de la cantera del río Guayuriba, allí se obtuvieron tres latas de asfalto, de las cuales, dos fueron destinadas para la modificación asfáltica y la otra para evaluar las propiedades físicas del asfalto virgen.

**Figura 3.** *Recolección de asfalto en Pasolin SAS***Fase 2. Trituración y tamizaje del vidrio templado, modificación asfáltica**

Para esta fase se hizo uso de la máquina de los ángeles la cual usualmente es usada para el desgaste de materiales, pero, por su metodología también nos sirvió para triturar el vidrio en partículas más finas. Una vez el vidrio templado estuvo dentro se encendió la maquina durante cuatro ciclos de 300 vueltas cada uno, al momento de sacar el vidrio se debió tener mucha precaución ya que había muchas esquirlas y polvillo.

**Figura 4.** *Trituración vidrio templado en la máquina de los ángeles*

Seguido a esto, se tamizo una cantidad total de 4000 gr resultado de la trituración de los dos vidrios panorámicos, se hizo uso de los tamices número  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{8}$ , 4, 10, 40, 80, 100, 200 y fondo (ver figura 5).

**Figura 5.** Proceso de tamizaje



La modificación asfáltica se realizó en los laboratorios de la universidad Javeriana en la ciudad de Bogotá, ya que allí se encuentra el dispersor de asfaltos el cual fue necesario para realizar la mezcla. El vidrio templado molido retenido en el tamiz número 40, el cual tuvo un peso de 1209gr fue el escogido para llevar a las instalaciones de la Javeriana junto con las dos latas de asfalto.

La modificación se realizó a 3600 rpm durante 30 minutos con una cantidad de 1000 gr de asfalto virgen y distintos porcentajes de vidrio templado molido, en total se hicieron 3 modificaciones asfálticas, las especificaciones se de cada muestra se encuentran en la tabla 4.

**Tabla 4.** Especificaciones modificación de asfaltos

| <b>Muestra</b> | <b>Porcentaje VTM</b> | <b>Velocidad (rpm)</b> | <b>Temperatura (°C)</b> | <b>Tiempo (minutos)</b> |
|----------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1              | 16                    | 3600                   | 140                     | 30                      |
| 2              | 18                    | 3600                   | 140                     | 30                      |
| 3              | 20                    | 3600                   | 140                     | 30                      |

*NOTA.* Cada una de las muestras contenía 1000 gr de asfalto virgen, pero, distintos porcentajes de vidrio templado molido (VTM).

**Figura 6. Modificación asfalto**

### Fase 3. Ensayos de laboratorio

En esta fase se llevaron a cabo cada uno de los ensayos necesarios para evaluar las propiedades físicas de la muestra de asfalto virgen y las tres modificaciones hechas con diferentes porcentajes de los desechos de vidrio templado molido. Lo primero que se hizo fue calentar las muestras de asfalto durante 2 horas a una temperatura de 130°C en el horno para cada uno de los ensayos.

#### 9.3.1 Penetración de los materiales bituminosos INV E 706

Equipos necesarios: 3 recipientes, agua a 25°C, penetrómetro, aguja.

Una vez el asfalto completo las 2 horas en el horno, se sacó y se llenaron 3 recipientes con 100gr de asfalto cada uno, seguido a esto se dejaron a temperatura ambiente las muestras durante 40 minutos, luego se metieron al baño maría durante otros 40 minutos a una temperatura de 25°C. Finalmente, se sacaban una por una las muestras llevándolas al penetrómetro donde se ubicaba la aguja para que tocara el asfalto sin penetrarlo y posteriormente se activaba el mecanismo para que penetrara la muestra durante 5 segundos, allí se anotaba el resultado dado en decimas de milímetro. Se realizaron 3 penetraciones a cada una de las muestras y 3 muestras por cada tipo de asfalto (en total 36 veces).

**Figura 7.** *Ensayo penetración*

### 9.3.2 Punto de ablandamiento (aparato de anillo y bola) INV E 712

Equipos necesarios: maquina MATEST, anillos, bolas, placa base, material antiadherente, soporte anillos, termómetro y agua destilada a 12°C.

Para este ensayo se aplicó vaselina (material antiadherente) sobre la placa base, posteriormente se colocaron encima los anillos y se llenaron de asfalto hasta el borde y se dejaron a temperatura ambiente durante 40 minutos, seguido a esto, se cortó con una espátula caliente el sobrante de los anillos y se sumergieron durante 30 minutos en el vaso de precipitado que contenía agua destilada a 5°C.

