

EVALUACIÓN DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON VIDRIO TEMPLADO  
MOLIDO POR VÍA HÚMEDA TENIENDO EN CUENTA LA METODOLOGÍA MARSHALL



BRANDON STIVEN CONTENTO MARTINEZ  
DIANA CAROLINA HERRERA VILLAMIZAR



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
VILLAVICENCIO

2023

EVALUACIÓN DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON VIDRIO TEMPLADO  
MOLIDO POR VÍA HÚMEDA TENIENDO EN CUENTA LA METODOLOGÍA MARSHALL

BRANDON STIVEN CONTENTO MARTINEZ  
DIANA CAROLINA HERRERA VILLAMIZAR

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

Aprobado por:

I.C. JESSICA MARÍA RAMÍREZ CUELLO, MSc  
Ingeniera Civil  
Magister en Ingeniería Civil  
Director

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
VILLAVICENCIO

2023

**Autoridades Académicas**

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

Rector General

**P. Mauricio CORTÉS GALLEGO, 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

**ESP. JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN**

Secretaria de División Sede Villavicencio

**P. Inael SÁNCHEZ HERNÁNDEZ, O.P.**

Decano de División Arquitectura e Ingenierías

**I.C. LUIS FERNANDO DÍAZ CRUZ, Mg.**

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil

### **Dedicatoria**

*Le dedico el triunfo de este arduo trabajo a DIOS primeramente por siempre estar presente en cada paso que doy en mi vida, a mi madre, hermana por su apoyo incondicional, por estar siempre en esos momentos donde quise rendirme, a mi familia que siempre estuvo presente con sus palabras de aliento, y a mi directora de grado junto a su ayuda idónea por su apoyo y compañía en este proceso.*

Brandon Stiven Contento Martínez

*En primer lugar, se lo dedico a DIOS por permitirme alcanzar un logro más, a mi madre, mis hermanos y a mi pareja que siempre han estado conmigo siendo un gran apoyo en cualquier etapa de mi vida.*

Diana Carolina Herrera Villamizar

### **Agradecimientos**

*Damos gracias a DIOS por siempre estar ahí, por llenarnos de sabiduría, entendimiento y fuerzas para llegar hasta aquí, permitirnos culminar nuestros estudios y terminar este proyecto. A nuestras madres y hermanas, nuestros más grandes tesoros que siempre han caminado junto a nosotros, siendo ese bastón de apoyo incondicional en nuestras vidas. A la ingeniera Jessica Ramírez por ser ese apoyo como directora de tesis, por estar ahí siempre respondiendo nuestras dudas, enseñándonos siempre desde su experiencia, al ingeniero Juan Manuel Salgado por guiarnos y corregirnos para poder dar buenos resultados y terminar este proyecto, a los laboratoristas de la Universidad por su servicio y tiempo.*

## Contenido

|                                                                            | Pág. |
|----------------------------------------------------------------------------|------|
| Resumen.....                                                               | 9    |
| Abstract .....                                                             | 10   |
| Glosario .....                                                             | 11   |
| Introducción .....                                                         | 12   |
| Problemática.....                                                          | 13   |
| 1. Objetivos .....                                                         | 14   |
| 1.1. Objetivo general .....                                                | 14   |
| 1.2. Objetivos específicos:.....                                           | 14   |
| 2. Justificación.....                                                      | 15   |
| Tabla 1.....                                                               | 16   |
| <i>Indicador de primer nivel PND, (2022-2026), a fin al Proyecto</i> ..... | 16   |
| 3. Estado del Arte.....                                                    | 18   |
| Performance of glass powder as bitumen modifier in hot mix asphalt.....    | 22   |
| 4. Marco Normativo.....                                                    | 24   |
| 5. Metodología.....                                                        | 25   |
| 5.1. Metodología del Proyecto.....                                         | 25   |
| 6. Recolección de materiales .....                                         | 27   |
| 7. Granulometría del vidrio templado .....                                 | 29   |
| 8. Caracterización física del asfalto .....                                | 32   |
| 9. Resultados.....                                                         | 37   |
| 10. Conclusiones .....                                                     | 40   |
| 11. Referencias.....                                                       | 41   |

## Lista de Tablas

|                       |    |
|-----------------------|----|
| <b>Tabla 1.</b> ....  | 16 |
| <b>Tabla 2.</b> ..... | 16 |
| <b>Tabla 3.</b> ..... | 19 |
| <b>Tabla 4.</b> ..... | 26 |
| <b>Tabla 5.</b> ..... | 37 |

## Lista de Figuras

|                         |    |
|-------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b> ....   | 17 |
| <b>Figura 2.</b> .....  | 25 |
| <b>Figura 3.</b> .....  | 27 |
| <b>Figura 4.</b> .....  | 27 |
| <b>Figura 5.</b> .....  | 28 |
| <b>Figura 6.</b> .....  | 29 |
| <b>Figura 7.</b> .....  | 30 |
| <b>Figura 8.</b> .....  | 30 |
| <b>Figura 9.</b> .....  | 31 |
| <b>Figura 10.</b> ..... | 31 |
| <b>Figura 11.</b> ..... | 32 |
| <b>Figura 12.</b> ..... | 32 |
| <b>Figura 13.</b> ..... | 32 |
| <b>Figura 14.</b> ..... | 33 |
| <b>Figura 15.</b> ..... | 33 |
| <b>Figura 16.</b> ..... | 34 |
| <b>Figura 17.</b> ..... | 34 |
| <b>Figura 18.</b> ..... | 35 |
| <b>Figura 19.</b> ..... | 35 |
| <b>Figura 20.</b> ..... | 36 |
| <b>Figura 21.</b> ..... | 38 |
| <b>Figura 22.</b> ..... | 39 |
| <b>Figura 23.</b> ..... | 39 |

## **Resumen**

El propósito de este Proyecto es evaluar el comportamiento de una mezcla asfáltica modificada por vía húmeda, llevando a cabo diferentes pruebas de laboratorio con tres dosificaciones de vidrio templado molido, 16%, 18% y 20% por cada 1000cm<sup>3</sup> de ligante asfáltico, a través de la metodología MARSHALL, donde se obtienen resultados positivos y buenos niveles de resistencia frente a altas temperaturas y deformaciones en la mezcla.

La modificación del asfalto con 18% de Vidrio Templado Molido por vía húmeda mostro un mejor comportamiento, mejorando de una manera significativa las propiedades de la mezcla, se puede decir que este nuevo material presenta una mayor resistencia a cargas cíclicas, contribuye al impacto ambiental y puede aumentar la vida útil del pavimento.

Palabras claves: Asfalto modificado, Desechos, Mezcla Asfáltica, Marshall, Vidrio templado, Vida útil, Impacto ambiental

### **Abstract**

The purpose of this Project is to evaluate the behavior of a wet modified asphalt mixture, carrying out different laboratory tests with three dosages of ground tempered glass, 16%, 18% and 20% per 1000cm<sup>3</sup> of asphalt binder, through of the MARSHALL methodology, where positive results and good levels of resistance to high temperatures and deformations in the mixture are obtained.

The modification of the asphalt with 18% of wet ground tempered glass showed better behavior, significantly improving the properties of the mixture. It can be said that this new material has greater resistance to cyclic loads, contributes to the environmental impact and can increase the useful life of the pavement.

**Key Word:** Modified asphalt, waste, asphalt mixture, MARSHALL, tempered glass, useful life, environmental impact.

## Glosario

**Caracterización Física:** estudio de las propiedades físicas que contiene el asfalto.

**Desechos:** residuos de origen natural que pueden echarse a perder.

**Desechos no compactables:** residuos que por sus características físicas y mecánicas no pueden ser recogidos en vehículos.

**Ensayo MARSHALL:** ayuda a determinar el contenido óptimo de asfalto en una mezcla.

**Ligante Asfáltico:** material proveniente de la fracción más pesada del petróleo, es una sustancia negra y pegajosa que permite compactar todos los agregados que componen el asfalto.

