



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

**COMPARACIÓN DE ASFALTO CONVENCIONAL FRENTE A ASFALTO
MODIFICADO CON MATERIAL ORGÁNICO Y GRANULO DE CAUCHO**

**KATERIN JOHANA MONTEJO AVILA
506772
LAURA PAOLA NIETO BOHÓRQUEZ**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ
NOVIEMBRE
2020**

**COMPARACIÓN DE ASFALTO CONVENCIONAL FRENTE A ASFALTO
MODIFICADO CON MATERIAL ORGÁNICO Y GRANULO DE CAUCHO**

**KATERIN JOHANA MONTEJO AVILA CÓDIGO: 506772
LAURA PAOLA NIETO BOHÓRQUEZ CÓDIGO: 506760**

**TRABAJO DE GRADO SOMETIDA A LA FACULTAD DE INGENIERÍA PARA
OBTENCIÓN DE TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

**DIRECTOR
ING. BRAYAN GERARDO ARÉVALO MENDOZA**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ
NOVIEMBRE
2020**



Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



Sin Obras Derivadas — No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.

PERIODO: II SEMESTRE 2020

PROGRAMA ACADÉMICO: INGENIERÍA CIVIL

ESTUDIANTE. KATERIN JOHANA MONTEJO AVILA **CÓDIGO:** 506772

ESTUDIANTE. LAURA PAOLA NIETO BOHÓRQUEZ **CÓDIGO:** 506760

DIRECTOR SUGERIDO: BRAYAN GERARDO ARÉVALO MENDOZA

TÍTULO

Comparación de asfalto convencional frente a asfalto modificado con material orgánico y granulo de caucho

ALTERNATIVA

Auxiliar de Investigación

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Gestión integral y dinámica de las organizaciones empresariales

NOTA DE ACEPTACIÓN:

FIRMA DEL PRESIDENTE DEL JURADO

FIRMA JURADO

FIRMA JURADO

BOGOTÁ,

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación lo dedicamos a Dios, por ser quien nos llena de fuerza en estos momentos de tanta dificultad por la que atraviesa la humanidad para continuar en este proceso de obtener nuestro anhelado título universitario.

A nuestras familias, por su amor, apoyo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes hemos logrado llegar a este punto, gracias por todo lo brindado. Ha sido un privilegio al que pocas personas pueden acceder y tenemos el orgullo de llegar a la cúspide de un sueño más, uno de muchos que inician.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, queremos dar gracias a Dios por permitirnos llegar a este momento, de igual manera, expresamos nuestros agradecimientos al Laboratorio de la Universidad Católica de Colombia, en especial, al laboratorista Hugo Rondón por su colaboración, conocimiento y aporte los momentos de dificultad durante la ejecución de los laboratorios y por proporcionarnos los equipos necesarios para realizar los mismos.

Por otra parte, queremos agradecer a los docentes que nunca dudaron en ayudarnos con sus conocimientos y aportaron en momentos de dudas.

De manera especial y sincera, deseamos brindar también nuestro reconocimiento a el Ingeniero Brayan Gerardo Arévalo que nos colaboró activamente durante el proceso y ejecución del presente trabajo de grado, fue nuestra guía y brindarnos la oportunidad, confianza y el privilegio de realizar este trabajo bajo su asesoría. Mil de gracias por sus enseñanzas, por su disposición, pero sobre todo por su inagotable apoyo y comprensión.

Queremos también aprovechar y agradecer muy especialmente a nuestros padres, hermanos; apoyo incondicional y primordiales en cada una de las etapas de nuestras vidas, nos han brindado la fortaleza y herramientas necesarias para salir adelante. No hay forma de retribuir toda la comprensión y el gran esfuerzo que han realizado. Este trabajo ha sido por y para Ustedes.

