



Universidad **Mariana**

Influencia de la Granulometría del Concreto Asfáltico en los Parámetros de Comportamiento de Nivel 1 según el Artículo 450-22 de las Especificaciones del INVIAS.

Alban Rosero Eider Yohan

Albarracín Cardona Norman Gabriel

Salas Gonzales Santiago

Ojeda Gómez Luisa María

Unigarro Tapia Luis Carlos

Universidad Mariana

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Civil

San Juan de Pasto

2024

Influencia de la granulometría del concreto asfáltico en los parámetros de comportamiento de nivel 1 según el Artículo 450-22 de las Especificaciones del INVÍAS

Alban Rosero Eider Yohan
Albarracín Cardona Norman Gabriel
Salas Gonzales Santiago
Ojeda Gómez Luisa María
Unigarro Tapia Luis Carlos

Informe de investigación para optar al título de: Ingeniero Civil

Mg. Ing. Gerardo Andrés Dorado Jurado
Asesor

Universidad Mariana
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Civil
San Juan de Pasto
2024

Contenido.

1.	Resumen	10
1.1.	Descripción del problema	10
1.2.	Formulación del problema.	11
1.3.	Justificación.	11
1.4.	Objetivos	12
1.4.1.	Objetivo General	12
1.4.2.	Objetivos específicos.....	12
1.5.	Marco referencial o fundamentos teóricos.	13
1.6.	Marco teórico.	13
1.6.1.	Mezcla asfáltica	14
1.6.2.	Componentes de una mezcla de asfalto.....	15
1.6.3.	Método Bailey.	16
1.6.4.	Flujo Marshall.	17
1.7.	Marco contextual.	17
1.8.	Marco legal.	18
1.9.	Metodología.	19
1.9.1.	Metodología de cálculo.	25
2.	Resultados	31
2.1.	Proporciones granulométricas.	31
2.1.1.	Impurezas En Agregado Grueso.....	31
2.1.2.	Índice de Plasticidad y Límite Líquido.	32
2.1.3.	Índice de aplanamiento y alargamiento.....	32
2.1.4.	Caras fracturadas en agregado grueso.....	33
2.1.5.	Equivalente de arena.	34

2.1.6.	Máquina de Los Ángeles.....	35
2.1.7.	Densidad de finos.....	35
2.1.8.	Densidad de gruesos.....	36
2.2.	Asfalto.....	37
2.2.1.	Punto de ablandamiento.....	37
2.2.2.	Contenido de agua.....	38
2.3.	Granulometría.....	38
2.3.1.	Empaquetamiento.....	38
2.4.	Mezcla Asfáltica.....	39
2.4.1.	Elaboración briquetas y determinación de flujo.....	39
2.4.2.	Susceptibilidad al Agua.....	44
3.	Conclusiones.....	45
4.	Recomendaciones.....	46

Índice de Tabla.

Tabla 1. Ensayos para la obtención de proporciones granulométricas.....	20
Tabla 2. Ensayos realizados para diseño Marshall.....	22
Tabla 3. Ensayos realizados para determinar la estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica.	24
Tabla 4. Impurezas en agregado grueso.....	31
Tabla 5. Índices de alargamiento.....	32
Tabla 6. Índices de aplanamiento.....	33
Tabla 7 Caras Fracturadas.....	34
Tabla 8 Equivalencia de arenas.....	34
Tabla 9 Maquina de los ángeles.....	35
Tabla 10 Densidad de finos.....	36
Tabla 11 Densidad de gruesos.....	37
Tabla 12 Rangos de referencia Bailey.....	38
Tabla 13 Susceptibilidad del agua.....	44

Índice de Figuras.

Figura 1. Granulometría Bailey	39
Figura 2. Volumen de Vacíos Gradación Convencional y Volumen de Vacios Gradacion de flujo	39
Figura 3. Vacíos en el Agregado Mineral gradación Convencional y Vacios en el Agregado Miniral Gradacion Bailey	40
Figura 4. Estabilidad gradación Convencional y Estabilidad Gradacion Bailey.....	41
Figura 5. Flujo Gradación Convencional y Flujo Gradacion Bailey.....	42
Figura 6. Vacíos Llenos de Asfalto Gradación Convencional y Vacios Llenos de Asfalto Gradacion Bailey.....	39
Figura 7. AFT gradación convencional y AFT Gradacion Bailey	39

Ilustraciones.

Ilustración 1. Obtención de filler.	27
Ilustración 2. Muestra de los agregados.....	28
Ilustración 3. Muestra de asfalto.	29
Ilustración 4. Briquetas de acuerdo a cada diseño	29
Ilustración 5. Baño maría.....	30
Ilustración 6. Falla de los especímenes.	30

Lista de siglas

MDC-19: Mezcla asfáltica densa en caliente de gradación continua, con agregado de tamaño máximo 19 mm

LUW: Masa unitaria elegida

MS: Tamaño del agregado máximo

CAi: Agregado grueso i

FAi: Agregado fino i

MF: Llenante mineral

PCS: Porcentaje que pasa el tamiz de control primario

P200: Porcentaje que pasa el tamiz de 0.075 mm

Gsbi: Gravedad específica Bulk del agregado i

LUWi: Peso unitario suelto del agregado i (kg/m^3)

RUWi: Peso unitario apisonado del agregado i (kg/me)

CUW: Peso unitario elegido

Polvo: Cantidad deseada de pasante #200 en la gradación final

CAiWc: Peso contribuido por el agregado grueso i

FAiWc: Peso contribuido por el agregado fino i

VCA: Vacíos en el agregado grueso

TUW: Peso unitario total

INVIAS: Instituto Nacional de Vías.

DANE: Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

TNM: Instituto Nacional de Vías.

Introducción.

“El método tradicional de diseño de mezclas asfálticas a menudo implica elegir las proporciones entre los distintos materiales disponibles mediante prueba y error dentro de un rango granulométrico de referencia” (Asphalt Institute, 2001). Esto puede ser difícil para los diseñadores menos experimentados, lo que retrasa los periodos de diseño de la distribución granulométrica de los agregados afectando casi todas las propiedades importantes de una mezcla asfáltica, incluyendo su estabilidad, durabilidad, permeabilidad, trabajabilidad, resistencia a la fatiga y susceptibilidad al flujo. De un nivel uno donde se evalúan los parámetros del comportamiento de las mezclas asfálticas como la compactación: Marshall y la sensibilidad al agua, Por tanto, es crucial seleccionar una graduación adecuada al tipo de mezcla que se quiere producir.

“Entre los diversos tipos de gradaciones, se encuentran las mezclas de gradación continua, donde la estabilidad se logra mediante la máxima densidad posible, en consecuencia, los agregados gruesos forman un esqueleto mineral resistente con muchos puntos de contacto, resultando en una estructura estable” (Lozano, 2020).

De esta manera, el obtener una granulometría con las diferentes metodologías requiere comprender cómo funciona el esqueleto mineral que se pretende en cada caso, lo que no es fácil utilizando el método actual Marshall, ya que, no hay una guía para la selección de la granulometría de la mezcla.

Por lo anterior se ve necesario la implementación de un método de gradación que garantice una estructura adecuada con suficiente ligante para una buena durabilidad. En esta investigación se utilizó el método Bailey para satisfacer esta necesidad, a través de un proceso sistemático de selección granulométrica, generando un revestimiento estable y resistente tanto a la deformación permanente como a la fatiga.

1. Resumen

Con el marco de referencia centrado en la influencia de la granulometría en las mezclas de asfalto, tanto las convencionales como las optimizadas a través del método de Bailey, se examinaron las proporciones específicas según el Art. 450 de la norma de especificaciones técnicas del Instituto Nacional de Vías (INVIAS). Esto se hizo para emplear ciertos parámetros como respuestas a las variaciones en la granulometría y la fuente de agregado, utilizando diversas técnicas de análisis. Experimentalmente, se analizó la influencia de la granulometría tradicional en los diseños de concretos asfálticos en términos de resistencia y deformación plástica bajo condiciones de alta temperatura y cargas de compresión. Se utilizó el concreto asfáltico MDC-19, definida en la especificación técnica de construcción del INVIAS para este tipo de materiales.

Con el propósito de verificar y analizar la relación entre ellas, se evaluó la resistencia a la compresión mediante ensayos de laboratorio para cada una de las granulometrías de agregados previamente establecidas.

Palabras claves: Granulometría, mezcla asfáltica, Método Bailey, resistencia a la compresión.

1.1. Descripción del problema

Se desea estudiar el efecto que tiene utilizar una granulometría de agregados diseñada con el método Bailey en comparación con el uso de una granulometría convencional, sobre las propiedades de estabilidad y flujo de una mezcla asfáltica en caliente.

En concreto, se pretende determinar si la aplicación del método Bailey para seleccionar sistemáticamente la graduación de la mezcla de áridos, conduce a variaciones en la estabilidad de la mezcla (evaluada mediante ensayos como el de Compresión Marshall, tracción indirecta, etc.) así como en su resistencia a las deformaciones plásticas, en relación a utilizar los límites granulométricos especificados mediante un proceso de prueba y error.

Para asegurar el rendimiento adecuado de la mezcla asfáltica durante el diseño del pavimento flexible, es crucial alcanzar las mejores propiedades físicas y mecánicas del material. (Parra, Calabi, Sánchez, & Valdés, 2018).

En Colombia el método Marshall se emplea con el propósito determinar el contenido óptimo de asfalto de las mezclas asfálticas en caliente para una combinación específica de agregados a partir de la medición de peso volumétrico, porcentaje de vacíos, resistencia en términos de estabilidad y deformación en términos del flujo (SABOGAL, 2020) según la Especificación de Invias Artículo 450-22, que establece requisitos de compactación, estabilidad, flujo y propiedades volumétricas. Además, la especificación requiere la evaluación de propiedades de empaquetamiento utilizando el método Bailey, relacionado con la granulometría de la mezcla.

1.2. Formulación del problema.

¿Cuál es el efecto de la granulometría diseñada con el método Bailey en los parámetros de comportamiento de nivel 1 de un concreto asfáltico, en comparación con el uso de una granulometría convencional?