**Ligante Asfáltico Modificado:** es el resultado de la mezcla entre un material como caucho, vidrio, vidrio templado molido, entre otros con el ligante asfáltico.

**Mezcla asfáltica:** Es la combinación de agregados con un ligante asfáltico, estos se distribuyen en cantidades exactas para formar una película homogénea que será utilizada para las capas de rodadura de las vías; esta mezcla se puede dar en caliente a temperaturas de 150°C o en frío a temperatura ambiente.

**Vidrio templado:** normalmente utilizado para elementos de seguridad, sometido a procesos químicos para que logre alcanzar una mayor resistencia.

**ZODME:** Zona de disposición de desechos de material

## **Introducción**

Colombia cuenta con una red vial de 206.102 km, el 6,9 % (16.983 km) corresponde a la red vial primaria, 21% (44,400 km) secundaria y el 69,46% (142.284 km) restante corresponde a las vías terciarias (Mintransporte, 2023). De la red primaria, el 64% (10.869,12 km) se encuentra a cargo del Instituto Nacional de Vías – INVIAS y el 36% (6.113 km) de la Agencia de Infraestructura – ANI. De acuerdo a un último reporte, el 78,80% (7.362,5 km) se encuentra pavimentada y de este porcentaje alrededor del 31,14% (2.292 km) en estado regular y un 18,38% (1.353 km) en pésimo estado (INVIAS, 2023). Así mismo, el INVIAS afirma que en el primer semestre del 2023 las vías pavimentadas en muy mal estado aumentaron 1,1% respecto al reporte anterior y las de condiciones regulares incrementaron un 1,14% (INVIAS, 2023).

Durante años se han utilizado pavimentos flexibles para mejorar nuestra red vial. Una de las intervenciones fundamentales en PDN 2022-2026 es mejorar la infraestructura vial de las vías terciarias y secundarias que se encuentran en abandono y mal estado. Esta Intervención cuenta con 5.830 propuestas, tal como intervenir en el abandono de las vías terciarias, secundarias y de los sistemas de transporte intermodal (PDN 2022-2026), siendo en su mayoría un soporte muy importante del sistema agroalimentario para el desarrollo productivo con asistencia técnica de la nación y que dan garantía del derecho a la alimentación, contribuiríamos al ODS 1 fin de la pobreza, ODS 11 ciudades y comunidades sostenibles, ODS 9 Industria innovación e infraestructura y ODS 4 Educación y calidad.

En la actualidad las mezclas asfálticas modificadas son poco implementadas en los pavimentos, por su elevado costo de producción y por la falta de especificaciones técnicas en Colombia, por esto, en este trabajo se estudia una alternativa que mejore una mezcla asfáltica convencional al agregar VTM (Vidrio Templado Molido) dándole también una opción de reutilización a este material, puesto que se cree que no todos los productos de vidrio son reciclables como es el caso de ventanas, ampollitas, tubos fluorescentes, vidrio templado, entre otros (Sepúlveda, 2020), arrojados en última instancia a los rellenos sanitarios generando contaminación innecesaria (Vélez & Restrepo, 2010).

## **Problemática**

Existen muchos tipos de materiales no reciclables en el mundo dentro de los cuales podemos encontrar el vidrio templado el cual es de uso común en teléfonos, pantallas de computadores, vidrios de seguridad y demás objetos de uso común los cuales debido a su uso frecuente se desechan constantemente y generan un alto impacto en la contaminación, puesto que el vidrio puede tardar hasta 4.000 años en degradarse por tal motivo mucha cantidad de estos desechos terminan en la naturaleza o formando parte de las montañas de desperdicios que conforman los rellenos.

Por otra parte, la industria vial requiere más tecnología e investigación en lo que concierne a la utilización de materiales externos para la modificación del asfalto queriendo buscar mejorar las características propias de la mezcla y ayudar al medio ambiente dando una reutilización a residuos no reciclables.

Entonces, ¿Mejoraría el uso de desechos de vidrio templado molido las propiedades de una mezcla asfáltica modificada por vía húmeda?

## **1. Objetivos**

### **1.1. Objetivo general**

Evaluar las propiedades de una mezcla asfáltica modificada con vidrio templado molido por vía húmeda, teniendo en cuenta la metodología MARSHALL.

### **1.2. Objetivos específicos**

- Establecer las ventajas en cuanto a durabilidad, adhesión, cohesión, susceptibilidad a la temperatura y endurecimiento de una mezcla asfáltica modificada con vidrio templado molido.
- Comparar el comportamiento entre una mezcla asfáltica modificada con vidrio templado molido por vía húmeda y una por vía seca.

## **2. Justificación**

La contaminación global y los daños ambientales juegan un papel importante al momento de ejecutar cualquier proyecto a nivel nacional e internacional ya que se está buscando arreglar de una u otra manera el daño que durante generaciones se ha hecho al medio ambiente por eso hoy el mundo busca nuevas estrategias y tecnologías de pavimentación que contribuyan a su protección de la mano con lo sostenible y ecológico.

Por lo dicho, investigar y brindar nuevas alternativas que mejoren la calidad de los materiales ya existentes, y contribuir al ordenamiento territorial que se desea realizar en este nuevo gobierno, mejorando el abandono de las vías terciarias y secundarias que según PDN 2022-2026 se quiere construir un ordenamiento del estado vial claro y conciso, ya que en medio de este desorden no es posible tener un adecuado ordenamiento del territorio.

La multiplicidad de actores e instrumentos sin jerarquía dificulta la coordinación de inversiones y la actualización e implementación de los instrumentos de planeación y ordenamiento por parte de las entidades territoriales. En 2021, cerca del 80 % de los municipios del país no habían actualizado sus planes de ordenamiento (PDN 2022-2026).

El modelo de ordenamiento debe promover la sostenibilidad ambiental, la productividad y la calidad de vida. En este contexto se les dará importancia a las relaciones funcionales entre municipios y se avanzará en un modelo de descentralización diferencial (PDN 2022-2026).

En post de contribuir a la sostenibilidad ambiental, mejorando la productividad y calidad de vida del país se realiza diferentes estudios y ensayos para implementar el uso de asfalto modificado con VTM, producto vital para la construcción, mejoramiento y rehabilitación de la maya vial en Colombia garantizando nuevas estrategias, diseños y tecnologías de pavimentación sostenibles que aporten crecimiento socioeconómico, socio-ecológico y sociocultural.

Por lo dicho, al estudiar la modificación de una mezcla modificada con VTM, siendo este un material muy utilizado en la actualidad que se caracteriza por ser resistente, usado en construcción, industria de automotores e incluso en algo tan básico como protección de celulares; se ayuda al medio ambiente, brindando una manera diferente para la reutilización de este material al ser desechado y que mejore las propiedades en la mezcla asfáltica y por ende a la falta de conectividad física, digital y de comunicaciones entre los territorios contribuyendo a la productividad y competitividad del País.