RESUMEN

Este trabajo está basado en la investigación de mezclas asfálticas con agregado orgánico, con el fin de emplear una alternativa disminuyendo la cantidad de agregado pétreo que permitirá la mitigación ambiental disminuyendo la explotación de canteras que terminan afectando fuentes hídricas, ecosistemas y perturbando la salud de las poblaciones aledañas.

Asimismo se tomó como referencia trabajos de grado de diferentes fuentes, teniendo en cuenta que estos contaran con un porcentaje de agregado orgánico que permitiera comparar y analizar el comportamiento físico-mecánico de las mismas, esto por medio del ensayo Marshall. Se realiza en la universidad Católica de Colombia los laboratorios exigidos por la norma para una mezcla convencional MDC-19, la cual es el punto de comparación con los trabajos consultados. Adicionalmente se referencia la mezcla asfáltica con granulo de caucho ya que es el primer pavimento modificado normalizado y comercializado.

Luego de realizar la recolección de datos a analizar de cada uno de los modificados se identifica a partir del ensayo Marshall para determinar su estado de estabilidad y deformabilidad. Finalmente se presentan una serie de gráficas y análisis sobre cada uno de las características para así identificar su comportamiento, beneficios o aspectos negativos que estos agregados aportan a las mezclas e incentivar la investigación en busca de nuevas tecnologías.

Palabras clave: mezcla asfáltica, polímeros, orgánico, fibras naturales, método Marshall, máquina de los Ángeles, reciclaje, comparación.

ABSTRACT

This work is based on the investigation of asphalt mixtures with organic aggregate, in order to use an alternative reducing the amount of stone aggregate that will allow environmental mitigation by reducing the exploitation of quarries that end up affecting water sources, ecosystems and disturbing the health of the neighboring towns.

Likewise, undergraduate works from different sources were taken as a reference, taking into account that they had a percentage of organic aggregate that allowed to compare and analyze their physical-mechanical behavior, this by means of the Marshall test. The laboratories required by the standard for a conventional MDC-19 mixture are carried out at the Catholic University of Colombia, which is the point of comparison with the studies consulted. Additionally, the asphalt mixture with rubber granules is referenced since it is the first standardized and commercialized modified pavement.

After collecting the data to be analyzed for each of the modified ones, it is identified from the Marshall test to determine its state of stability and deformability. Finally, a series of graphs and analyzes on each of the characteristics are presented in order to identify their behavior, benefits or negative aspects that these aggregates contribute to the mixes and encourage research in search of new technologies.

Keywords: asphalt mix, polymers, natural fibers, Marshall method, Los Angeles machine, recycling, comparison.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	18
CAPÍTULO I. GENERALIDADES	19
1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.	19
1.2 OBJETIVOS	21
1.2.1 General	21
1.2.2 Específicos	21
1.3 ANTECEDENTES	22
1.4 JUSTIFICACIONES	24
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES	25
1.5.1 Alcances	25
1.5.2 Limitaciones	25
1.6 MARCO TEÓRICO	27
1.6.1 Mezclas asfálticas	27
1.6.2 Mezcla asfáltica en caliente	28
1.6.3 Componentes de mezcla asfáltica en caliente	30
1.6.4 Tipos de mezcla asfáltica en caliente	31
1.6.5 Agregados	33
1.6.5.1 Clasificación	33
1.6.6 Mezcla asfáltica modificada	36
1.6.7 Mezcla asfáltica modificada orgánicos	37
1.7 MARCO LEGAL	39
1.7.1 Ensayos de aplicación	41
1.8 MARCO CONCEPTUAL	43
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	45
2.1. LABORATORIOS	46
2.1.1. Caracterización del agregado	46
2.1.2. Ensayo propiedad composición - granulometría inve – 213-13	47
2.1.3. Ensayo geometría de las partículas – porcentaje de partículas fracturadas en un agregado grueso INV E – 227-13	50