1.3. Justificación.

Es esencial comprender a fondo las propiedades de la mezcla asfáltica para su correcto diseño y construcción. Este proceso comienza con las propiedades de los agregados pétreos donde “representan el mayor porcentaje del volumen total de la mezcla”. (VILLA, 2022) A través de la comprensión de estas propiedades, se puede asegurar un rendimiento óptimo de la capa asfáltica en el pavimento flexible. Por lo tanto, se requiere optimizar el funcionamiento mecánico de la mezcla, y esto es viable utilizando los mismos agregados disponibles. “Solo se necesita diseñar una granulometría que maximice las propiedades de empaquetamiento y los puntos de contacto entre las partículas para mejorar la respuesta mecánica del material.” (Alamilla, 2020).

Esta investigación reviste importancia porque, al mejorar la capacidad de la mezcla asfáltica como material de construcción para pavimentos mediante el diseño de la granulometría, se lograrán resultados superiores sin incurrir en costos adicionales. Para potenciar la capacidad de la capa asfáltica, se podría considerar el uso de asfaltos modificados, imponer requisitos más rigurosos

para los agregados o incrementar el espesor de la capa, aspectos que, en general, conllevan a mayores costos.

Adicionalmente, es crucial aportar al conocimiento y análisis de los materiales de la mezcla asfáltica disponibles en la región. Esto permitirá que la ingeniería civil, en particular la ingeniería de pavimentos, responda adecuadamente con el conocimiento profesional a las necesidades de mejorar la red vial existente e impulsar nuevos proyectos de pavimentación que garanticen la durabilidad esperada. Esta investigación puede ofrecer información valiosa sobre la optimización de la granulometría para la mezcla asfáltica en caliente.

Por otro lado, “los deterioros de los pavimentos asfálticos son una problemática común en Colombia” (BARROS & GOMEZ, 2017), por lo que es crucial investigar las causas y proponer soluciones para mejorar la durabilidad de los pavimentos. La mezcla asfáltica, que constituye una capa fundamental del pavimento flexible, no escapa a estas causas, ya que su correcto diseño y construcción demandan un profundo conocimiento del material y su comportamiento, además de controles estrictos durante la construcción para garantizar el espesor adecuado, densidad, volumen de vacíos, contenido de asfalto de calidad y agregados de calidad. La investigación propuesta puede contribuir a mejorar el diseño de la mezcla asfáltica y, por ende, la durabilidad de los pavimentos.

1.4.Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Evaluar el efecto del diseño de la granulometría en los parámetros de comportamiento de nivel 1 de un concreto asfáltico de la ciudad de Pasto.

1.4.2. Objetivos específicos

- ✓ Obtener las proporciones granulométricas para la mezcla asfáltica por medio del método Bailey.
- ✓ Realizar el diseño Marshall de la mezcla asfáltica con una granulometría convencional y la granulometría obtenida por el método Bailey.

- ✓ Determinar la estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica con la granulometría diseñada a través del método Bailey y la granulometría convencional.
- ✓ Calcular la pérdida de resistencia a la compresión que se produce por la acción del agua en las mezclas asfálticas del estudio.

1.5.Marco referencial o fundamentos teóricos.

La teoría presentada en esta investigación hace referencia a conceptos de la realización de mezclas asfálticas evaluadas a través del método Marshall y Bailey.

1.6.Marco teórico.

Las mezclas asfálticas se utilizan en la construcción de carreteras, puentes, aeropuertos y otras estructuras de pavimentación. Uno de sus componentes es el asfalto es un material pegajoso y negro que se obtiene a partir de la refinación del petróleo. Tiene propiedades adhesivas que permiten que los agregados minerales se adhieran juntos y proporcionan una superficie uniforme y duradera para el tráfico (Universidad del Quindío, 2022)

El otro componente son los agregados pétreos. “Hay diferentes tipos de agregados pétreos como la gravilla, arena, piedra triturada, piedra britada” (Carrizales Apaza & José Javier, 2015), el comportamiento de estos es importante para su desempeño, factores importantes que afectan a estos en el comportamiento del pavimento son:

“Tamaño y forma de las partículas afectan la resistencia y la permeabilidad de la mezcla asfáltica. Las partículas más grandes son más resistentes a la deformación y la compactación, mientras que las partículas más pequeñas ayudan a mejorar la uniformidad de la mezcla. Así mismo en la dureza y resistencia a la deformación de la mezcla asfáltica, las partículas más duras, resistentes y densas son más adecuadas para su uso en pavimentos sometidos a un tráfico pesado.” (Garnica, Gómez, & Martínez, 2002)

“...Se evidencia que las probetas que tienen reemplazos de tamaños más grandes de material redondeado, tuvieron mayor afectación en los resultados, obteniendo los menores valores de estabilidad, afectando directamente la resistencia y el comportamiento del pavimento el cual tiende a ser propenso a ahuellamientos, y demás afectaciones asociadas...” (Acevedo, 2021).

Así mismo contenido de humedad de los agregados afecta la estabilidad de la mezcla asfáltica. Si la gravilla está demasiado húmeda, puede disminuir la resistencia de la mezcla y aumentar su permeabilidad. “se reporta que los asfaltos en presencia de agua experimentan dentro de la mezcla contracción del ligante asfáltico, lo que podría ser una de las causas que generen el fenómeno de daño por humedad.” (Rondón, H., Ruge, J., & Moreno, L., 2016).

También las arenas producidas por la trituración tienen gran influencia en la mezcla asfáltica en caliente de gradación continua:

“...Cambios considerables en el diseño de la mezcla asfáltica MDC- 19 obteniendo como resultado el rechazo de la mezcla como tal, por el no cumplimiento a los criterios preliminares de diseño estipulados en la Tabla 450-10 de la norma INVIAS, aun teniendo esta arena de impacto mejores características como agregado fino en comparación a la arena de cono...” (Uribe Martínez, 2021)

Las mezclas asfálticas son un material fundamental en la construcción, y su calidad y rendimiento dependen en gran medida de los agregados pétreos utilizados. El tamaño y la forma de las partículas, la dureza y la resistencia a la deformación, el contenido de humedad y la gradación son algunos de los factores clave que afectan la estabilidad, la permeabilidad y la durabilidad de la mezcla. Es importante considerar estos factores durante el proceso de diseño y construcción de pavimentos para garantizar la seguridad y la calidad de las infraestructuras viales. Por lo tanto, es necesario llevar a cabo estudios y pruebas rigurosas para seleccionar los agregados adecuados y diseñar mezclas asfálticas eficientes y resistentes al tráfico y las condiciones climáticas.

1.6.1. Mezcla asfáltica.

Una mezcla asfáltica está compuesta de asfalto y agregados unidos entre sí. Típicamente los agregados corresponden al 85% del volumen total de la mezcla, un 11% corresponde al asfalto y el 4% corresponde a los vacíos. Las mezclas se pueden clasificar según la cantidad de asfalto y agregados que contienen, y su uso se basa en el tipo de tráfico y las condiciones climáticas esperadas en la zona de la estructura de pavimento (Construmatica, 2012) (Luis, 2015).

1.6.2. Componentes de una mezcla de asfalto.

✓ Agregados pétreos.

Los agregados pétreos son los componentes principales de las mezclas asfálticas y están compuestos de rocas y minerales de origen natural como grava, arena, piedra triturada, piedra caliza, granito, etc. Cada tipo de agregado pétreo tiene características únicas, como su dureza, resistencia y tamaño, que los hace adecuados para diferentes aplicaciones de construcción. Su uso se basa en sus características únicas, como su durabilidad, resistencia al desgaste y capacidad para resistir el impacto y la abrasión. (Reyes & Camacho, 2008).

✓ Cemento asfáltico

El cemento asfáltico es un material utilizado en la fabricación de mezcla asfáltica para pavimentos y otros propósitos de construcción. Se fabrica a partir de la refinación de petróleo crudo y se utiliza como material de liga en la mezcla asfáltica para unir los agregados pétreos y formar un material sólido y uniforme. El tipo y la calidad del cemento asfáltico utilizado en la elaboración de una mezcla asfáltica tienen un impacto importante en su desempeño y durabilidad. Por lo tanto, es importante seleccionar cuidadosamente el cemento asfáltico adecuado para un proyecto determinado (OTAROLA, 2019)

✓ Propiedades del asfalto.

Entre los parámetros físicos del asfalto, se encuentran la consistencia, la durabilidad y la pureza, la cual determina la fluidez determinada a una determinada temperatura.

- ✓ Viscosidad absoluta: Es la resistencia que tiene un fluido a desplazarse a una temperatura máxima de 60 grados, la viscosidad del asfalto requiere aplicar vacíos para producir un flujo. (Melo, 2013)
- ✓ Viscosidad cinemática: Esta temperatura es similar a la mezcla de compactación en laboratorio 135 grados de modo que el flujo puede producirse por fuerzas gravitacionales. (Transportes, 2002)
- ✓ Penetración: se utiliza una profundidad de penetración sobre el asfalto en décimas por milímetro 1/10 mm de una aguja de dimensiones y peso especificados durante 5 segundos. (Albornoz, 2014)

- ✓ Punto de ablandamiento: Es la temperatura a la cual el asfalto se comporta como un fluido, en el laboratorio se establece una temperatura a la cual una muestra de asfalto no puede soportar el peso de una bola de acero de dimensiones específicas y empieza a fluir. (Quintina, 2015)
- ✓ Durabilidad: En los cementos asfálticos se refiere a su capacidad para resistir la degradación causada por factores externos como el clima, la oxidación, la humedad, el envejecimiento, la exposición a productos químicos y otros agentes agresivos. La durabilidad de los asfaltos es importante para determinar su vida útil y su capacidad para mantener sus propiedades físicas y mecánicas a lo largo del tiempo (Arlberto, 2015).
- ✓ Horno de lámina delgada INV-721: se introduce en una capsula una muestra de 50 gr a una temperatura de 163 grados a una velocidad de 5-6 revoluciones durante 5 horas.
- ✓ Horno giratorio de lámina delgada INV- 720: en este ensayo alcanza un envejecimiento en 75 minutos, el ligante asfáltico resultante se lo llama residuo.
- ✓ Porcentaje de penetración retenida: relación entre la penetración del residuo y la penetración del asfalto original en porcentaje, en el envejecimiento primario la penetración disminuye (asfalto más duro) el invias 450 establece un mínimo de 55,50y 46% de penetración retenida para asfaltos de penetración de 40-50, 60-70, y 80- 100 respectivamente (Villamizar, 2017).