**Tabla 1.***Indicador de primer nivel PND, (2022-2026), a fin al Proyecto*

|                                                                                           |                     |           |                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------|-----------------------------------------------------|
| vías regionales y caminos ancestrales intervenidos (mejoradas mantenidas y rehabilitadas) | 55.240 km<br>(2022) | 88.342 km | Objetivo 9. Industria, Innovación e Infraestructura |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------|-----------------------------------------------------|

*Nota: En esta tabla se ve el indicador de primer nivel en el cual se ve reflejado la línea base de intervenciones en cantidad (Km) de vías mejoradas y rehabilitadas en Colombia hasta el año 2022. Adaptado del (PND, 2022-2026)*

**Tabla 2.***Indicadores primer nivel PND,(2022-2026)*

| Sector     | Indicador                                                                         | Línea base         | Meta Cuatrienio | Asociación con Objetivos de Desarrollo Sostenible ODS |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------------|-------------------------------------------------------|
| TIC        | Índice de gobierno digital en entidades del orden territorial                     |                    | 6               | Objetivo 9. Industria, Innovación e Infraestructura   |
| Transporte | Canales de acceso a los puertos marítimos mantenidos, mejorados y/o profundizados | 10<br>(2022)       | 14              | Objetivo 9. Industria, Innovación e Infraestructura   |
| Transporte | Vías férreas estructuradas y/o adjudicadas                                        | 0 km               | 1.817 km        | Objetivo 9. Industria, Innovación e Infraestructura   |
| Transporte | Vías primarias no concesionadas mejoradas                                         | 1.246 km<br>(2022) | 1.678 km        | Objetivo 9. Industria, Innovación e Infraestructura   |
| Transporte | Vías primarias no concesionadas rehabilitadas y mantenidas                        | 5.058 km<br>(2022) | 6.054 km        | Objetivo 9. Industria, Innovación e Infraestructura   |
| Vivienda   | Hogares beneficiados con mejoramiento de vivienda urbanos y rurales               | 34.230<br>(2022)   | 400000          | Objetivo 9. Industria, Innovación e Infraestructura   |
| Vivienda   | Hogares beneficiados con programa barrios de paz                                  | 55.810<br>(2022)   | 139800          | Objetivo 9. Industria, Innovación e Infraestructura   |

*Nota: En esta tabla se ven los indicadores de primer nivel utilizados en plan nacional de desarrollo. Adaptado de (PND, 2022-2026).*

Este gobierno tiene como meta intervenir 88.3342 km de vías regionales (PDN 2022-2026).

Figura 1.

Dispersión del índice de ciudades modernas según categoría de ruralidad ,2020.

*Figura 5.2 Dispersión del índice de ciudades modernas según categoría de ruralidad, 2020.*



*Nota: En esta ilustración podemos ver de una manera cuantitativa las ciudades que necesitan mantenimiento, mejoramiento y diseños de carreteras. Adaptado de (PND, 2022-2026)*

Según la gráfica de la ilustración 1 del PDN 2022-2026 se necesita poco a poco intervenir en el mantenimiento, mejoramiento y diseño de carreteras de accesos en esos municipios rurales dispersos de nuestro país para mejorar su desarrollo económico, social, educativo y productivo para garantizarle una mejor calidad de vida a los habitantes de esos municipios, mediante el desarrollo y la ejecución de estos cuatro objetivos de desarrollo sostenible en el cual se enfoca esta investigación.

Ya que al desarrollar el diseño de una mezcla asfáltica mejorada con VTM (Vidrio Templado Molido) se está impactando de una manera positiva al medio ambiente minimizando su deterioro, innovando con un nuevo proceso constructivo de infraestructura vial, enfocado más que todo en red vial secundaria y terciaria, creando y mejorando las vías que están en mal estado de aquellas regiones que no cuentan con una buena conectividad para su desarrollo productivo.

Por lo anteriormente mencionado se estudiará la modificación de un asfalto con vidrio templado para posiblemente mejorar las propiedades brindadas de una mezcla asfáltica convencional cuando es sometida a niveles elevados de tránsito y agente climáticos, que sea una alternativa viable, económica y amigable con el medio ambiente.

### **3. Estado del Arte**

Desde que apareció el asfalto engomado en 1960 y se identificó a nivel mundial como este asfalto modificado con caucho granulado que se produce de las llantas desechadas mejora las propiedades físicas y mecánicas del asfalto convencional, dándole una mayor longevidad a la mezcla, muchos países se internaron en el mundo de la investigación de la reutilización de desechos reciclables y no compactable, Colombia no fue la excepción. Con la implementación y construcción de algunas vías del país con este material, comenzaron a aumentar el número de investigaciones respecto a las mezclas asfálticas modificadas y sobre posibles nuevos modificantes, además de pruebas para comparar su rendimiento y características tomando como base las mezclas convencionales.

En cuanto al vidrio templado, este se elabora de dos maneras: templado químico el cual es sumergido en un baño de sales a una temperatura aproximadamente de 450°C produciendo un cambio de iones (Glasstek, 2017) y templado térmico, este es sometido a altas temperaturas que pueden variar entre los 550°C y 650°C donde llega a su punto de ablandamiento, luego es sometido de manera abrupta a enfriamiento, quedando expuesto en su superficie a compresión y en su interior a tracción, brindándole mucha resistencia comparada con un vidrio sin tratar (Infante, 2015).

En la universidad Santo Tomás de Villaviciencia en 2021 se llevó a cabo el proyecto de investigación EVALUACIÓN DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON VIDRIO TEMPLADO MOLIDO POR MEDIO DE LA METODOLOGÍA MARSHALL, donde modificaron el asfalto con VTM por vía seca, evaluado por el método Marshall, donde se realizó una caracterización física de agregados pétreos y asfalto 60/70, reemplazaron un 5% y 20 % de VTM retenido en el tamiz No. 10, para determinar el porcentaje óptimo que se debe reemplazar del material retenido. Se tuvieron en cuenta los porcentajes 10, 20 y 30% y según los datos obtenidos de estabilidad y fluidez de los especímenes se escoge el 20% donde se puede evidenciar que los especímenes se comportan mejor al momento de fallarlos.

Al comparar el comportamiento de estabilidad de una mezcla convencional y una modificada con VTM se obtuvieron valores de 4.925 y 6.338 respectivamente lo cual indicó que al agregar el material no reciclable a la mezcla su capacidad de resistir desplazamiento y deformaciones bajo las cargas de tránsito aumentan notablemente, por consiguiente, una mezcla modificada con VTM no será tan susceptible a fatiga y ahuellamientos. Se seleccionó la mezcla modificada con 20 % de VTM ya que presentó mayor estabilidad lo cual garantiza una resistencia mayor bajo cargas de tránsito (Vanegas Manrique & Segura Calleja, 2021).

**Tabla 3***Ejemplos de investigaciones relacionadas con mezclas asfálticas.*

| <b>Año</b> | <b>Autor</b>                   | <b>Título</b>                                                                                                                                                                                                                                            | <b>Tipo de documento</b>          | <b>Descripción</b>                                                                                                                                                                             |
|------------|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2023       | Iván Acosta;<br>Helen Saavedra | Evaluación de las propiedades físicas de un asfalto 80/100 modificado con agregados de desechos de vidrio templado molido para su aplicación en pavimentos                                                                                               | Tesis                             | En esta tesis podemos ver las características físicas de un asfalto 80/100 sin modificar comparadas con un asfalto 80/100 modificado con 16%,18% y 20% de vidrio templado molido               |
| 2020       | James Chicangana               | Construcción y Mejoramiento de Vías Urbanas y Terciarias en el Sector CORPOMECAVI, el Centro Poblado Planas y Tramo 2 del Anillo Agroindustrial, y la Construcción de un Puente Vehicular sobre el Caño Trampolín, del Municipio de Puerto Gaitán - Meta | Proyecto                          | En este proyecto hicieron el diseño MARSHALL para un asfalto 80/100 y obtuvieron el contenido óptimo de asfalto para esta mezcla asfáltica                                                     |
| 2020       | Paula Yineth Cabezas López     | Estudio del Comportamiento Físico-Mecánico de una Mezcla Asfáltica Modificada con Desechos de Nylon y Ceniza Volantes                                                                                                                                    | Proyecto de Investigación (tesis) | Investigación que ha desarrollado los estudiantes de la facultad de civil de la Universidad Santo Tomas de Villavicencio, sobre la modificación de la mezcla asfáltica con VTM por vía húmeda. |