2.1.4. Ensayo geometría de las partículas – índice de aplanamiento y alargamiento de los agregados para carreteras INV E – 230-13	51
2.1.5. Ensayo propiedad limpieza – equivalente de arena y de suelos y agregados finos INV E – 133-13	53
2.1.6. Ensayo propiedad limpieza – valor de azul de metileno en agregados finos INV E – 235-13	55
2.1.7. Ensayo propiedad dureza – resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores a 37.5 mm (1 ½”) por medio de la máquina de los ángeles INV E – 218-13	56
2.1.8. Ensayo propiedad dureza –determinación de la resistencia del agregado grueso a la degradación por abrasión, utilizando el aparato de micro-deval INV E – 238-13	58
2.1.9. Ensayo propiedad dureza –determinación del valor del 10% de finos INV E – 224-13	60
2.2. LABORATORIOS MEZCLA ASFÁLTICA	62
2.2.1. Elaboración de briquetas INV E – 748-13	62
2.2.2 Ensayo gravedad específica bulk y densidad de mezclas asfálticas compactadas no absorbentes empleando especímenes saturados y superficialmente secos INV E – 733-13	64
2.2.3 Ensayo estabilidad y flujo de mezclas asfálticas en caliente empleando el equipo marshall INV E – 748-13	65
2.2.4 Proyectos utilizados para análisis de comportamiento	73
CAPÍTULO III.	75
COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS	75
3.1 Comparación de datos obtenidos	75
3.1.1 Contenido de asfalto	75
3.3.2 Contenido de modificado	76
3.3.3 Estabilidad	77
3.3.4 Flujo	81
3.3.5 Estabilidad/flujo vs % de asfalto	84
3.3.6 Análisis volumétrico de vacíos	85
3.3.7 Vacíos de aire vs % de asfalto	87
3.3.8 Vacíos de agregado mineral vs % de asfalto	89
3.3.9 Vacíos llenos de asfalto vs % de asfalto	90
CONCLUSIÓN	93
REFERENCIAS	96

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Franjas granulométricas para mezclas asfálticas en caliente de gradación continua	32
Tabla 2. Tipo de mezcla por utilizar en función del tipo y espesor compacto de la capa	32
Tabla 3. Tipo de mezcla por utilizar en función del tipo y espesor compacto de la capa	35
Tabla 4. Normas que rigen los procesos del asfalto	39
Tabla 5. Granulometría para asfalto convencional MDC-19	48
Tabla 6. “Franjas granulométricas para mezclas asfálticas en caliente gradación continua”	49
Tabla 7. Caracterización de caras fracturadas	50
Tabla 8. Datos Índice de Aplanamiento	52
Tabla 9. Datos Índice de Alargamiento	52
Tabla 10. Datos Equivalente de arena	54
Tabla 11. Datos Azul de metileno	55
Tabla 12. Granulometrías de las muestras	56
Tabla 13. Datos resistencia Máquina de los Ángeles	57
Tabla 14. Condiciones de ensayo INV E-238-13	59
Tabla 15. Datos ensayo Micro-Deval	59
Tabla 16. Datos ensayo 10% finos	60
Tabla 17. Datos Obtenidos del laboratorio Marshall	68
Tabla 18. Cálculos obtenidos del laboratorio Marshall y gravedad específica Bulk	69
Tabla 19. Datos de graficas Marshall	70
Tabla 20. Resultados comparados % Asfalto	75
Tabla 22. Resultados comparados % modificación	77
Tabla 22. Resultados Estabilidad	78
Tabla 23. Especificaciones Marshall de diseño	79
Tabla 24. Especificaciones Marshall de diseño	79

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Capas de Vías	28
Ilustración 2. Aplicación mezcla asfáltica en caliente	29
Ilustración 3. Componentes de la mezcla asfáltica en caliente	31
Ilustración 4. Degradación del agregado durante el ensayo de la máquina de los Ángeles	56
Ilustración 5. Degradación del agregado durante el ensayo de Micro-Deval	58