1.6.3. Método Bailey.

El método Bailey se fundamenta en una curva de diseño que representa la relación entre la cantidad de asfalto y la resistencia de la mezcla asfáltica. La construcción de la curva de diseño se realiza a partir de ensayos de laboratorio donde se determina la cantidad óptima de asfalto para cada tipo de agregado. Una vez obtenida la curva de diseño, es posible calcular la cantidad óptima de asfalto para una mezcla asfáltica específica, utilizando la cantidad requerida de agregado y la resistencia deseada. El método Bailey constituye una herramienta valiosa para la formulación de mezclas asfálticas, permitiendo el cálculo preciso de la cantidad óptima de asfalto y agregados para una mezcla particular. Además, asegura que la mezcla posea una consistencia adecuada y las resistencias necesarias a la compresión y tracción. (Miranda, Jiménez, Enríquez , & Loma, 2012)

1.6.4. Flujo Marshall.

El flujo Marshall es una medida de la consistencia de una mezcla asfáltica. Es un indicador importante de la calidad de una mezcla asfáltica, ya que una mezcla con un flujo adecuado tiene una consistencia uniforme y es capaz de soportar las cargas y los cambios climáticos a lo largo del tiempo. Por otro lado, una mezcla con un flujo insuficiente puede resultar en la formación de grietas y fallas en la carretera, lo que puede afectar en la durabilidad y seguridad del pavimento (Luis, 2015).

1.7. Marco contextual.

La mezcla asfáltica es una de las más usadas al momento de construir y formar las grandes carreteras del país, al ser un producto compuesto por unir asfalto con material granular bajo unos criterios y normas establecidas. Esta mezcla actúa como esqueleto que aporta resistencia y rigidez a la estructura de pavimento, cuyos valores dependen de las propiedades individuales de los materiales, las condiciones ambientales y de la carga que soporta la vía (Franesqui, García, & Yepes, 2017).

Es por esto, que se presenta la necesidad de evaluar la influencia de las partículas de material granular que conforman las mezclas asfálticas, puesto que, pueden generar que se incrementen o disminuyan sus propiedades mecánicas y dinámicas, de ahí la importancia de escoger y realizar diferentes estudios a la hora de realizar la mezcla que será usada para diseñar, construir o rehabilitar una vía.

A través del tiempo se ha evidenciado que existen casos en que las características de las mezclas asfálticas, con diferente granulometría no logran resistir en conjunto las cargas ejercidas por los vehículos y la acción simultánea del clima, por lo cual se ha investigado continuamente la composición y propiedades del material granulométrico con el fin de mejorar la vida de operación de los pavimentos. (Arlberto, 2015)

En este orden de ideas, la construcción de pavimentos flexibles en Colombia se rige por las Especificaciones Generales de Construcción del Instituto Nacional de Vías, la cual indica la metodología para poder construir las capas necesarias de la estructura del pavimento, permitiendo establecer las condiciones mínimas de estabilidad, calidad y seguridad que debe tener una vía. (DONATO, 2016)

Según lo anterior, es esencial considerar diversas consideraciones técnicas para la aplicabilidad de las mezclas. Según las estadísticas proporcionadas por el departamento administrativo nacional de estadística (DANE), "en febrero de 2023, la producción de mezcla asfáltica a nivel nacional fue de 255.854 metros cúbicos" (DANE, 2023). Esto indica que mes a mes, se genera una gran cantidad de este material utilizado en la construcción. Por lo tanto, evaluar sus componentes, especialmente la granulometría, permitirá una mayor producción en el futuro con altos estándares de calidad en términos de resistencia y durabilidad.

De esta manera, al evaluar el contexto del proyecto, se llevará a cabo de acuerdo con el contenido de las Especificaciones Generales de Construcción INVIAS 2022. Por lo tanto, su aplicabilidad será para los pavimentos asfálticos en el territorio nacional.

1.8.Marco legal.

- **Resolución Número 4561 de 29 de noviembre del 2022.**

Por la cual se deroga la Resolución No. 1524 del 06 de mayo de 2022, y se adoptan las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras, como Norma Técnica para los proyectos de la Red Vial Nacional y se incluyen cuatro (4) artículos.

- **Especificaciones de construcción de carreteras.**

- ✓ **Artículo 450-22 Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua.**

Los requisitos que se exigen en esta selección son de tipo prescriptivo, para evaluar la calidad de los materiales que componen la mezcla asfáltica. En caso de no cumplirse alguno de ellos, la aceptación o rechazo respectivos deben ser evaluados según las premisas de desempeño indicadas en el diseño, y según sean las condiciones de las fuentes locales.

- ✓ **Agregados pétreos y llenante mineral.**

La normativa técnica aplicada en el proyecto, se encuentra en las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) de Colombia.

Se llevará a cabo con el artículo de la especificación INVIAS 2013 aplicada en el proyecto a evaluar. Siendo este el 450: Mezcla Asfáltica de Gradación Continua (Concreto Asfáltico).

1.9. Metodología.

La presente sección da a conocer los procedimientos requeridos para la investigación presentada a medida que se tiene en cuenta el alcance de los objetivos propuestos y como estos se llevan a cabo de manera pertinente y eficaz.

- **Descripción de la investigación.**

La investigación se centra en evaluar el empleo de la metodología Bailey para la elaboración de mezclas asfálticas. Siguiendo el procedimiento de experimentación, preparando mezclas con la metodología convencional y Bailey determinando su influencia en el comportamiento de la mezcla del mismo tamaño máximo nominal.

Se realizó la caracterización de los materiales para la elaboración de las mezclas asfálticas para lo cual se elaboraron una serie de ensayos, siguiendo procedimientos experimentales bajo los parámetros óptimos, en este caso el asfalto es un compuesto que se adhiere a partículas de agregados pétreos para formar mezclas asfálticas. En este proyecto no se lograron controlar variables como la humedad del ambiente tanto para la manipulación de los agregados como igual para el asfalto.

- **Enfoque de investigación.**

La propuesta de investigación adoptará un enfoque cuantitativo, ya que se emplean datos cuantificables para asociar variables. Se centró en la obtención de resultados numéricos de las características del proceso gracias a la aplicabilidad de ensayos requeridos y especificados. La propuesta se presenta con una modalidad de campo, ya que el estudio se llevará a cabo mediante experimentación en laboratorio utilizando equipos y herramientas específicas.

Se realizó la caracterización del material, en este caso, fueron seleccionados los agregados pétreos de la cantera de la empresa Panavías y Asfacon de Pasto, a la cual, se le practicó una serie de ensayos como índice de plasticidad, índice de aplanamiento y alargamiento, equivalente de arena, máquina de Los Ángeles, densidad de finos, densidad de gruesos, punto de ablandamiento del asfalto y contenido de agua, los cuales se realizaron bajo el procedimiento de cada norma como se expone en la siguiente tabla.

Tabla 1. Ensayos para la obtención de proporciones granulométricas.

ACTIVIDAD	NORMA DE ENSAYO	DESCRIPCION
Desgaste Maquina de los ángeles	I.N.V.E- 218-13	El ensayo evalúa la calidad de los agregados pétreos, pero solo es válido para comparar fuentes similares. Al establecer límites de especificaciones, se debe tener precaución y considerar el historial de los agregados en diversas aplicaciones.
Impurezas en agregado grueso	I.N.V.E- 237-13	Consiste en separar por lavado, mediante un tamiz de referencia, las partículas menores de 0.5 mm
Índice de Plasticidad	I.N.V.E - 125-13	La determinación del límite líquido es crucial en la clasificación de suelos y ayuda a caracterizar su fracción fina. Se utiliza junto con el límite plástico y el índice de plasticidad para correlacionar propiedades del suelo, como compresibilidad, permeabilidad, compactibilidad y resistencia al corte. Además, estos límites se emplean para calcular la consistencia relativa del suelo y su actividad fina.
Equivalente de arena	I.N.V.E- 133	Este ensayo tiene por objeto determinar, bajo condiciones normalizadas, las proporciones relativas de polvo y material de apariencia arcillosa o finos plásticos presentes en suelos o agregados finos de tamaño inferior a 4.75 mm.
Índices de alargamiento y aplanamiento	I.N.V.E- 230-13	Determina el índice de aplanamiento no es aplicable a los tamaños de partículas menores de 6.3 mm (¼") o mayores de 63 mm (2 ½");
Caras fracturadas	I.N.V.E - 227-13	Contienen requisitos relacionados con un porcentaje de partículas fracturadas en los agregados gruesos

Ahora bien, teniendo en cuenta la caracterización de cada uno de los agregados suministrados por las canteras Panavías y Asfacon, se elaboró la mezcla MDC-19 para el desarrollo del proyecto. De esta manera, se dio inicio al diseño de gradación combinada a través del método volumétrico de Bailey, teniendo en cuenta los tamaños máximos (MS) y la masa unitaria elegida (CUW) como un tipo de variable, obteniendo como resultado $MS = 19.00$ mm y un CUW del 100%.

Con base a las gradaciones que se establecieron en la prueba, se procedió a realizar el diseño Marshall dentro del ensayo de mezclas, teniendo en cuenta que el asfalto es de penetración 80-100. Por otro lado, se considera el óptimo asfalto para el promedio de vacíos con aire que se encuentra como (Va: 6.2 y 6.3%).

Luego se realizó un análisis exhaustivo de la información utilizando todos los ensayos disponibles, así pues, fue posible establecer las relaciones entre CUW y MS con las franjas granulométricas especificadas, así como también la resistencia, el flujo Marshall y los parámetros volumétricos.

Para la gradación que se ejecutó se analiza con base a los criterios de puntos de control establecidos en la franja restringida y línea de máxima densidad, comparando así, el criterio de empaquetamiento con los métodos tradicionales.

Para la mezcla, se analiza la relación entre el empaquetamiento, la estabilidad y el flujo Marshall.

Dicho diseño opta por cumplir lo establecido por el procedimiento volumétrico Bailey como al valor medio de los parámetros establecidos del *Transportation Research Board* (TRB), en donde al realizar la comparación de la franja establecida por INVIAS para la un MS de 19 mm con dicha gradación de prueba, es correcto afirmar que cumple con los criterios de Bailey y concuerda con las especificaciones colombianas.

- **Diseño Marshall.**

Después de la obtención de la granulometría convencional y la granulometría obtenida por el método Bailey, se procedió a la realización del diseño Marshall de la mezcla asfáltica, con el objetivo de obtener el contenido óptimo de asfalto con una variación de 0.5%, partiendo de 5% hasta 6.5% consiguiendo 4 puntos.