**Tabla 3**

Continuación

|      |                                                                 |                                                                                                                                                                  |                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2021 | Edwin Fernando Vanegas Manrique & Laura Inés Segura Calleja     | Evaluación de una mezcla asfáltica modificada con vidrio templado molido por medio de la metodología Marshall                                                    | Proyecto de Investigación | Investigación que ha desarrollado los estudiantes de la facultad de civil de la Universidad Santo Tomas de Villavicencio, sobre la modificación de la mezcla asfáltica con VTM por vía húmeda.                                                                                     |
| 2021 | Emiro Andrés Lozano Pérez Oscar Yosid Farid Laguado Jauregui    | Evaluación de las Propiedades Físicas de un Asfalto 60/70 Modificado con GCR y Nanoarcilla                                                                       | Trabajo de investigación  | Investigación que se ha desarrollado en la universidad Santo Tomas de Villavicencio, que se realizó para evaluar un asfalto 60/70 modificado con diferentes porcentajes de D-PEAD teniendo en cuenta las normas INVIAS.                                                            |
| 2020 | Lizcano Garzón, Omar Ramos Félix, Dora Andrés                   | Estudio del comportamiento físico-mecánico de mezclas asfálticas modificadas con llenante mineral de ceniza de la cascarilla resultante de la molienda del arroz | Trabajo de grado          | Este trabajo consiste en mejorar de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica modificada con ceniza de residuos de la molienda del arroz (Lizcano & Ramos, 2020)                                                                                                            |
| 2019 | Borja Torres Stalin Alberto, Cárdenas Castillo Joffre Alexander | Caracterización de mezclas asfálticas en caliente, elaboradas con el uso de cemento asfáltico modificado con polímero SBR y SBS.                                 | Proyecto de investigación | Analiza y compara el comportamiento de mezclas asfálticas en caliente elaboradas con cemento asfáltico modificado con diferentes porcentajes de polímero SBS (Estireno butadieno-estireno) y SBR (Estireno butadieno) y una mezcla asfáltica convencional (Borja & Cárdenas, 2019) |

**Tabla 3**

Continuación

|      |                                                                               |                                                                                                                                                                                  |                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2018 | Ochoa Diaz<br>Grimaldo León<br>Orjuela Fajardo<br>Muñoz León                  | Analysis of use of, Ogranulated slag in asphalt mixtures manufacturing for pavements [Análisis del uso de escoria granula en la fabricación de mezcla asfáltica para pavimentos] | Articulo                          | Se desea comparar una mezcla tradicional tipo MDC-19 del INVIAS con cemento asfaltico de grado de penetración 80/100 y otra mezcla de la misma tipología modificada con escoria granulada como sustituto de la fracción del árido de arena. (Ochoa et al., 2018) |
| 2018 | Karlenn Nicol<br>Freire Alvear                                                | Uso de vidrio molido en la mezcla asfáltica con el propósito de reducir la contaminación                                                                                         | Proyecto de investigación (TESIS) | Esta es una investigación con una mezcla de vidrio empleado molido la cual nos arrojará costos y factibilidad del proyecto. (Freire, 2018)                                                                                                                       |
| 2018 | Jairo Hernando<br>Diaz Giraldo,<br>Álvaro Ricardo<br>Bonilla Murillo          | Modificación de mezclas asfálticas mediante fibras de vidrio listas para instalar                                                                                                | Proyecto de investigación (TESIS) | Este trabajo se realizó con el fin de conocer los efectos de la aplicación de fibra de vidrio en una mezcla asfáltica.                                                                                                                                           |
| 2018 | Gutiérrez Silvestre<br>Abel<br>Andréi                                         | Asfaltos modificados con vidrio y su proyecto comparación e investigación técnica e investigación económica con los asfaltos convencionales                                      | Proyecto de investigación (TESIS) | El objetivo de este trabajo fue determinar lasdiferencias técnico y económico entre los asfaltos modificados con vidrio y los asfaltos convencionales – Huancayo (Silvestre & Gutiérrez, 2018)                                                                   |
| 2017 | Umbarila, Cristian<br>Andrés Mejía<br>Hernández,<br>Cristian Adolfo<br>sierra | Estado del arte de mezclas asfálticas modificadas en los últimos 10 años: caso de estudio universidades de Bogotá.                                                               | Proyecto de investigación (TESIS) | Investigaciones que handesarrollado las instituciones de educación superior de la ciudad de Bogotá durantelos últimos diez años en el área de asfaltos. (UMBARILA &HERNÁNDEZ, 2017)                                                                              |

**Tabla 3**

Continuación

|      |                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                               |                                   |                                                                                                                                                                                                                                      |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2017 | Silvia Caicedo Hormaza, Bernardo Estrada Mejía, Nicolás Vanegas Miranda, Juan Diego                                                                                                                    | Caracterización mecánica de una mezcla asfáltica modificada con fibras sintéticas                                                                                             | Proyecto de investigación (TESIS) | La finalidad es caracterizar el comportamiento de una mezcla asfáltica modificada con fibras sintéticas con diferentes porcentajes (Vanegas et al., 2017)                                                                            |
| 2017 | César Mauricio Díaz Caros, Liliana Carolina Castro Celis                                                                                                                                               | Implementación del grano de caucho reciclado (GRC) proveniente de llantas usadas para mejorar las mezclas asfálticas y garantizar pavimentos sostenibles en Bogotá            | Monografía de grado               | Sintetiza diferentes investigaciones a nivel internacional donde se demuestra que la implementación del GCR en los pavimentos es una alternativa para solucionar problemas de tipo mecánico en los pavimentos. (Díaz & Castro, 2017) |
| 2016 | Diana Teresa Fernández Tito                                                                                                                                                                            | Análisis del comportamiento físico - mecánico de una mezcla asfáltica en caliente modificada con GCR (grano de caucho reciclado) a partir de neumáticos en desuso, cusco 2016 | documento sitio web (tesis)       | En este documento se analiza el comportamiento físico - mecánico de una Mezcla Asfáltica en caliente modificada con Grano de Caucho Reciclado (GCR) a partir de neumáticos en desuso.                                                |
| 2022 | NgCui Ming <sup>a</sup> , Ramadhansyah Putra Jaya <sup>a</sup> , Haryati Ang <sup>a</sup> , Nicole Liew Siaw Ing <sup>a</sup> , Mohd Rosli Mohd Hasan <sup>b</sup> , Zaid Hazim Al-Saffar <sup>c</sup> | Performance of glass powder as bitumen modifier in hot mix asphalt                                                                                                            | Artículo investigativo            | Este artículo nos habla del polvo de vidrio obtenido de botellas de vidrio y utilizado como modificador en un aglutinante asfáltico.                                                                                                 |

**Tabla 3***Continuación*

|      |                               |                                                                                                      |                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2015 | Elmer Rodrigo ArangurenCampos | Caracterización de una mezcla a sfáltica empleando alquitrán, escoria granulada y agregado de caliza | Proyecto de investigación (TESIS) | Plantea una alternativa de mezcla asfáltica, incorporando materiales no convencionales como son el alquitrán de hulla amanera de ligante, escoria granulada como agregado fino y caliza como agregado grueso, hace una breve descripción de las principales características y propiedades de las mezclas asfálticas (Aranguren, 2015) |
|------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

*Nota: Esta tabla tiene unos ejemplos de investigaciones, artículos y tesis que fueron utilizadas como recurso para analizar nuestros resultados obtenidos en laboratorios.*

#### **4. Marco Normativo**

Como marco normativo para la elaboración de este proyecto nos basamos en las normas establecidas por el INVIAS como:

- **INV E-213:** la cual nos establece parámetros necesarios para la determinación de los tamaños de las partículas de los suelos de manera cuantitativa
- **INV E-712:** Esta norma nos habla de los parámetros de ablandamiento para productos bituminosos en temperaturas de 30°C hasta 157°C.
- **INV E-706:** Esta norma nos habla de la consistencia o penetración de materiales bituminosos
- **INV E-709:** El objetivo de esta norma es la determinación del punto de inflamación mediante la copa abierta