TABLA DE FOTOGRAFÍAS

Foto 1. Máquina para prueba de estabilidad Marshall.....	42
Foto 2. Cuarte de muestra, material granular.....	46
Foto 3. Ensayo de granulometría	47
Foto 4. Ensayo Caracterización de material por el método de caras fracturadas .	51
Foto 5. Ensayo Índice de aplanamiento	52
Foto 6. Ensayo Índice de alargamiento	53
Foto 7. Ensayo Equivalente de Arena	54
Foto 8. Ensayo Azul de metileno.....	55
Foto 9. Ensayo Máquina de los Ángeles	58
Foto 10. Ensayo Micro-Deval	59
Foto 11. Ensayo 10% de finos.....	61
Foto 12. Materiales granulares para la elaboración de las briquetas	62
Foto 13. Mezcla de material granular con cemento asfáltico a 150 °C.....	63
Foto 14. Elaboración de briquetas.....	63
Foto 15. Ensayo Gravedad Específica Bulk	65
Foto 16. Ensayo Marshall.....	67

TABLA DE GRÁFICOS

Grafica 1. Granulometría	48
Grafica 2. Granulometría (Formula de trabajo vs INVIAS 2017)	49
Grafica 3. <i>Estabilidad vs % de Asfalto mezcla convencional MDC-19</i>	70
Grafica 5. <i>Estabilidad /Flujo vs % de Asfalto mezcla convencional MDC-19</i>	70
Grafica 4. <i>Flujo vs % de Asfalto mezcla convencional MDC-19</i>	70
Grafica 6. Vacíos de aire % de Asfalto	72
Grafica 7. Vacíos en agregado mineral % de Asfalto	72
Grafica 8. Vacíos llenos de asfalto % de Asfalto	72
Grafica 9. Estabilidad vs % Asfalto	80
Grafica 10. Flujo vs % Asfalto	82
Grafica 11. Estabilidad/Flujo vs % Asfalto	84
Grafica 12. Vacíos de aire vs % Asfalto	88
Grafica 13. Vacíos de agregado mineral vs % Asfalto	89
Grafica 14. Vacíos de llenados con asfalto vs % Asfalto	90
Grafica 15. Mosaico de resultados analizados.	91

TABLA DE ANEXOS

Anexo 1. Solicitud para proyección laboratorio.....	100
Anexo 2. Proyección laboratorio.....	101
Anexo 3. Laboratorio ensayo MDC - 19.....	102
Anexo 4. Laboratorio ensayo MDC – 19 MODIFICADO (NO SE REALIZA).....	103
Anexo 5. Seguimiento de asesora.....	104
Anexo 6. Documento adjunto Excel laboratorio y resultados.....	105

INTRODUCCIÓN

A través de la historia el ser humano ha implementado estructuras de vía para mejorar la movilidad de los vehículos, empleando inicialmente rocas de diferentes diámetros y en los tiempos modernos materiales seleccionados, asfaltos rígidos y flexibles, asimismo estos últimos han evolucionado y se han empleado nuevos aditivos, tales como neumáticos y diversas fibras.

Ahora bien, en Colombia se implementa la producción de asfaltos modificados con granulo de caucho, el cual está normalizado por el IDU (Instituto de desarrollo urbano) en Bogotá, dando unas especificaciones tanto para la elaboración como para la instalación, este asfalto se implementó con el fin de mejorar las propiedades, físicas y químicas del asfalto flexible y adicionalmente promover el uso de los neumáticos desechados, los cuales se convirtieron en problema a la hora de la disposición final.

Sin embargo, los asfaltos modificados con granulo de caucho no mitigan la explotación de fuentes naturales, como lo son las canteras para la extracción de agregados pétreos. Por lo anterior este proyecto de investigación se enfoca en comparar y analizar resultados de laboratorios de asfalto MDC-19 con agregados modificados y así determinar qué componentes optimizan el comportamiento del asfalto o por el contrario lo desmejoran.