Pasados los 30 minutos se llevó todo el montaje a la maquina MATEST ubicando los anillos en el soporte, sumergiendo el termómetro y poniendo las bolas en el centro de los anillos para que al momento de que el agua aumentara su temperatura estos cayeran en la placa de referencia, allí se anotan los resultados de cada una de las 2 bolas. Este ensayo se realizó una vez por cada tipo de asfalto (en total 4 veces).

**Figura 8.** *Ensayo punto de ablandamiento*

### **9.3.3 Punto de inflamación y combustión mediante copa abierta Cleveland INV E 709**

Equipos necesarios: aparato copa abierta de Cleveland y termómetro.

Cuando el asfalto completo las 2 horas en el horno se sacó y lleno la copa hasta la línea de referencia, se dejó a temperatura ambiente durante 40 minutos, mientras tanto se ubicaba el aparato de copa abierta de Cleveland sobre una superficie plana, estable y libre de corrientes de aire.

Pasados los 40 minutos se llevó la copa al aparato y se comenzó a aumentar la temperatura gradualmente, cuando la temperatura de la muestra alcanzo 20°C por debajo del supuesto punto de inflamación se comenzó a pasar la llama de forma horizontal por encima de la copa, al momento en que el asfalto presente un destello se anotó la temperatura para determinar el punto de inflamación y se continuó pasando la llama por encima de la copa. Una vez el asfalto encendió una llama durante 5 segundos continuos se anotó la temperatura y se definió el punto de combustión. Este ensayo se realizó una vez por cada tipo de asfalto (en total 4 veces).

**Figura 9.** *Ensayo punto de inflamación y combustión*



### **9.3.4 Determinación de la viscosidad del asfalto empleando el viscosímetro rotacional INV E 717**

Equipos necesarios: horno, termómetro, balanza, 3 vástagos cilíndricos, viscosímetro rotacional.

Cuando el asfalto completo las 2 horas en el horno se sacó y se vertió 13 gr en cada uno de los 3 vástagos, posteriormente se dejaron a temperatura ambiente durante 20 minutos. Se encendió el viscosímetro rotacional y se precalentó el vástago, se puso en la parte inferior del viscosímetro, se ajustó la velocidad y se puso a rotar a 1200rpm, allí se observaba el valor de la viscosidad hasta que este se estabilizara y posteriormente se anotaba. Este ensayo se realizó 3 veces por cada tipo de asfalto (en total 12 veces).

**Figura 10.** Ensayo viscosidad



#### **Fase 4. Análisis de resultados y comparación de muestras de asfalto.**

Se realizó el análisis de los resultados teniendo en cuenta los parámetros de la normativa INVIAS para verificar que en cada uno de los ensayos los asfaltos modificados cumplieran con los estándares de calidad y puedan ser implementados de la mejor manera aprovechando cada una de las ventajas que se obtienen de la modificación con desechos de vidrio templado molido. Así mismo se comparó el asfalto modificado con el asfalto virgen para determinar que propiedades físicas son mejoradas y que porcentaje de vidrio templado es el adecuado para realizar las modificaciones futuras.

##### **9.4.1 Ensayo penetración**

Los resultados obtenidos de este ensayo son de la penetración de la aguja durante 5 segundos en la muestra de asfalto dada en decimas de milímetro, se promediaron las 3 penetraciones hechas a cada muestra para obtener el valor de penetración de esta y se repitió el

procedimiento con cada tipo de asfalto. Siguiendo con la normativa INVIAS E 706-13 se obtuvieron los resultados presentes en la tabla 5.

**Tabla 5.** Resultados ensayo de penetración

| TIPO DE ASFALTO           | MUESTRA |      |      | PROMEDIO |
|---------------------------|---------|------|------|----------|
|                           | 1       | 2    | 3    |          |
| <b>Asfalto virgen</b>     | 93      | 92.8 | 90.6 | 92.1     |
| <b>Asfalto + 16% DVTM</b> | 75.7    | 74.5 | 77.3 | 75.8     |
| <b>Asfalto + 18% DVTM</b> | 70.8    | 72   | 72.3 | 71.7     |
| <b>Asfalto + 20% DVTM</b> | 68.7    | 66.9 | 67.8 | 67.8     |

Como se puede evidenciar en la tabla, el asfalto se fue rigidizando cada vez un poco más gracias a la incorporación del vidrio templado molido, obteniendo así valores similares a los de un asfalto 60/70 convencional.