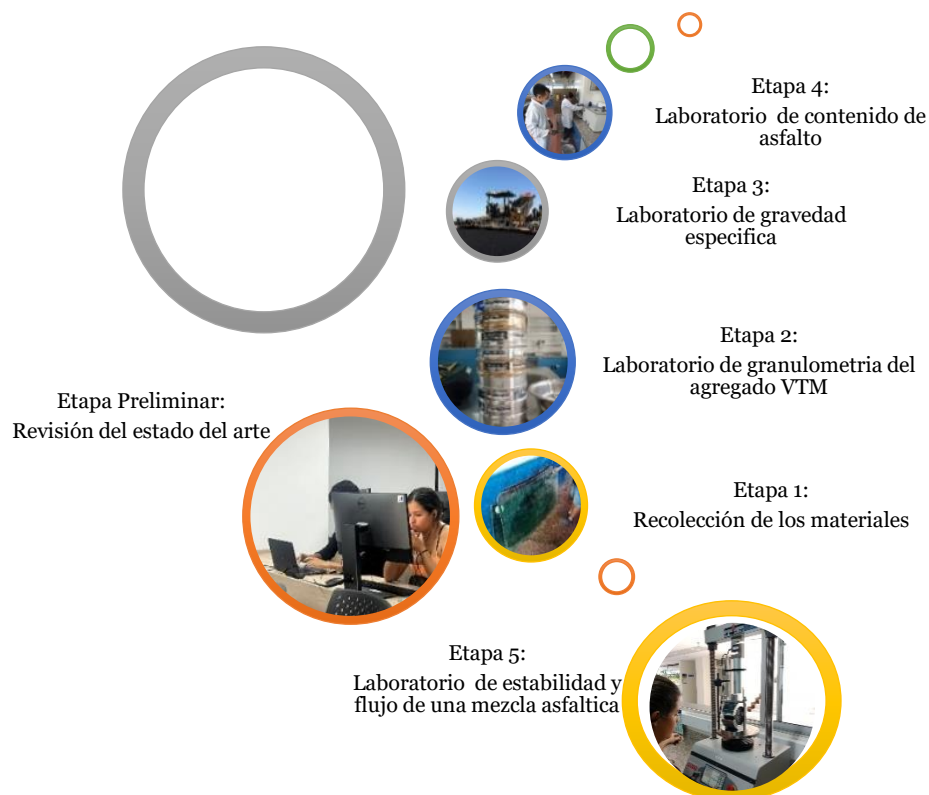
## 5. Metodología

Esta investigación tiene un enfoque mixto comparativo y se centra en el análisis de mezclas asfálticas modificadas con vidrio templado molido por vía húmeda.

### 5.1. Metodología del Proyecto

**Figura 2**

*Metodología de trabajo para la ejecución del proyecto*



**Tabla 4.**  
Descripción de la Metodología

|                                                         | Actividad                                                                                                                               | Descripción                                                                                                                                                                                         |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Preliminar                                              | Revisión del estado del arte                                                                                                            | Se revisan diferentes investigaciones afines al Proyecto                                                                                                                                            |
| Etapa 1<br>(Recolección de materiales)                  | Recolección del vidrio templado y posteriormente triturado del material.<br>Recolección del asfalto 70-30                               | Para este proceso de procedió a recolectar el vidrio templado de un panorámico de carro reciclado<br>Para la obtención del asfalto se recurrió a una empresa encargada del manejo de este material. |
| Etapa 2<br>(Granulometría)                              | Se realizará el tamizaje del vidrio templado molido de esta manera se escogerá la granulometría adecuada para la modificación asfáltica | Este tamizaje se realiza en la maquina tamizadora y se procede a sacar los pesos y el tamaño de partícula en cada tamiz                                                                             |
| Etapa 3<br>(Gravedad específica)                        | Gravedad específica máxima de mezclas asfálticas para pavimentos                                                                        | Esta norma de ensayo se refiere al procedimiento para determinar la gravedad específica máxima a 25° C (77° F) de mezclas asfálticas en caliente para pavimentos.                                   |
| Etapa 4<br>(Contenido de asfalto)                       | Extracción cuantitativa del asfalto en mezclas para pavimentos                                                                          | Este método es una determinación cuantitativa del asfalto en mezclas asfálticas en caliente o muestras de pavimentos tomadas.                                                                       |
| Etapa 5<br>(Estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica) | Estabilidad y flujo de mezclas asfálticas en caliente empleando el equipo Marshall                                                      | Este laboratorio determina la resistencia a la deformación de especímenes de mezclas asfálticas para pavimentos.                                                                                    |

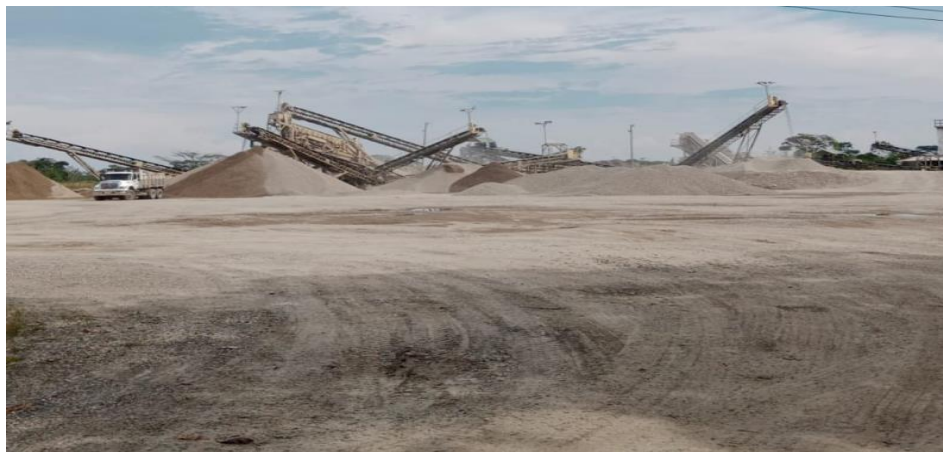
*Nota: Esta tabla explica de una manera más clara todas las 6 etapas que se utilizarán y seguirán para la realización de nuestra investigación.*

## 6. Recolección de materiales

Fueron tres los materiales requeridos para la realización de esta mezcla asfáltica: el primero fue el asfalto 80/100 recolectado en la empresa de PASOLIN ubicada en el corredor ecológico kilometro 5.3 vereda el Cocuy; el segundo material fue el agregado pétreo, el cual se recogió en el mismo sitio y por último el vidrio templado que se recolecto de un taller que repara panorámicos de carros.

**Figura 3.**

*Recolección de agregados*



*Nota: En esta imagen se pueden ver la planta trituradora de agregados como arena, grava y piedra triturada que se utilizaron en la mezcla asfáltica esta trituradora tiene el nombre Pasolin ubicada en el corredor ecológico km 5.3 vereda el cocuy.*

**Figura 4.**

*Recolección de la emulsión.*



*Nota: En estas dos figuras se evidencia el sistema de recolección del betún o emulsión asfáltica la cual se realizó en la plata productora de asfalto Pasolin ubicada en el corredor ecológico km 5.3 vereda el cocuy.*

**Figura 5.**  
*Recolección del vidrio templado.*



*Nota: Para la recolección del vidrio templado se emplearon panorámicos de automóviles.*

## 7. Granulometría del vidrio templado

Para la granulometría del vidrio se procedió a partir dos panorámicos de carros los cuales fueron reciclados puesto que ya habían cumplido su vida útil e iban a ser desechados; estos se partieron en partes más manejables con martillos de seguridad y utilizando medidas de protección; luego se procedió a llevarlos a la máquina de los ángeles para ser triturados a la perfección utilizando 8 esferas que iban moliendo en vidrio por aproximada mente 30min.