- **Preparación de muestras.**

Se prepararon tres muestras de la mezcla de concreto asfáltico para evaluar para verificar que nos arrojen valores similares entre las tres. Las muestras se fabricaron con una masa de aproximadamente 1200 gramos y se compactaron en moldes cilíndricos de acero de 10 cm de diámetro y 6.5 cm de altura.

- **Calentamiento.**

Se procedió a calentar las muestras hasta lograr una temperatura donde se alcance la viscosidad deseada de 170 cP que facilita la adherencia de las partículas de la mezcla según Norma INVIAS. (Invias, 2022).

- **Compactación.**

Se compactó cada muestra en una prensa Marshall a una tasa de 50 golpes por cada cara de la muestra. Cada golpe se aplicó con un martillo de 2.5 kg con una altura de caída de 45.7 cm.

En la tabla siguiente se presentan los ensayos realizados para el diseño Marshall.

Tabla 2. Ensayos realizados para diseño Marshall.

ACTIVIDAD	NORMA DE ENSAYO	DESCRIPCION
Caracterización del asfalto	INV E-717-13	Determina su capacidad para resistir los efectos perjudiciales del aire, agua, temperatura y tránsito
Penetración de los materiales bituminosos	INV E-706-13	Se mide la penetración de los materiales bituminosos derritiendo una muestra del producto bituminoso
Punto de ablandamiento	INV E-712-13	Se determina el punto de ablandamiento de materiales bituminosos con dos discos horizontales de material bituminoso

ACTIVIDAD	NORMA DE ENSAYO	DESCRIPCION
Penetración de los cementos asfálticos	INV E-724-13	Se determina el índice de penetración de los cementos asfálticos
Solubilidad de materiales asfálticos en Tricloroetileno	INV E-713-13	Se determina la solubilidad de materiales asfálticos en Tricloroetileno donde La muestra se disuelve en tricloroetileno y se pasa a través de una almohadilla de fibra de vidrio
Contenido de agua en los materiales bituminosos	INV E-704-13	También se necesita determinar el contenido de agua en los materiales bituminosos por destilación
Contenido de parafinas	INV E-718-13	Además, se determina el contenido de parafinas en ligantes asfálticos después de la extracción de los asfáltenos
Punto de inflamación y combustión	INV E-709-13	se conoce los puntos de inflamación y combustión mediante la copa abierta Cleveland

- **Estabilidad y Flujo de la Mezcla Asfáltica.**

Ahora bien, se procedió a determinar la estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica con la granulometría diseñada a través del método Bailey y la granulometría convencional, para ello, se realizó lo siguiente:

- ✓ **Determinación de la densidad.**

Para iniciar, se determinó la densidad de cada muestra después de la compactación, utilizando una balanza y un recipiente graduado con agua.

- ✓ **Medición de la estabilidad y el flujo: porcentaje óptimo.**

Se procedió a medir la estabilidad y el flujo de cada muestra utilizando la prensa Marshall.

La estabilidad se midió aplicando una carga vertical a la muestra y registrando la carga máxima que puede soportar antes de fallar. Por otro lado, el flujo se mide midiendo la deformación vertical de la muestra en milímetros durante la aplicación de la carga.

✓ **Medición de la densidad máxima teórica y el contenido de asfalto óptimo.**

Se continuo con la medición de la densidad máxima teórica de la mezcla asfáltica siguiendo el procedimiento descrito en la norma INV-735-13, utilizando los datos obtenidos en el diseño Marshall se determinó el contenido óptimo de asfalto, realizando un análisis volumétrico de las mezclas granulométricas propuestas en la investigación según lo descrito en la norma INV-799.

✓ **Susceptibilidad al Agua de las Mezclas.**

Se evaluó el posible daño por humedad preparando muestras compactadas en laboratorio.

Estas muestras se dividen en dos grupos: uno se mantiene seco y el otro se satura con agua. Después, se pruebo la resistencia de cada grupo. Para evaluar el daño por humedad se utilizan muestras con el mismo contenido de aire que en la mezcla final, dividiéndolas en grupos húmedos y secos, y evaluándolas de la misma manera, siguiendo el procedimiento de la norma INV-725.

Tabla 3. Ensayos realizados para determinar la estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica.

ACTIVIDAD	NORMA DE ENSAYO	DESCRIPCIÓN
Estabilidad y flujo	INV E-748-13	Este método de ensayo evalúa mezclas de concreto asfáltico y ayuda a determinar el daño potencial por humedad y la eficacia de los aditivos mejoradores de adherencia. También se utiliza para encontrar la cantidad óptima de aditivo y evaluar mezclas producidas en planta en condiciones reales de servicio.

ACTIVIDAD	NORMA DE ENSAYO	DESCRIPCIÓN
Acción del agua en las mezclas asfálticas	I.N.V E 725-13	Este método de ensayo evalúa la susceptibilidad a la humedad de las mezclas asfálticas compactadas a tracción indirecta.

1.9.1. Metodología de cálculo.

Como se ha mencionado previamente, el fundamento básico del método Bailey radica en alcanzar una granulometría en la cual los espacios entre los agregados gruesos sean llenados por los agregados grueso-finos, los vacíos entre los gruesos sean ocupados por los finos-gruesos, y así sucesivamente. (miranda, rubio, jimenez, enriquez, & loma, 2012)

A continuación, se describe el procedimiento de cálculo de las proporciones de los agregados individuales en la gradación combinada:

- ✓ **Paso 1 = Peso unitario elegido del agregado i**

$$LUW = LUWi * \frac{CUW}{100}$$

- ✓ **Paso 2 = Contribucion en el peso del Agregado grueso i**

$$CAiWc = CUWi * \frac{CAi}{100}$$

- ✓ **Paso 3 = Vacios en el agregado grueso i**

$$VCAi = CAi * \left(1 - \left(\frac{CUWi}{(100 * Gsbi)}\right)\right)$$

- ✓ **Paso 4 = Vacios totales en el agregado grueso**

$$VCAt = \sum VCAi$$

- ✓ **Paso 5 = Contribucion en el peso del agregado fino i**

$$FAiWc = RUWi * \left(\frac{FAi}{100}\right) * \left(\frac{VCAT}{100}\right)$$

- ✓ **Paso 6 = Peso unitario total**

$$TUW = \sum CAiWc + \sum FAiWc$$

✓ **Paso 7 =**

Contribucion del agregado grueso i como porcentaje de la mezcla

$$CAiBin = 100 * \frac{CAiWc}{TUW}$$

✓ **Paso 8 = Contribucion inicial total del agregado grueso**

$$CAtBin = \sum CAiBin$$

✓ **Paso 9 =**

Contribucion inicial del agregado fino i como porcentaje de mezcla

$$FAiBin = 100 * \frac{FAiWc}{TUW}$$

✓ **Paso 10 = Contribucion inicial del agregado fino**

$$FAtBin = \sum FAiBin$$

✓ **Paso 11 = Porcentaje de agregado fino en el agregado grueso i**

$$FAinCAi = CAiBin * \frac{PCSi}{100}$$

✓ **Paso 12 = Porcentaje total de agregado fino en el agregado grueso**

$$FAinCAt = \sum FAinCAi$$

✓ **Paso 13 = Porcentaje de agregado grueso en el agregado fino i**

$$CAinFAi = FAiBin * \frac{(100 - PCSi)}{100}$$

✓ **Paso 14 = Porcentaje total de agregado grueso en el agregado fino i**

$$CAinFAt = \sum CAinFAi$$

✓ **Paso 15 =**

Contribucion final del agregado grueso i como porcentaje de la mezcla

$$CAiBF = CAiBin + FAinCAi - (CAiBin * \frac{CAinFAt}{CAtBin})$$

✓ **Paso 16 =**

Contribucion ajustada del agregado fino i como porcentaje de la mezcla

$$FAiBaj = FAiBin + CAinFAi - (FAiBin * \frac{FAinCAi}{FAiBin})$$

✓ **Paso17 = Porcentaje de llenante mineral en el agregado grueso i**

$$MFinCAi = CAiBf * \frac{p200}{100}$$

✓ **Paso 19 = Porcentaje total de llenante mineral**

$$MFt = \sum MFinCAi + \sum MFinFAi$$

✓ **Paso20 =**

Contribucion final de la llenante mineral como porcentaje de la mezcla

$$MFBF = \frac{(Polvo - MFt)}{\frac{(P200MF)}{100}}$$

✓ **Paso 21 =**

Contribucion final del agregado fino i como porcentaje de la mezcla

$$FAiBf = FAiBaj - (FAiBaj * \frac{MFBF}{\sum FAiBaj})$$

Procedimientos realizados.

- granulometría de los agregados.

Ilustración 1. Obtención de filler.



Ilustración 2. Muestra de los agregados.



- Diseño Marshall de la mezcla asfáltica con una granulometría convencional y la granulometría obtenida por el método Bailey.

Ilustración 3. Muestra de asfalto.



Ilustración 4. Briquetas de acuerdo a cada diseño



- Resistencia a la compresión que se produce por la acción del agua.

Ilustración 5. Baño maría.



Ilustración 6. Falla de los especímenes.



2. Resultados

2.1. Proporciones granulométricas.

Se llevó a cabo la determinación de las proporciones granulométricas para la mezcla asfáltica mediante la evaluación de diversas características de los agregados pétreos.

Entre estas características se incluyó el desgaste por abrasión, las pérdidas en ensayos de solidez en sulfatos, las impurezas en el agregado grueso, el índice de plasticidad, el equivalente de arena, el índice de alargamiento y aplanamiento, y las caras fracturadas de la fracción gruesa.

Estas mediciones permiten clasificar el agregado dentro de los rangos y valores mínimos y máximos establecidos en las especificaciones técnicas de construcción del Instituto Nacional de Vías.

2.1.1. Impurezas En Agregado Grueso.

Fue importante determinar las impurezas como partículas finas presentes en el agregado grueso, ya que esto, puede ser perjudicial para la elaboración de carpetas asfálticas en pavimento flexible, debido a la alteración de la calidad y sus propiedades como la reducción de su resistencia, durabilidad y daño a la apariencia externa del mismo según (INVIAS, 2013).

$$I = Mse - m$$

$$\text{Coeficiente de limpieza superficial} = \frac{I}{Mse} * 100$$

Después, se realizó el secado de la muestra hasta una masa constante durante 24 horas, por consiguiente, la humedad de la muestra no se toma en cuenta ya que esta fue de 0% en el total de la muestra. Se realizó 3 mediciones de impurezas donde se puede evidenciar lo siguiente:

Tabla 4. Impurezas en agregado grueso.