#### 9.4.2 Ensayo punto de ablandamiento

Al inicio del ensayo el agua destilada estaba a una temperatura de 5°C, finalmente se registró la temperatura que tenía el agua al momento en que la bola atraviesa el asfalto y toca la platina de referencia. Los resultados obtenidos teniendo en cuenta la normativa INVIAS E 712-13 se observan en la tabla 6.

**Tabla 6.** Resultado ensayo punto de ablandamiento

| TIPO DE ASFALTO           | PUNTO DE ABLANDAMIENTO °C |              |          |
|---------------------------|---------------------------|--------------|----------|
|                           | Bola izquierda            | Bola derecha | Promedio |
| <b>Asfalto virgen</b>     | 42.6                      | 42.3         | 42.5     |
| <b>Asfalto + 16% DVTM</b> | 43.1                      | 43.7         | 43.4     |
| <b>Asfalto + 18% DVTM</b> | 44.7                      | 45.6         | 45.2     |
| <b>Asfalto + 20% DVTM</b> | 47.2                      | 47.5         | 47.4     |

El asfalto si aumento un poco el punto de ablandamiento, pero no lo suficiente como para hacer el baño en glicerina ya que no supero los 80°C. El punto de ablandamiento definido es el promedio de la temperatura a la que cayeron las dos bolas, y no tiene ningún sesgo según la norma INVIAS E, 712-13.

### 9.4.3 Ensayo punto de inflamación y combustión

El punto de inflamación es aquella temperatura que presenta el asfalto cuando emite un destello consecuencia de la llama que pasa de forma horizontal por encima de la copa. El punto de combustión es la temperatura que tiene el asfalto cuando este emita una llama sostenida por mínimo 5 segundos. Para la corrección de resultados es importante tener en cuenta la presión en el laboratorio el día de los ensayos, la cual fue de 717 mmHg siguiendo con la normativa INVIAS E 709-13. Los resultados se pueden ver en la tabla 7 y la tabla 8.

**Tabla 7.** Resultado ensayo de inflamación

| TIPO DE<br>ASFALTO | PUNTO DE INFLAMACIÓN |       |           |        |        |
|--------------------|----------------------|-------|-----------|--------|--------|
|                    | Observado            |       | Corregido |        |        |
|                    |                      |       | C1        | C2     | C3     |
|                    | °C                   | °F    | °C        | °F     | °C     |
| Virgen             | 294                  | 561.2 | 295.43    | 563.78 | 295.42 |
| A + 16%DVTM        | 284                  | 543.2 | 285.43    | 545.78 | 285.42 |
| A + 18%DVTM        | 280                  | 536   | 281.43    | 538.58 | 281.42 |
| A + 20%DVTM        | 278                  | 532.4 | 279.43    | 534.98 | 279.42 |

**Tabla 8.** Resultado ensayo combustión

| TIPO DE<br>ASFALTO | PUNTO DE COMBUSTIÓN |       |           |        |        |
|--------------------|---------------------|-------|-----------|--------|--------|
|                    | Observado           |       | Corregido |        |        |
|                    |                     |       | C1        | C2     | C3     |
|                    | °C                  | °F    | °C        | °F     | °C     |
| Virgen             | 310                 | 590   | 311.43    | 592.58 | 311.42 |
| A + 16%DVTM        | 318                 | 604.4 | 319.43    | 606.98 | 319.42 |
| A + 18%DVTM        | 325                 | 617   | 326.43    | 619.58 | 326.42 |
| A + 20%DVTM        | 322                 | 611.6 | 323.43    | 614.18 | 323.42 |

En el ensayo de punto de inflamación se observó que la modificación asfáltica disminuyó la temperatura en que se logra observar la primera llama, sin embargo, la temperatura de combustión sí aumentó, es decir que el asfalto se incendia a una mayor temperatura comparado con el asfalto virgen.

#### 9.4.4 Ensayo viscosidad

Se llenaron los vástagos con 13 gr de cada tipo de asfalto, se hizo el montaje del sistema con la aguja TR11 y realizo el ensayo 3 veces por cada tipo de asfalto, pero no se pudieron obtener los valores debido a que el equipo no se encuentra calibrado y el valor de viscosidad no se logró estabilizar en ningún momento obteniendo valores erróneos llegando a un valor de 0 mPa.s.

**Figura 11.** Datos ensayo viscosidad



### Investigadores y trayectoria

En la tabla 10 se observa la trayectoria de cada uno de los investigadores participantes en esta investigación, así mismo se evidencia la pertinencia de los conocimientos aportados para ejecutar el proyecto con éxito.