**Figura 6.**  
*Preparación del vidrio templado molido*



*Nota: Para el tratamiento del vidrio templado se tuvo que romper con un martillo de seguridad y acatando todas las medidas como guantes, gafas, batas y zapatos cerrados. Luego de su correcta trituración se procede al tamizaje de estos retos de vidrio para así obtener la granulometría adecuada para la modificación; en la cual se elige el porcentaje retenido en el tamiz No. 40.*

**Figura 7.**  
Vidrio templado molido



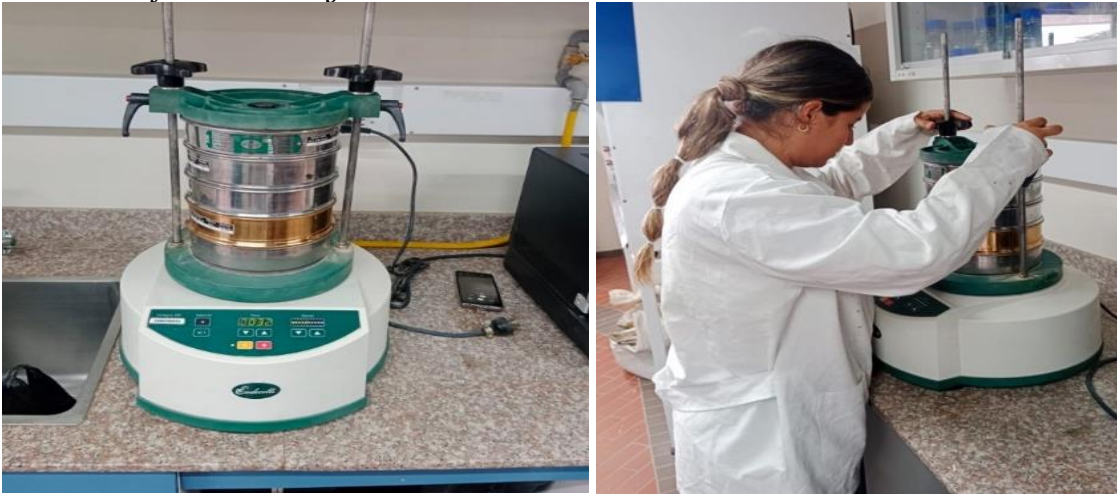
*Nota: máquina utilizada para tamizar o clasificar granulometría de materiales granulares.*

Para el tamizaje del material granular, se tuvo en cuenta la granulometría de la siguiente tabla escogiendo un porcentaje óptimo de 5% de asfalto y elaborando briquetas con 1200gr de peso neto y 1140gr de peso de agregados granulares

**Figura 8.**  
Granulometría

| TAMIZ        | % RETENDIO | % DE ASFALTO EN LA MEZCLA |             |             |             |
|--------------|------------|---------------------------|-------------|-------------|-------------|
|              |            | 4.50%                     | 5%          | 5.50%       | 6%          |
| 1/2          | 12.5       | 143.25                    | 142.5       | 141.75      | 141         |
| 3/8          | 9.5        | 108.87                    | 108.3       | 107.73      | 107.16      |
| Nº4          | 23         | 263.58                    | 262.2       | 260.82      | 259.44      |
| Nº10         | 21         | 240.66                    | 239.4       | 238.14      | 236.88      |
| Nº40         | 18.5       | 212.01                    | 210.9       | 209.79      | 208.68      |
| Nº80         | 8          | 91.68                     | 91.2        | 90.72       | 90.24       |
| Nº200        | 7.5        | 85.95                     | 85.5        | 85.05       | 84.6        |
| <b>TOTAL</b> | <b>100</b> | <b>1146</b>               | <b>1140</b> | <b>1134</b> | <b>1128</b> |

**Figura 9.**  
*Proceso de tamizaje de material granular*



*Nota: En esta imagen se ve el proceso de tamizaje de los materiales agregados.*

**Figura 10.**  
*Material granular tamizado y clasificado.*



*Nota: En esta figura se diferencian las 8 clasificaciones de acuerdo al tamaño de partícula de los agregados.*

## 8. Caracterización física del asfalto

Para la caracterización física de la emulsión asfáltica nos guiamos de una tesis previa Carrillo I & Saavedra H. (2023). Evaluación de las propiedades físicas de un asfalto 80/100 modificado con agregados de desechos de vidrio templado molido para su aplicación en pavimentos. [Tesis de grado para el título de ingeniero civil] . En la cual se obtuvieron los siguientes resultados de penetración, punto de ablandamiento, punto de penetración y punto de combustión

**Figura 11.**

*Ensayo de penetración.*

| PENETRACIÓN                |               |               |               |                      |
|----------------------------|---------------|---------------|---------------|----------------------|
| Muestra                    | Penetración 1 | Penetración 2 | Penetración 3 | Penetración promedio |
| Asfalto convencional       | 93            | 92.8          | 90.6          | 92.1                 |
| Asfalto modificado 16% VTM | 75.7          | 74.5          | 77.3          | 75.8                 |
| Asfalto modificado 18% VTM | 70.8          | 72            | 72.3          | 71.7                 |
| Asfalto modificado 20% VTM | 68.7          | 68.7          | 67.8          | 45.4                 |

**Figura 12.**

*Ensayo de ablandamiento.*

| PUNTO DE ABLANDAMIENTO |                      |                            |                            |                            |
|------------------------|----------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| PARAMETROS             | Asfalto convencional | Asfalto modificado 16% VTM | Asfalto modificado 16% VTM | Asfalto modificado 16% VTM |
| Bola derecha           | 42.3                 | 43.7                       | 45.6                       | 47.5                       |
| Bola izquierda         | 42.6                 | 43.1                       | 44.7                       | 47.2                       |
| Promedio               | 42.45                | 43.4                       | 45.15                      | 47.35                      |

**Figura 13.**

*Ensayo de punto de inflamación*

| PUNTO DE INFLAMACIÓN |           |       |           |         |         |
|----------------------|-----------|-------|-----------|---------|---------|
| PARAMETROS           | OBSERVADO |       | CORREGIDO |         |         |
|                      | °C        | °F    | C1 (°C)   | C2 (°C) | C3 (°C) |
| CONVENCIONAL         | 294       | 561.2 | 295.43    | 563.78  | 295.42  |
| Modificado 16%       | 284       | 543.2 | 285.43    | 545.78  | 285.42  |
| Modificado 18%       | 280       | 536   | 281.43    | 538.58  | 281.42  |
| Modificado 20%       | 278       | 532.4 | 279.43    | 534.98  | 279.42  |

**Figura 14.**  
Ensayo de combustión.

| PARAMETROS     | PUNTO DE CONESTIÓN |       |           |        |        |
|----------------|--------------------|-------|-----------|--------|--------|
|                | OBSERVADO          |       | CORREGIDO |        |        |
|                | °C                 | °F    | C1 (°C)   | C2(°C) | C3(°C) |
| CONVENCIONAL   | 310                | 590   | 311.43    | 592.58 | 311.42 |
| Modificado 16% | 318                | 604.4 | 319.43    | 606.98 | 319.42 |
| Modificado 18% | 325                | 617   | 326.43    | 619.58 | 326.42 |
| Modificado 20% | 322                | 611.6 | 323.43    | 614.18 | 323.42 |

Luego de tener una caracterización establecida se procede con la elaboración de 12 briquetas las cuales 3 son elaboradas con el asfalto convencional 80/100 y 9 con el asfalto modificado, para estas 9 se tomaron 3 briquetas por cada tipo de modificación en este caso con 16%,18% y 20% de vidrio templado molido, para esto se llevaron los diferentes tipos de asfalto al horno a 130° hasta obtener la consistencia desea además de esto se calentaron los agregados junto con ellos; luego de esto se mezcla la emulsión asfáltica junto con los agregados y se llevan a un fuego hasta alcanzar los 130°c y una mezcla homogénea como se muestras en la siguiente ilustración

**Figura 15.**  
Elaboración de la mezcla asfáltica.



Se procede a encofrar dicha mezcla y se le dan 75 golpes por cada cara de la briqueta, luego se desencofra después de 20min y toca esperar 24h para realizar el laboratorio de falla.

**Figura 16.**  
*Elaboración de las briquetas*



Luego de las 24h se toman 3 pesos diferentes el primero es inmediatamente, el segundo es su peso sumergido y el último es el peso después de sumergirlo se seca el exterior y se pesa con estos tres pesos podremos encontrar la densidad de Bulk y el porcentaje de vacíos.

**Figura 17.**  
*Proceso de pesado de las briquetas.*



**Figura 18.**  
*Briquetas con asfalto modificado*



Antes de falla estas 12 briquetas se llevan a baño maría de 60°C por 30 min se secan y se llevan a la prente de presión o Master Loader 5030 donde podremos obtener datos de esfuerzo deformación.