Masa seca (g)	Masa seca lavada (g)	I (g)	Coeficiente de limpieza (%)
2749	2641	108	3,93
2730	2621	109	3,99

2750	2635	115	4,18
------	------	-----	------

2.1.2. Índice de Plasticidad y Límite Líquido.

Fue crucial la obtención del índice plástico con la toma de muestra de 20 g para la realización del ensayo INVIAS, reduciendo o agregando el contenido de agua hasta lograr una consistencia que permita lograr enrollar la muestra sin que se pegue en las manos.

Por el contrario, si no se logra lo anterior, se puede definir que se trata de un material no plástico según la clasificación INVIAS y a la par definir el límite líquido en el cual su ensayo va de la mano con el anterior, dando como resultado no plástico y sin límite líquido.

2.1.3. Índice de aplanamiento y alargamiento.

Fue esencial emplear el índice de aplanamiento y alargamiento para comprender la forma de los agregados destinados a la construcción de carreteras, siguiendo el procedimiento de ensayo establecido por INVIAS.

En primer lugar, se realizó un cuarteo de la muestra, considerando el tamaño máximo nominal y excluyendo las partículas que pasan el tamiz #1/4. Luego, la muestra se somete a un horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$. Posteriormente, se utilizó un tamiz de barras para llevar a cabo el índice de aplanamiento, pasando cada partícula del agregado a través del tamiz. Del mismo modo, se utilizó un calibrador de alargamiento para determinar el índice de alargamiento, evaluando partícula por partícula.

Tabla 5. Índices de alargamiento.

Alargamiento				
# Tamiz	Masa tota(g)	Pasa(g)	No pasa(g)	 A
3/8	78	69	9	88,5
4	496	352	143	71,0

Tabla 6. Índices de aplanamiento.

Aplanamiento				
# Tamiz	Masa total (g)	Pasa (g)	No pasa (g)	I
3/8	78	13	69	16,7
1/4	496	99	396	20,0

2.1.4. Caras fracturadas en agregado grueso.

Fue de gran importancia realizar el ensayo de caras fracturadas en agregados gruesos, para ello, es necesario tener en cuenta las diferentes especificaciones establecidas en cuanto al número de caras fracturadas requeridas en una partícula.

Así pues, se retiró una muestra del material a utilizar para determinar la cantidad de caras fracturadas en cada partícula de la misma, teniendo como resultado el 100% de caras fracturadas, cabe aclarar que el material utilizado es de una cantera y en su mayoría siempre se obtendrá el 100% de caras fracturadas.

Tabla 7 Caras Fracturadas.

RESULTADO CARAS FRACTURADAS			
TAMAÑO MUESTRA (GR)	% DE CARAS FRACTURADAS (%)	F (GR)	N(GR)
1500	100%	1500	0
F	Masa o número de partículas fracturadas con, al menos, el número de caras fracturadas especificado;		
N	Masa o número de partículas en la categoría de no fracturadas que no cumplen el criterio de partículas fracturadas.		

2.1.5. *Equivalente de arena.*

Para el ensayo de equivalente de arena se toma diferentes muestras, en este caso fueron 5 muestras, cada una con su lectura de arena y lectura de arcilla, para luego obtener el equivalente de arena con la fórmula establecida en norma.

Esta es una prueba determinante para saber si es posible usar un material en un pavimento, se caracteriza por ser un ensayo sencillo y que no representa mayor problema en cuanto a equipo, ya que inclusive se puede realizar en campo, puesto que, no requiere de máquinas o accesorios muy complicados. Únicamente se requiere de equipo o herramienta menor, y se puede realizar en menos de una hora.

Tabla 8 Equivalencia de arenas.

Probetas	lectura de arenas	lectura de arcillas	EA
1	91	137	66,4
2	95	129	73,6
3	84	118	71,2
4	83	118	70,3

Probetas	lectura de arenas	lectura de arcillas	EA
5	91	138	65,9

2.1.6. Máquina de Los Ángeles.

Este método de ensayo se utilizó para determinar la resistencia de los agregados al desgaste utilizando la máquina de los ángeles, el método de uso en este caso fue el C con 8 esferas de metal.

Para ello, se realizaron dos tomas una parte de 100 vueltas y la próxima de 500 vueltas siendo el porcentaje de desgaste igual a la diferencia entre el peso original y el peso final de la muestra ensayada, expresado en tanto por ciento del peso original.

Tabla 9 Maquina de los ángeles.

Pasa	Retenido	Peso	A	B	C	D
		retenido				
1 1/2"	1"	0	0			
1"	3/4"	0	0			
3/4"	1/2"	4	4	4		
1/2"	3/8"	331	331	331		
3/8"	1/4"	1748			1748	
1/4"	#4	1022			1022	
#4	#8	1874				1874
totales			335	335	2770	1874

2.1.7. Densidad de finos.

El resultado de laboratorio arrojó que la densidad del agregado en los 3 casos de muestra, la densidad del agregado fino es menor que el agregado grueso debido a la relación entre masas de los dos agregados.

El agregado fino es proporcionalmente más pequeño el agregado grueso esto definirá la calidad del agregado para la creación en pavimento asfáltico y teniendo en cuenta la absorción de materiales de finos.

Tabla 10 Densidad de finos.

Muestra	Masa seca al horno (A)	Masa picnómetro	Masa picnómetro aforado lleno de agua	Masa picnómetro con muestra		
1	4486	1172.32	6671	9983		
2	4488	1174.44	6673	9986		
3	4489	1167.31	6667	9980		

Masa SSS	Gravedad específica	Gravedad específica aparente	Densidad SSS (kg/m ³)	Densidad aparente (kg/m ³)	Absorción %
5500	2,66	2,79	2651,60	2786,12	2,88
5500	2,61	2,79	2665,78	2781,60	2,46
5500	2,61	2,78	2665,78	2771,46	2,25

2.1.8. Densidad de gruesos

La densidad determinada en el ensayo de laboratorio siguiendo la norma 223 del instituto nacional de vías se asemeja a una roca ígnea, lo cual, concuerda con la fuente de la muestra de estudio, la muestra obtuvo una gravedad específica de 3.45, lo cual, se asemeja a una densidad de una peridotita un tipo de roca ígnea según (CAÑAS) con una gravedad específica de 3.31.

Tabla 11 Densidad de gruesos.

Masa sumergida	Masa seca al horno (A)	Masa SSS	Densidad relativa (gravedad específica)	Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	Densidad SSS (kg/m³)	Densidad aparente (kg/m³)	Absorción
3198	5114	5142	2,63	2,67	2624,08	2662,43	0,55
3207	5113	5143	2,64	2,68	2634,41	2675,87	0,59
3214	5115	5144	2,65	2,69	2643,63	2683,96	0,57

2.2. Asfalto.

2.2.1. Punto de ablandamiento.

Para el montaje de la máquina, fue necesario calentar la muestra del material bituminoso que en este caso es el asfalto de tipo MDC-19, de esta manera, es posible posicionarla en los anillos.

Una vez colocado el material, se enfría el agua destilada, así como también todos materiales que se usaron en el desarrollo del ensayo se llevaron a una temperatura controlada de 5°C.

En este sentido, se da inicio al ensayo con una temperatura en la placa de 30°C, aumentando la temperatura progresivamente durante 38 minutos exactos hasta que rompió la primera esfera a una temperatura de 39°C, dando un tiempo de espera de un minuto. Al cumplirse el tiempo, se rompe la segunda esfera a una temperatura de 41°C en un tiempo de 39 minutos.

Se realizó un promedio de ambas temperaturas, obteniendo una temperatura promedio de 40°C, observando que no se tiene una variación mayor al 1.2°C según lo establecido en la normativa.

Con lo anterior, es posible determinar que se trata de un material blando, por consiguiente, se genera los criterios para determinar la aceptabilidad de los resultados, debido a la naturaleza de la ejecución del ensayo se mide la precisión del operador, establecido que no puede diferir el dato en más de 1.2°C, aceptando los resultados debido a su inferioridad.

Este valor es importante para determinar la idoneidad del material en aplicaciones de pavimentación y construcción, ya que indica cómo se comportará el material a altas temperaturas en el campo.

2.2.2. Contenido de agua.

La cantidad de agua en el asfalto es crucial para asegurar que las carreteras y pavimentos sean de buena calidad, fuertes y duren mucho tiempo. Es importante tener la cantidad justa de agua en la mezcla de asfalto para que funcione correctamente y para que las carreteras duren mucho tiempo.

En este orden de ideas, se puede decir que el asfalto utilizado es de buena calidad ya que el contenido obtenido de agua es cero.

2.3. Granulometría.

2.3.1. Empaquetamiento.

Para contrastar el empaquetamiento de la granulometría propuesta en la investigación y evaluar su influencia en la estabilidad y flujo Marshall, se comparó la granulometría convencional con la obtenida del método Bailey en la media de los rangos de referencia del método de las distintas relaciones como se muestra en la tabla expuesta a continuación:

Tabla 12 Rangos de referencia Bailey.

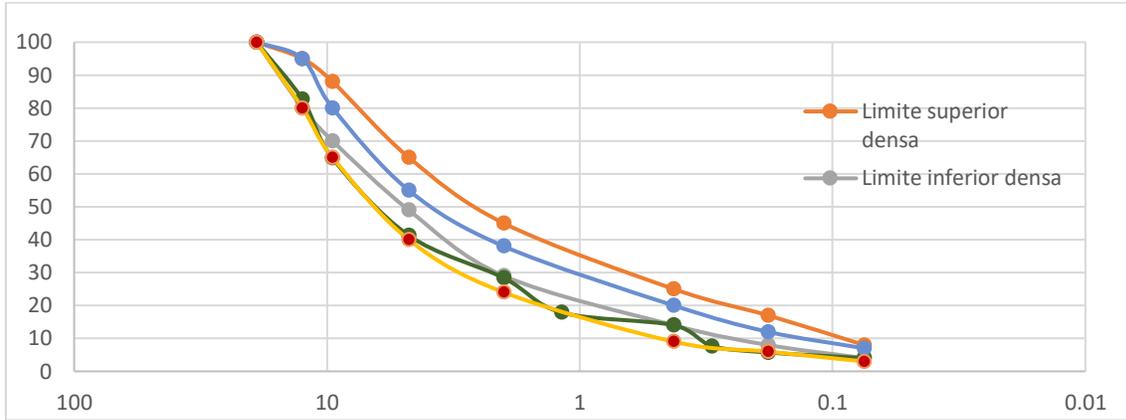
	TMN (mm)					
	37.5	25	19	12.5	9.5	4.75
CA	0.80-0.95	0.70-0.85	0.60-0.75	0.50-0.65	0.40-0.55	0.0-0.45
FAc	0.35-0.50	0.35-0.50	0.35-0.50	0.35-0.50	0.35-0.50	0.35-0.50
FAf	0.35-0.50	0.35-0.50	0.35-0.50	0.35-0.50	0.35-0.50	0.35-0.50

(Vavrik, W., Hirsch, T., & Bush, AJ, 2001)

Al mismo tiempo la gradación del método Bailey se distancia del rango establecido en las especificaciones técnicas de construcción del Instituto Nacional de Vías (INVIAS), para mezclas asfálticas en caliente de gradación continua densa de tamaño máximo de 19 mm y se obtiene la gradación en la franja de las semidensas del mismo, como se muestra en la siguiente gráfica:

Figura 1.