**Tabla 9.** Investigadores

| NOMBRE                                | PAPEL        | ESTUDIOS   | TRAYECTORIA   |
|---------------------------------------|--------------|--|---|
| Jorge Ivan Carrillo<br>Mora           | Investigador | Estudiante de<br>Ingeniería Civil                  | 10 semestres de<br>ingeniería civil.<br>Revisión bibliográfica<br>sobre modificación de<br>asfaltos                   |
| Helen Geraldine<br>Saavedra Hernandez | Investigador | Estudiante de<br>Ingeniería Civil                  | 10 semestres de<br>ingeniería civil.<br>Revisión bibliográfica<br>sobre modificación de<br>asfaltos                   |
| Jessica María<br>Ramírez Cuello       | Director     | Ingeniero Civil<br>Maestría en<br>Ingeniería Civil | 11 años en proyectos<br>de infraestructura vial<br>6 años de docencia en<br>las áreas de vías,<br>suelos y pavimentos |

## Conclusiones

Se logro determinar que el vidrio templado incorporado en el asfalto disminuyo el índice de penetración respecto al asfalto virgen, es decir que el asfalto modificado se rigidizo obteniendo parámetros como los de un asfalto 60/70 convencional, de las 3 modificaciones hechas se evidencio que a mayor porcentaje de vidrio templado molido incorporado mayor será la rigidez.

El aumento en el punto de ablandamiento y la disminucion en el índice de penetración puede generar un aumento en la vida útil de asfalto aumento su resistencia a las cargas cíclicas que será sometido, en especial en climas cálidos donde es recomendable el uso de asfaltos de mayor rigidez.

Los tres porcentajes escogidos (16%, 18% y 20%), lograron un aumento similar en las propiedades físicas del asfalto por ende cualquier porcentaje escogido sería útil, dependiendo de las condiciones donde se desee implementar.

El INVIAS aún no cuenta con una normativa donde se estipulen los sesgos que deben tener los asfaltos modificados con vidrio templado, pero los ensayos fueron realizados siguiendo cada normativa para que los resultados obtenidos puedan ser confiables.

### **Recomendaciones trabajos futuros**

Para futuras investigaciones es ideal que los equipos se encuentren en óptimas condiciones y calibrados para que los resultados sean los deseados. Es necesario seguir cada una de las normas ya que ahí se explica el paso a paso, las tolerancias y formulas necesarias de cada uno de los ensayos a realizar.

De realizarse una modificación con un mayor porcentaje de vidrio templado es necesario contar con un termómetro con resistencia superior a los 400°C para el ensayo de punto de inflamación y punto de combustión.

De hacer una modificación en la Universidad Javeriana de Bogotá se recomienda tener presente los tiempos de espera los cuales pueden retrasar la investigación.

Hacer modificaciones con los menores diámetros posibles de vidrio templado molido ya que el punto de fusión de este material es mayor a la temperatura que resiste el asfalto antes de incinerarse y sufrir oxidación.

### Referencias bibliográficas

- Alvarado Guzmán, M. A., & Ayala Tamara, A. F. (2019). *Estudio de mezclas asfálticas recicladas modificadas con diferentes porcentajes de weo (wa)*. Obtenido de <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/e5cf511e-880a-4229-9be7-e9b245fc0c02/content>
- Asociación Mundial de la Carretera (AIPCR/PIARC). (2014). *Importancia de la conservación de carreteras*. Obtenido de PIARC: <https://www.piarc.org/es/pedido-de-publicacion/22252-es-Importancia%20de%20la%20conservaci%C3%B3n%20de%20carreteras#:~:text=La%20infraestructura%20carretera%20proporciona%20una,preservar%20y%20aumentar%20e%20beneficios>.
- Cabezas Lopez, P. (2020). Caracterización física de un ligante asfáltico 60/70 modificado con desechos de polietileno de alta densidad (d-pead). Obtenido de Usta: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/21778/2020paulacabezas?sequence=1&isAllowed=y>
- Carrizales Apaza, J. J. (2015). Asfalto modificado con material reciclado de llantas para su aplicación en pavimentos flexibles. Obtenido de [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RNAP\\_4ce00020c8d4f3aaec60f589b1c168ce](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RNAP_4ce00020c8d4f3aaec60f589b1c168ce)
- Fakhri, M., & Hosseini, S. A. (1 de marzo de 2017). *Laboratory evaluation of rutting and moisture damage resistance of glass fiber modified warm mix asphalt incorporating high RAP proportion*. Obtenido de Science Direct: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.168>
- Figueroa Infante, A., Reyes Lizcano, F., Hernandez Becerra, D., Jimenez, C., & Bohorquez, N. (2007). Análisis de un asfalto modificado con icopor y su incidencia en una mezcla asfáltica densa en caliente incidencia en una mezcla asfáltica densa en caliente. *REVISTA INGENIERÍA E INVESTIGACIÓN*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/643/64327302.pdf>
- Figueroa Infante, A., Sánchez Castillo, A., & Reyes Lizcano, F. (2007). Caracterización física de un asfalto modificado con poliestireno y llanta triturada. *Épsilon*. Obtenido de <https://ciencia.lasalle.edu.co/ep/vol1/iss9/5/>