**Figura 19.**  
*Briquetas en baño maría a 60°C*



Las briquetas permanecen en baño maría por 30 minutos a una temperatura de 60°C con un nivel de agua que sobre pase la H de la briqueta por 2 centímetros como se puede ver en a ilustración 21.

**Figura 20.**  
**Ensayo MARSHALL**



## 9. Resultados

Estos son los datos obtenidos en la MASTER LOADER de deformación/esfuerzo de una mezcla asfáltica modificada con vidrio templado molido, como se ve en la siguiente tabla se escogió un contenido óptimo de asfalto del 5% y con 16%,18% y 20% de vidrio templado molido.

**Tabla 5.**

*Resultados de ensayo MARSHALL con asfalto 810/100 modificado con VTM*

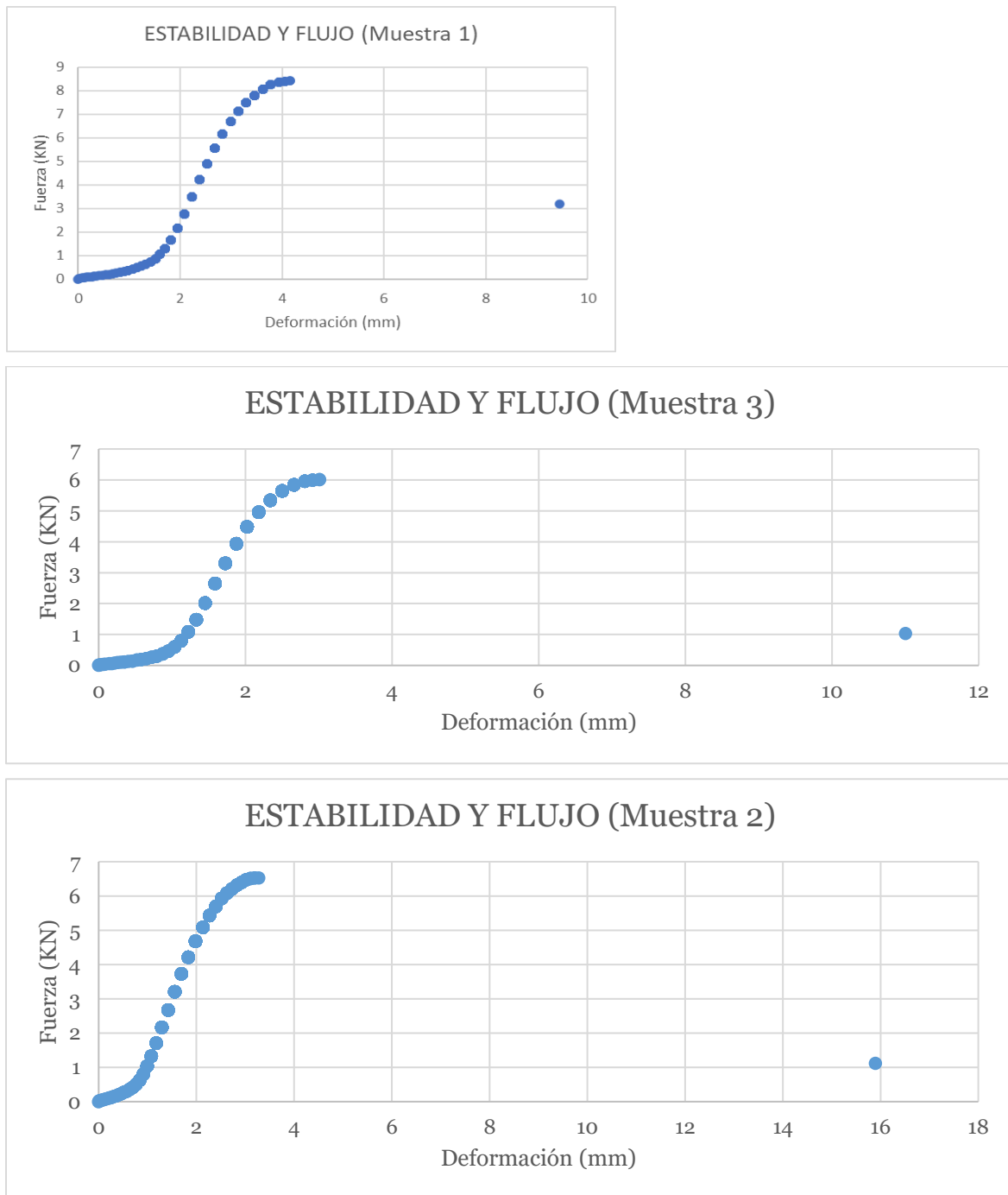
| MODIFICACIÓN | MUESTRA | FUERZA KN | DESPLAZAMIENTO |
|--------------|---------|-----------|----------------|
| 16 %VTM      | 1       | 4.23      | 2.723          |
|              | 2       | 3.73      | 3.562          |
|              | 3       | 9.52      | 3.806          |
| PROMEDIO 16% |         | 5.827     | 3.364          |

| MODIFICACIÓN | MUESTRA | FUERZA KN | DESPLAZAMIENTO |
|--------------|---------|-----------|----------------|
| 18 %VTM      | 1       | 6.88      | 3.307          |
|              | 2       | 8.49      | 4.901          |
|              | 3       | 9.54      | 3.726          |
| PROMEDIO 18% |         | 8.303     | 3.978          |

| MODIFICACIÓN | MUESTRA | FUERZA KN | DESPLAZAMIENTO |
|--------------|---------|-----------|----------------|
| 20 %VTM      | 1       | 6.38      | 3.928          |
|              | 2       | 8.18      | 3.086          |
|              | 3       | 4.83      | 3.138          |
| PROMEDIO 20% |         | 6.463     | 3.384          |

También se hicieron los ensayos con asfalto original para así mismo poder comparar el asfalto modificado y el asfalto convencional.

**Figura 21**  
Ensayo MARSHALL con asfalto 80/100 sin modificar



Evaluación de una mezcla asfáltica modificada con vidrio templado

**Figura 22**  
**Ensayo MARSHALL**

| Propiedad            | Contenido de VTM (%) |
|----------------------|----------------------|
| Peso específico      | 2051.90916           |
| Estabilidad          | 8.303                |
| Porcentaje de vacíos | 0.002                |
| Fluidez              | 3.978                |
| Contenido de VTM     | 18%                  |