Granulometría Bailey.



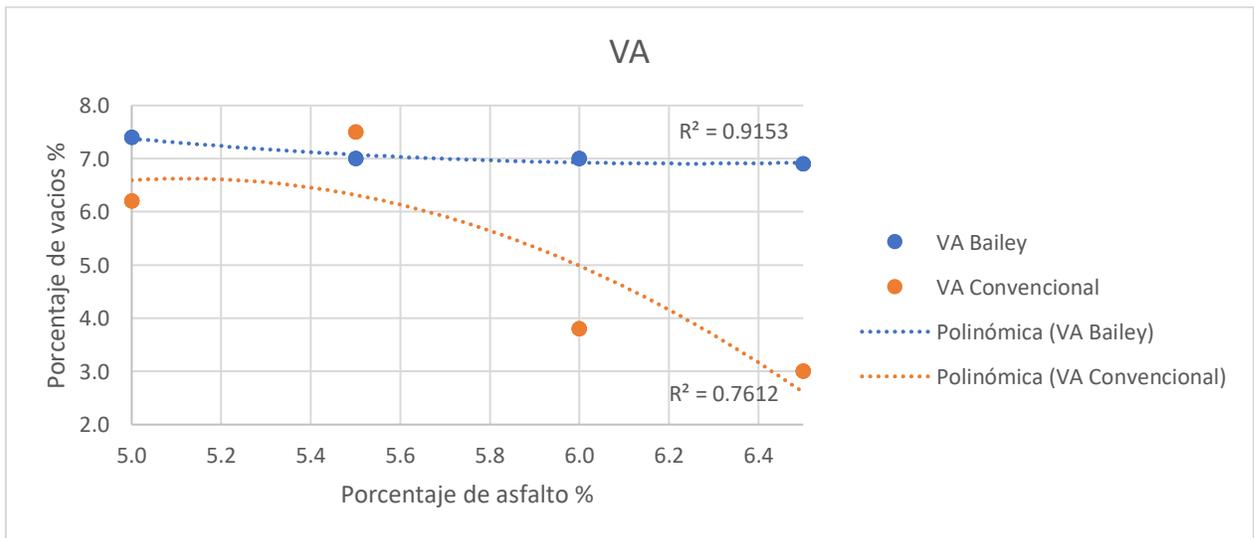
2.4. Mezcla Asfáltica.

2.4.1. Elaboración briquetas y determinación de flujo.

Al realizar el diseño Marshall de la mezcla asfáltica con una granulometría convencional y la granulometría obtenida por el método Bailey se observa que varía con respecto a la metodología convencional como se muestra en las gráficas a continuación

Figura 2.

Volumen de Vacíos Gradación Convencional y Volumen de Vacíos Gradación Bailey.

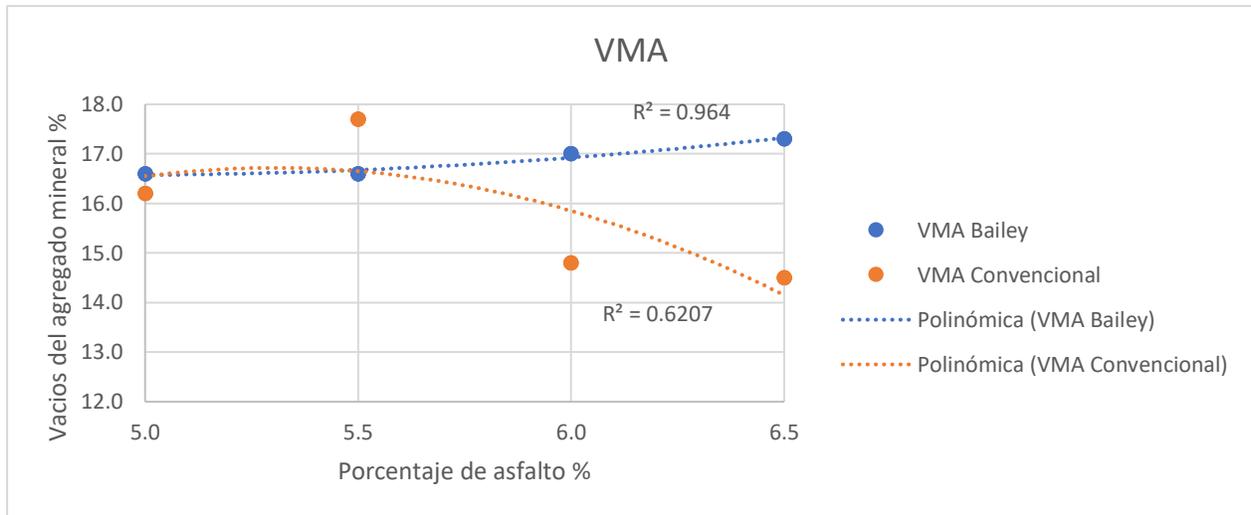


Se puede observar que el volumen de vacíos de la metodología Bailey aumenta con respecto a los resultados de la granulometría convencional con un contenido óptimo de asfalto de 6.2% y la metodología Bailey con 6.3%, con una diferencia de 0.1% en el contenido de asfalto óptimo, este contenido de asfalto óptimo se obtuvo por medio del método del instituto de asfalto de estados unidos MS-2. La mezcla Bailey presenta un volumen de vacíos de 6.9%, que es mayor al presentado con la mezcla convencional que fue de un 4%, existiendo una diferencia de 2.9% en el volumen de vacíos.

Ahora bien, se realizó una comparación del comportamiento del volumen de vacíos en el agregado mineral en los mismos porcentajes de asfalto buscando así evaluar las mezclas en condiciones similares como se puede evidenciar en las siguientes gráficas.

Figura 3.

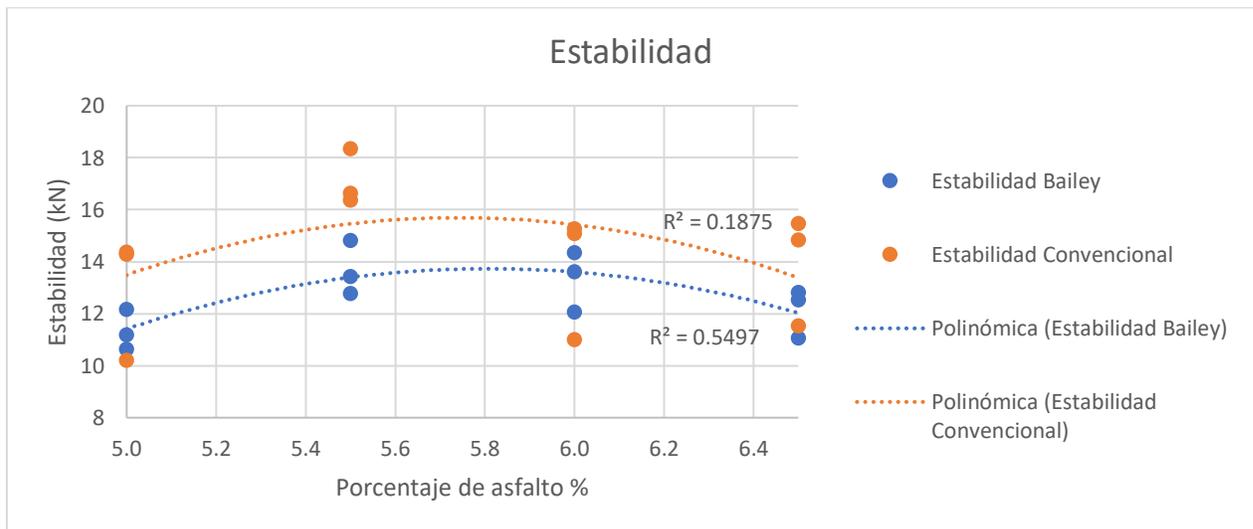
Vacíos en el Agregado Mineral gradación Convencional y Vacíos en el Agregado Mineral Gradación Bailey.



Según los resultados el volumen de vacíos en el agregado mineral en la metodología Bailey presenta un incremento de 15.3% a 17.1% con respecto a la metodología convencional, se puede vislumbrar que no se presenta una gran variación entre los 2 porcentajes y cabe recalcar que cumplen con los parámetros de especificaciones técnicas de construcción.

Figura 4.