- Freire, A., & Karlenn, N. (2018). Uso de vidrio molido en las mezclas asfálticas, con el propósito de reducir la contaminación. Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/15089>
- Galeano, P. A. (20 de February de 2023). *Más del 20 % de las carreteras del Inviás están sin pavimentar*. Recuperado el 4 de July de 2023, de Portafolio: <https://www.portafolio.co/economia/infraestructura/carreras-del-invias-mas-del-20-de-sus-vias-estan-sin-pavimentar-578701>
- La realidad de la malla vial de Villavicencio. (2 de February de 2023). *Llano Siete Dias*. Obtenido de <https://llanosietedias.com/actualidad-local/la-realidad-de-la-malla-vial-de-villavicencio/>
- Li, C., Wang, H., Fu, C., Shi, S., Liu, Q., Xu, P., . . . Jiang, L. (22 de febrero de 2023). *Effect and mechanism of waste glass powder silane modification on water stability of asphalt mixture*. Obtenido de Science Direct: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.130086>
- Loria Salazar, L. (2012). Evaluación de asfaltos modificados en laboratorio con distintos polímeros. *Infraestructura Vial*, 9(17), . Obtenido de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/vial/article/view/2065>
- Luo, D., Khater, A., Yue, Y., Abdelsalam, M., Zhang, Z., Li, Y., . . . Iseley, D. T. (10 de Junio de 2019). *The performance of asphalt mixtures modified with lignin fiber and glass fiber: A review*. Obtenido de Science Direct: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.126>
- Mairon, K. (diciembre de 2014). Mezclas asfálticas con materiales reciclados de construcción y demolición para la reparación de pavimentos. *In Artículo Revista de Aplicaciones de la Ingeniería, Vol. 1*(Issue 1). Obtenido de [www.ecorfan.org/bolivia](http://www.ecorfan.org/bolivia)
- Moreno Anselmi, L. A., & Calvo-Lopez, D. A. (2016). Estudio mecánico del asfalto modificado con polímeros y cueros que son utilizados en la elaboración del calzado. *L'esprit Ingénieur*, 5(1), . Obtenido de <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/lingenieur/article/view/1231>
- ONU. (2015). *Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles*. Obtenido de Objetivos de desarrollo sostenible: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>
- ONU. (2015). *Objetivo 9: Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación*. Obtenido de Objetivos de desarrollo sostenible: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/infrastructure/>

- Ralston, W. (21 de agosto de 2022). *Las carreteras del mundo no están preparadas para temperaturas más cálidas*. Recuperado el 4 de Julio de 2023, de Bloomberg Línea: <https://www.bloomberglinea.com/2022/08/21/las-carreteras-del-mundo-no-estan-preparadas-para-temperaturas-mas-calidas/>
- Rondón Quintana, H., Rodríguez Rincón, E., & Moreno Anselmi, L. (2007). Resistencia mecánica evaluada en el ensayo marshall de mezclas densas en caliente elaboradas con asfaltos modificados con desechos de policloruro de vinilo (pvc), polietileno de alta densidad (pead) y poliestireno. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 6(11), . Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-33242007000200007&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-33242007000200007&script=sci_arttext)
- Santa Marta Sostenible. (2020). *Reciclaje de vidrio en Santa Marta*. Obtenido de Fundación Santa Marta Sostenible: <https://santamartasostenible.org/como-reciclar-vidrio-en-santa-marta/>
- Vanegas Manrique, E. F., & Segura Calleja, L. I. (2021). Evaluación de una mezcla asfáltica modificada con vidrio templado molido por medio de la metodología marshall. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/35194>