Porcentaje de vtm y gravedad especifica bulk

**Figura 23**  
**Ensayo MARSHALL gravedad especifica bulk**

| ESPECIMEN                                                        | M1       | M2      | M3       | M1       | M2       | M3       | M1       | M2       | M3       |
|------------------------------------------------------------------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Contenido de VTM reemplazado por                                 | 16.00 %  |         |          | 18.00 %  |          |          | 20.00 %  |          |          |
| Contenido de asfalto                                             | 5.00 %   |         |          | 5.00 %   |          |          | 5.00 %   |          |          |
| Altura 1                                                         | 6.00     | 6.40    | 6.50     | 6.20     | 6.20     | 6.40     | 6.50     | 6.40     | 6.50     |
| Altura 2                                                         | 6.20     | 6.36    | 6.45     | 6.40     | 6.38     | 6.50     | 6.47     | 6.38     | 6.66     |
| Altura 3                                                         | 6.10     | 6.40    | 6.49     | 6.59     | 6.89     | 6.68     | 6.46     | 6.35     | 6.64     |
| Altura Prom                                                      | 6.10     | 6.39    | 6.48     | 6.40     | 6.49     | 6.53     | 6.48     | 6.38     | 6.60     |
| Diametro 1                                                       | 9.60     | 9.70    | 9.80     | 9.50     | 9.50     | 9.50     | 9.50     | 9.50     | 9.50     |
| Diametro 2                                                       | 9.70     | 9.69    | 9.85     | 9.64     | 9.50     | 9.45     | 9.67     | 9.64     | 9.65     |
| Diametro Prom                                                    | 9.65     | 9.70    | 9.83     | 9.57     | 9.50     | 9.48     | 9.59     | 9.57     | 9.58     |
| Volumen                                                          | 446.14   | 471.48  | 491.28   | 460.12   | 460.03   | 460.19   | 467.33   | 458.68   | 475.24   |
| peso probetas seco kg (A)                                        | 1145     | 1124    | 1191     | 1.182    | 1.164    | 1.191    | 1.167    | 1.175    | 1.171    |
| peso despues de 4 minutos en agua: se saca se seca y se pesa (B) | 1151     | 1129    | 1062     | 1.189    | 1.174    | 1.196    | 1.177    | 1.181    | 1.183    |
| pseo en sumergido                                                | 0.603    | 0.566   | 0.538    | 0.623    | 0.602    | 0.61     | 0.63     | 0.61     | 0.638    |
| GRAVEDAD ESPECIFICA                                              | 0.995    | 0.996   | 1.122    | 2.088    | 2.035    | 2.032    | 2.133    | 2.058    | 2.149    |
| PESO ESPECIFICO                                                  | 995.309  | 996.071 | 1122.037 | 2088.339 | 2034.965 | 2032.423 | 2133.455 | 2057.793 | 2148.624 |
| PE Prom                                                          | 1037.806 |         |          | 2051.909 |          |          | 2113.291 |          |          |
| FLUIDEZ (0.25mm)                                                 | 2.723    | 3.562   | 3.806    | 3.307    | 4.901    | 3.726    | 3.928    | 3.086    | 3.138    |
| FLUIDEZ Prom                                                     | 3.364    |         |          | 3.978    |          |          | 3.384    |          |          |
| ESTABILIDAD Exp.                                                 | 6.88     | 3.73    | 9.52     | 6.88     | 8.49     | 9.54     | 6.38     | 8.18     | 4.83     |
| Fac. correccion de altura                                        | 0.96     | 1.32    | 1.04     | 1.04     | 0.96     | 1.04     | 0.93     | 0.96     | 1        |
| ESTABILIDAD                                                      | 6.6048   | 4.9236  | 9.9008   | 7.1552   | 8.1504   | 9.9216   | 5.9334   | 7.8528   | 4.83     |
| ESTABILIDAD MEDIA                                                | 7.143    |         |          | 8.409    |          |          | 6.205    |          |          |
| % vacios                                                         | 1.345    | 1.060   | -26.258  | 0.002    | 0.002    | 0.001    | 0.002    | 0.001    | 0.003    |
| % Vacios Prom                                                    | -7.951   |         |          | 0.002    |          |          | 0.002    |          |          |

## **10. Conclusiones**

- Con los porcentajes de VTM agregados al asfalto 80/100 se puede evidenciar su alta resistencias a las altas temperaturas a las que se expone el asfalto convencional.
- También se evidencia una mayor resistencia del asfalto modificado con VTM con respecto al asfalto convencional.
- Se seleccionó la mezcla modificada con 18% de VTM ya que presento mayor estabilidad lo cual nos garantiza una resistencia mayor bajo cargas de tránsito.
- Al adicionar VTM se cumplirá con la reducción de contaminación que produce dicho material, además se podría llegar a minimizar la cantidad del ligante asfáltico.

## 11. Referencias

- Arkiplus. (2013, 9 de agosto). Tipos de asfaltos. Arkiplus. <https://www.arkiplus.com/tipos-de-asfalto>
- Borja, T., & Cárdenas, C. (2019). *Caracterización de mezclas asfálticas en caliente, elaborados con el uso de cemento asfáltico modificado con polímero SBR y SBS*. 258. [Trabajo de grado, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/18757/1/T-UCE-0011-ICF-141.pdf>
- Cabezas, P. (2020). *Caracterización física de un ligante asfáltico 60/70 modificado con desechos de polietileno de alta densidad (D-PEAD)*. [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomas de Villavicencio]. Repositorio <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/21778/2020paulacabezas?sequence=1&isAllowed=y>
- Cepeda, J. (2015). *Análisis de desempeño de mezclas asfálticas tibias*. [Trabajo de grado, Universidad de las Fuerzas Armadas]. Repositorio <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/8431>
- Congreso de la República de Colombia. (19, mayo de 2023). Por el cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 “Colombia Potencia Mundial de la Vida”. Diario Oficial No. 52.400. [http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_2294\\_2023.html](http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_2294_2023.html)
- Florez, J., Gómez, S., & Cely, N. (2018). *Caracterización física y reológica del asfalto modificado con aceite de coco*. [Trabajo de grado, Universidad Catolica de Colombia]. Repositorio. <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/22422/1/TESIS%20PROYECTO%20ACEITE%20COCO%20ESP%20PAVIMENTOS2.pdf>
- Forero, M. A., & Hernández, J. A. (2020). *Diseño Marshall y verificación de adherencia de una mezcla asfáltica MDC-25 con reemplazo parcial de material granular por ceniza de cascarilla de arroz*. [Trabajo de grado, Universidad catolica de Colombia]. Repositorio. <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/24768>
- Glasstek. (2017). *Termoendurecido Templado Químico Vidrio Termo- endurecido*. <https://www.glasstek.es/glasstek/>
- Infante, S. A. (2015). *Evaluación de características físicas y mecánicas de una base estabilizada con cemento modificada con vidrio templado reciclado*. [Trabajo de grado, Universidad de la Salle]. Repositorio. [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1029&context=ing\\_civil](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1029&context=ing_civil)
- Instituto Nacional de Vías , (INVIAS ), (31, Diciembre de 2020).Estado de la Red Vial. <https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/2-principal/57->

- estadode-la-red-vial
- Instituto Nacional de Vías, (INVIAS) (2013) «712- Punto de Ablandamiento de materiales bituminosos (aparato de anillo y bola),» de *Materiales y mezclas asfálticas y prospección de pavimentos*. <https://www.da-lab.co/wp-content/uploads/2021/04/INV-712-13.pdf>
- Instituto Nacional de Vías, (INVIAS), I. N. (31 de Diciembre de 2020). INVIAS. Estado de la Red Vial. <https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/2-principal/57-estadode-la-red-vial>
- Instituto Nacional de Vías, (INVIAS).(2013). *Capítulo 4 (sobre pavimentos asfálticos)*. 1-440. [ftp://ftp.ani.gov.co/Licitación VJVGCLP 001-2016-M-1/Especificaciones Generales de Construccion de carreteras/CAPÍTULO 4\\_1.pdf](ftp://ftp.ani.gov.co/Licitación_VJVGCLP_001-2016-M-1/Especificaciones_Generales_de_Construccion_de_carreteras/CAPITULO_4_1.pdf)
- Jaramillo, T. M. (2018). *Analysis of Construction Specifications of Instituto Nacional de Vías de Colombia (INVIAS) and Instituto de Desarrollo Urbano de Bogotá (IDU) according to the explicit quality requirements for materials in the pavement design methods used in Colombia*. [Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/69509/1053772943.2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rondón, H. A. (2016). Pavimentos: materiales, construcción y diseño. ECOE Ediciones. <https://elibro.net/es/lc/usta/titulos/70435>
- Sepúlveda, A. (9 de Septiembre de 2020). Manual del reciclaje: Lo que sí y lo que no se puede reciclar.. <https://www.meteored.cl/noticias/ciencia/manual-del-reciclaje-lo-que-si-y-loque-no-se-puede-reciclar-en-chile.html>
- Silvestre, A., & Gutierrez, A. (2018). *asfaltos modificados con vidrio y su comparación técnico y económico con los asfaltos convencionales. Línea de investigación institucional: Transporte y urb*. [Trabajo de grado, Universidad peruana los andes]. Repositorio. <https://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12848/936/GUTIERREZ%20SILVESTRE%2C%20ABEL%20ANDREI.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Suarez, A. (2019). *Análisis monotónico de mezclas densas en caliente con asfalto modificado con 50% de caucho y 50% de cuero*. [Trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio. <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/23893/1/TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
- Vanegas Edwin & Segura Laura. (2021). Evaluación asfáltica modificada con vidrio templado molido por medio de la metodología Marshall. [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/35194>