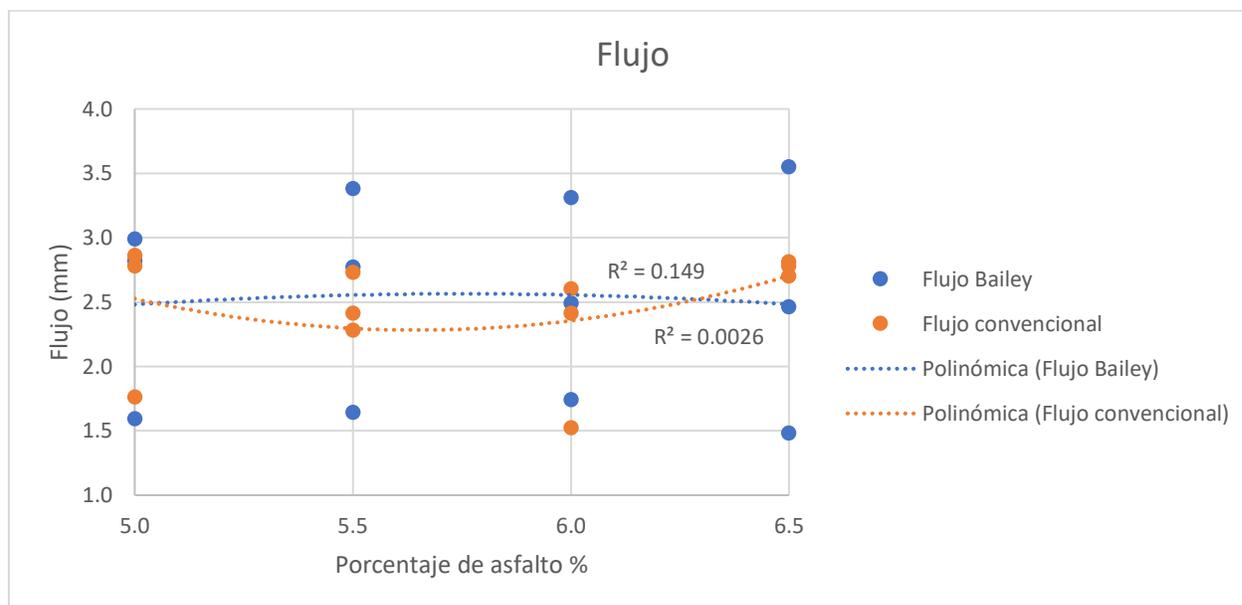
Estabilidad gradación Convencional y Estabilidad Gradación Bailey.



Se observa que su estabilidad en la metodología de diseño Bailey y la metodología convencional en la medición de su estabilidad se conservan dentro de los parámetros de flujo de la Art. 450 en condiciones normales no obstante la metodología convencional tiene una mayor estabilidad en contraste a la metodología Bailey obteniendo 15 kN y 13 kN respectivamente.

Figura 5.

Flujo Gradación Convencional y Flujo Gradación Bailey.

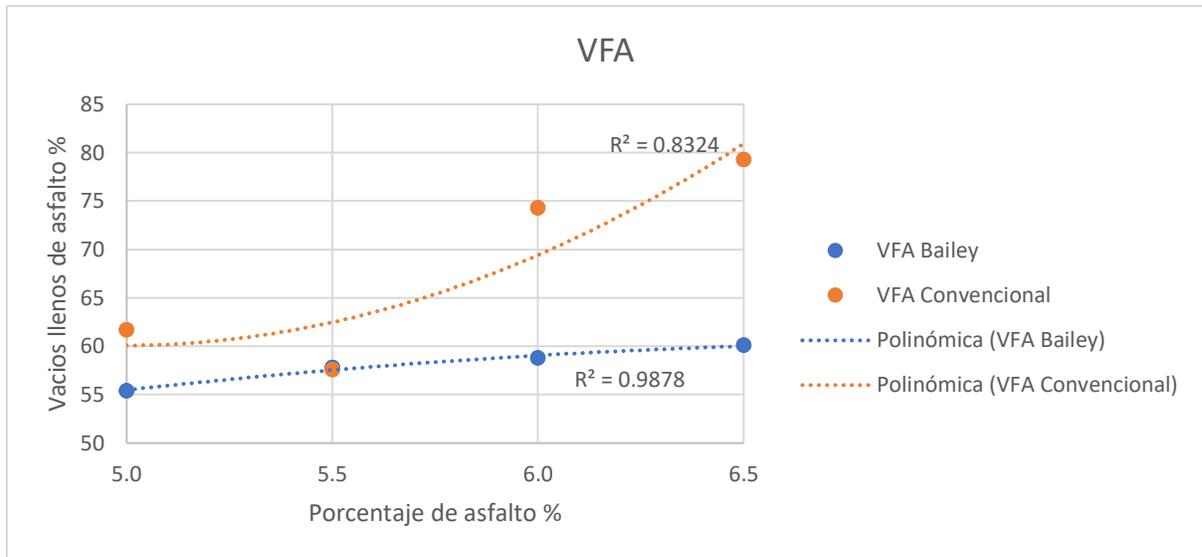


Con respecto al flujo de ambas mezclas no se notó diferencia, esto indica que el método Bailey no influyó en el flujo con respecto al convencional presentando un flujo de 2.5 mm de igual forma se puede establecer que el resultado obtenido es menor que la media del rango establecido en el capítulo 4 de las especificaciones técnicas de construcción de instituto nacional de vías (Universidad Nacional de Colombia & Universidad del Quindío & Instituto Nacional de Vías, 2022) esto puede sugerir que puede ser más susceptible a experimentar agrietamientos prematuros debido a la posible fragilidad de la mezcla durante la vida del pavimento.

En relación a los vacíos llenos de asfalto (VFA) la metodología Bailey tuvo un porcentaje de 60 % esto se debe a que al haber más vacíos se dificulta llenar los mismos con asfalto, por lo contrario, en el método convencional se obtuvo un volumen de vacíos menor, por consiguiente, el VFA es mayor ya que no hay muchos vacíos disponibles para llenar, se obtuvo 73% en el método convencional.

Figura 6.

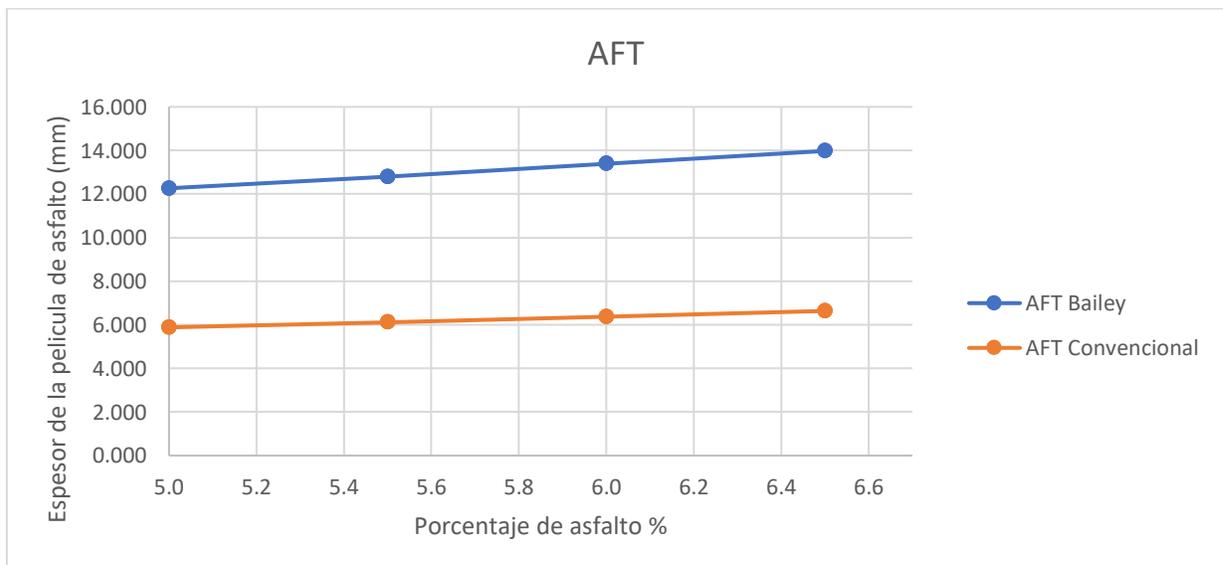
Vacíos Llenos de Asfalto Gradación Convencional y Vacíos Llenos de Asfalto Gradación Bailey.



Por último, el espesor de la película aparente de asfalto (AFT) obtenido con el método Bailey y el convencional fue de 13.7 y 6.47 μm respectivamente. Se pudo evidenciar que la película aparente de asfalto con Bailey es representativamente mayor en comparación a la convencional, además que esta última no cumple este parámetro mínimo de las especificaciones ya que una película delgada genera que la mezcla asfáltica sea más propensa a ser quebradiza.

Figura 7.

AFT gradación convencional y AFT Gradación Bailey.



2.4.2. Susceptibilidad al Agua.

Al evaluar la susceptibilidad de las dos gradaciones, se encontró que la mezcla convencional es menos susceptible al agua, ya que presenta menos vacíos, por consiguiente, la mezcla se vuelve un poco menos permeable lo que hace más resistente al efecto del agua, por lo contrario, la gradación Bailey permite el ingreso del agua lo cual hace más vulnerable al agua. Pero en contraposición al pensamiento intuitivo no hay una diferencia significativa en la resistencia retenida entre las mezclas siendo esta de un 2%, sacando una promedio de los especímenes del método Bailey y convencional, dando como resultado 80.3 método Bailey y 82.1 método convencional, logrando con esto cumplir los requisitos del Art 450 “La resistencia del grupo curado en húmedo deberá ser, cuando menos, ochenta por ciento (80 %) de la resistencia del grupo curado en seco, para que se considere que la mezcla es resistente a la humedad” (Universidad del Quindío, 2022).

Tabla 13 Susceptibilidad del agua.

	Resistencia a la tensión indirecta (kPa)			Resistencia retenida	
	Especímen	Bailey	Convencional	Bailey	Convencional
Húmedo	1	805	801	82.6	82.4
	2	797	798	77.0	81.7
	3	830	800	81.2	82.3
Seco	1	975	972	80.3	82.1
	2	1035	977		
	3	1022	972		

3. Conclusiones

La granulometría Bailey se desvió significativamente de los rangos MDC-19 especificados en la normativa INVIAS, principalmente en el límite inferior, siendo clasificada como una mezcla semidensa, específicamente en la categoría MSC-19, alejándose de la línea media de máxima densidad, pero produciendo una mezcla más adecuada mejorando los contactos entre las partículas, reduciendo la cantidad de agregado en la mezcla un 2%.

Se obtuvo el volumen de vacíos, consiguiendo en este caso una variación de los dos resultados, en el método Bailey mayor volumen de vacíos incrementando un 2.9% con respecto al método convencional, esto indica que la mezcla es más susceptible a envejecimientos prematuros por el efecto del agua o aire, al igual que los vacíos en los agregados minerales con un incremento de 15.3% a 17.1% con respecto a la metodología convencional. Esto determina el espesor de la película de asfalto que en el método Bailey es mayor con una diferencia de 7.6 μ m esto implica una mayor resistencia a la oxidación y de la resistencia a la tracción de la mezcla.

La metodología convencional tiene una mayor estabilidad en contraste a la metodología Bailey, obteniendo 15 kN y 13 kN respectivamente, El problema de tener menor estabilidad es que puede resultar en una mezcla menos resistente a las cargas y al tráfico, lo que podría disminuir la durabilidad del pavimento y aumentar la necesidad de mantenimiento, aunque para afirmar esto se debe complementar el estudio con ensayos de ahuellamiento y en el caso de flujo no se notó diferencia, indicando que el método Bailey no influyó en esta propiedad.

La evaluación de la susceptibilidad al agua entre una mezcla convencional y la gradación Bailey revela que, aunque la primera puede ser ligeramente menos permeable debido a la menor presencia de vacíos, esta diferencia no se traduce necesariamente en una mayor resistencia a largo plazo. A pesar de permitir el ingreso del agua, la gradación Bailey muestra una resistencia retenida comparable a la mezcla convencional, con una diferencia mínima del 2%.

4. Recomendaciones

Dentro de la investigación se desea una mejora de la misma, por lo tanto, se recomienda a futuros investigadores que tengan interés en el tema, la complementación determinando la influencia de la implementación del método Bailey sobre el ahuellamiento de las mezclas para mejorar la comprensión de cómo funcionan las mezclas en diferentes situaciones, como en la construcción de carreteras o en la fabricación de materiales.

Además, se recomienda complementar la investigación evaluando la influencia en el módulo resiliente de las mezclas esencial para mejorar la calidad y durabilidad de las carreteras y otras infraestructuras. Esta investigación puede conducir a una optimización de la calidad del asfalto, permitiendo una colocación y compactación más eficiente.

Es recomendable considerar la normativa específica de los ensayos que se llevarán a cabo y buscar instalaciones que cumplan con los requisitos establecidos. En caso de que no se disponga de las instalaciones adecuadas para realizar ciertos ensayos, es importante explorar alternativas que se mantengan fieles al objetivo de la investigación. De esta manera, se garantiza que la elección de nuevas opciones no se desvíe significativamente del ensayo original que se busca reemplazar, evitando así que se vean afectados los objetivos de la investigación.

La investigación en parte se basa en la comparación especificaciones reglamentadas para dos tipos de mezclas asfálticas distintas, se debe tener en cuenta una iniciativa importante la regulación detallada de las mezclas asfálticas permeables. Esta regulación debería abarcar no solo su capacidad de drenaje, sino también su resistencia estructural, ya que esto puede ser una solución efectiva para diversas patologías en el pavimento, originadas por problemas como la pérdida de humedad en la subrasante, así como para mitigar el riesgo de hidroplaneo en la infraestructura vial.

Bibliografía

BARROS, C. S., & GOMEZ, A. (2017). *ANÁLISIS SUPERFICIAL Y METODOLOGIAS DE PAVIMENTOS PARA EL MANTENIMIENTO DE VÍAS Terciarias del Municipio de Espinal – Tolima*.

Lucía Miranda, Rafael Jiménez, Leonardo Enríquez & Javier Loma. (2012). Método de dosificación Bailey. Aplicación a las mezclas tipo Stone Mastic Asphalt (SMA). *VII Jornada Nacional de ASEFMA*.

Acevedo Cruz, N. (2021). *Influencia de la forma de los agregados en la estabilidad y flujo de una mezcla asfáltica empleando el equipo Marshall*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.

al, K. e. (1986). Analisis del metodo Bailey y su influencia en la segregacion de mezclas en caliente.

Alamilla, H. D. (2020). *Diseño de mezclas asfálticas densas en caliente en función del nivel de tránsito*.

Albornoz, Y. (2014). PENETRACIÓN DE LOS ASFALTOS. *UNIVERSIDAD DE LOS ANDES Merida-Venezuela, 7*.

Alexander, B. V. (2012). OBTENCION DEL PORCENTAJE OPTIMO DE ASFALTO PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS DENSAS EN CALIENTE MODIFICADO CON EL METODO MARSHALL EMPLEANDO AGREGADOS PETREOS DE CALDERA DE SAN FRANCISCO PUTUMAYO Y ASFALTO DE BARRANCABERMEJA .

Arlberto, T. M. (2015). *DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA CASHAPAMBA CON METODOLOGÍA MARSHALL*. Quito: Universidad Internacional del Ecuador.

Asphalt Institute. (2001). *universidad de piura*. Obtenido de <https://acortar.link/aorgN5>

Bailey Method for Gradation Selection in Hot-Mix Asphalt Mixture Design. . (2003).

Bauer, E., Bozzi Piazzarollo , C., Siqueira de Souza, J., & Goncalves dos Santos, D. (2020). *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*. Obtenido de Relative importance of pathologies in the severity of facade degradation: <https://link.springer.com/article/10.1007/s41024-020-0072-6>

Cárdenas-Ordúz, D. A., & Pérez-Buitrago, G. (2016). *Influencia del empaquetamiento granular en el modulo resiliente de las mezclas asfálticas en caliente.*

Carrizales Apaza & José Javier. (2015). *ASFALTO MODIFICADO CON MATERIAL RECICLADO DE LLANTAS PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS FLEXIBLES.* Puno, Perú: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO.

Cobb, F., & Carper, K. (2000). *Civil Engineering Investigation*. Obtenido de <https://www.taylorfrancis.com/chapters/mono/10.1201/9781420037029-9/civil-engineering-investigation-fiona-cobb-kenneth-carper?context=ubx&refId=c761f510-9146-4c77-bf03-261e09b69e0e>

Construmatica. (3 de 1 de 2012). *Construmatica*. Obtenido de Construmatica: https://www.construmatica.com/construpedia/Clasificaci%C3%B3n_de_las_Mezclas_Asf%C3%A1lticas

DANE. (2018). *Boletín técnico*. Obtenido de Censo Edificaciones IV Trimestre de 2017: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/ceed/bol_ceed_IVtrim17.pdf

De Oliveira Guimarães, D., Da Motta, L. M. G., Silva, B., Fritzen, M. A., & De Castro, C. E. N. (2022). A influência da composição granulométrica segundo as metodologias Bailey, FAD e Marshall no desempenho à deformação permanente de misturas asfálticas.

DONATO, N. I. (2016). VERIFICACION DEL DISEÑO MARSHALL PARA MDC-19 (RODADURA) PARA UN TRANSITO DE CATEGORIA NT2, A PARTIR DE AGREGADOS PETREOS OBTENIDOS DE LA TRITURACION DE MATERIAL CRUDO DEL RIO COELLO UBICADO EN EL MUNICIPIO DE COELLO TOLIMA, CUMPLIENDO NORMA INVIAS 2013. *UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA*.

Franesquí, M., García, C., & Yepes, J. (2017). *Laboratorio de caminos ensayos de rocas*.

Garnica, P., Gómez, J., & Martínez, J. (2002). MECÁNICA DE MATERIALES PARA PAVIMENTOS. *SCT, INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE*, 234.

INVIAS. (2013). *Determinacion de la limpieza superficial de las particulas de agregado grueso*. Instituto Nacional de Vias.

Lozano, J. P. (2020). *INSTRUCTIVO TÉCNICO PARA ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS EN ENSAYOS DE LABORATORIO A MATERIALES DE CONCRETO ESTRUCTURAL EN EDIFICACIONES E INFRAESTRUCTURA VIAL*.

Luis, A. G. (2015). *Designación: ASTM D6927*.

Melo, W. G. (2013). ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL ASFALTO ENVEJECIDO EN EL COMPORTAMIENTO MECANICO DE UNA MEZCLA DE CONCRETO ASFALTICO PRODUCIDA EN CALIENTE . *Universidad nacional de colombia*.

Miranda, L., Jiménez, R., Enríquez , L., & Loma, J. (2012). *Método de dosificación Bailey. Aplicación a las mezclas tipo Stone Mastic Asphalt (SMA)*.

miranda, l., rubio, b., jimenez, r., enriquez, l., & loma, r. (2012). *METODO DE DOSIFICACION BAILEY. APLICACION A LAS MEZCLAS TIPO STONE MASTIC ASPHALT (SMA)*.

OTAROLA, V. (2019). *Precauciones a tomar en cuenta en el abastecimiento de asfalto puesto en obra.*

Parra, L., Calabi, A., Sánchez, E., & Valdés, G. (2018). *EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS SINTÉTICAS DE ARAMIDA Y POLIPROPILENO.*

Quintina, H. A. (2015). *PAVIMENTOS Materiales, Construcción y diseño.* ECOE EDICIONES.

Reyes & Camacho. (2008). *Influencia de la granulometría en la resistencia.* Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.

Rios Chavez, M.S., & Boza Carbonelli, D.K. (2019). *Análisis de la granulometría de los agregados de la cantera El Pedregal y su influencia en las mezclas asfálticas en caliente en la ciudad de Abancay: Universidad Tecnológica de los Andes.*

Rondón Quintana, H. A., Ruge Cárdenas, J. C., & Moreno Anselmi, L. Á. (2016). Efecto del agua sobre el asfalto y su posible influencia en el daño por humedad en una mezcla asfáltica porosa. *Revista chilena de ingeniería*, 24(4), 558-569.

SABOGAL, J. C. (2020). *COMPORTAMIENTO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMEROS PROVENIENTES DE BOTELLAS PET RECICLADAS.*

Santos, R., Martínez, E., & Pérez, L. . (2017). *AVALIAÇÃO DE MISTURAS ASFÁLTICAS RECICLADAS MORNAS . Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS).*

Transportes, S. d. (2002). *Viscosidad cinemática de pavimentos de asfaltos.*

Universidad del Quindío, U. N. (2022). *Capítulo 4, especificaciones generales de construcción de carreteras 2022.* Bogota.

Universidad Nacional de Colombia & Universidad del Quindío & Instituto Nacional de Vías.
(2022). *Especificaciones Generales de construcción de carreteras* .

Uribe Martínez, Z. (2021). *INFLUENCIA DE LA TRITURACIÓN DEL AGREGADO FINO EN LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE DE GRADACIÓN CONTINUA MDC-19 INVIAS*.
Bogotá: Universidad Militar nueva granada.

Vavrik, W., Hirsch, T., & Bush, AJ . (2001). *INFLUÊNCIA DOS AGREGADOS SOBRE PROPRIEDADES MECÂNICAS E VOLUMÉTRICAS DE MISTURAS ASFÁLTICAS: ANÁLISE DO MÉTODO BAILEY*.

VILLA, P. (2022). *INCIDENCIA DE LA MINERALOGÍA DE LOS AGREGADOS EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE*.

Villamizar, D. C. (2017). *EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA DE MEZCLA ASFÁLTICAS ELABORADAS CON ASFALTO MODIFICADO CON ACEITES LUBRICANTES USADOS*. *UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA* , 94.