Las mezclas asfálticas modificadas deben brindar confianza y satisfacer las necesidades propias de un asfalto normal, brindando valor agregado de resistencia y mayor vida útil según los estándares de diseño y la carga impuesta por el tránsito.

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

Las carreteras han evolucionado a través del tiempo, dando una solución más eficiente al transporte de insumos y al desarrollo socio-económico de las poblaciones que estas comunican.

Los asfaltos flexibles son un material empleado en la construcción de vías, el cual está compuesto de materiales granulares pétreos y una carpeta asfáltica que permite la distribución de cargas a la subrasante.

Los asfaltos modificados surgen de la necesidad de optimizar las propiedades físicas, químicas, mecánicas del asfalto convencional y adicionalmente promover el uso de materiales alternativos para la mitigación de la contaminación, contribuyendo con la disminución de agentes nocivos en el medio ambiente.

Según la publicación realizada por la consultoría colombiana s. a¹ Los asfaltos convencionales implican la explotación de canteras (macizo rocoso), la cual afecta ecosistemas, contaminando cuerpos de aguas, además de propiciar el riesgo de

¹ CONSULTORÍA COLOMBIANA S. A. Estudio de impacto ambiental para la construcción de la segunda calzada túnel – san jerónimo uf 1 y 3 del proyecto autopista al mar 1. [en Línea]. Bogotá 2016. [Citado 04-Junio-2020]. Disponible en internet: file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/eia_uf1_y_uf3_cap_11.1.1_programas_de_manejo_ambiental.pdf.

inundaciones y movimientos en masa, perturbando también la salud de los habitantes de la zona aledaña.

Con esta investigación se busca comparar los diferentes comportamientos de los asfaltos convencionales vs asfaltos modificados con agregados orgánicos, con el fin darlo a conocer como una alternativa diferente en el mercado, frente a un asfalto modificado con granulo de caucho, el cual es empleado y normalizado por el instituto de desarrollo urbano (IDU), en las obras civiles y así poder disminuir la explotación y contaminación.

¿Cuál es el comportamiento físico y mecánico de las mezclas asfálticas modificadas con agregados orgánicos en comparación con una mezcla modificada con granulo de caucho y convencional?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 General

Comparar los resultados obtenidos de una mezcla asfáltica MDC-19 convencional realizada en el laboratorio de la universidad frente mezclas asfálticas modificadas con agregados orgánicos y granulo de caucho.

1.2.2 Específicos

- Diseñar mezcla asfáltica MDC-19 con los siguientes 4.5 %, 5%, 5.5% y 6% para hallar un contenido de cemento asfalto óptimo.
- Investigar asfaltos modificados con agregados orgánicos, granulo de caucho y extraer resultados de los ensayos.
- Analizar los ensayos de las mezclas estudiadas e identificar las propiedades favorables y desfavorables de cada una de ellas.

1.3 ANTECEDENTES

El tema que se quiere abordar en el presente proyecto son las mezclas asfálticas modificadas con agregados orgánicos. La investigación se fundamenta en diferentes trabajos y consultas académicas que se desarrollaron para determinar la viabilidad de estos y del diseño de mezcla asfáltica MDC -19 convencional, realizado en el laboratorio de la Universidad Católica de Colombia para estudiar y evaluar el comportamiento de la misma. Se realizaron ensayos a los agregados para verificar el comportamiento mecánico y física de los materiales que conforman dicha mezcla.

Para realizar una adecuada comparación e identificación de propiedades fue necesario acudir a diferentes trabajos de grado, que abordara la investigación requerida sobre el tema de interés y así llegar a un análisis e identificación de las ventajas o desventajas que estos agregados aportan en la mezcla asfáltica. Uno de estos, de la Universidad Católica de Colombia, por Bejarano y Caicedo², este proyecto realiza un trabajo experimental dando como resultado el mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla asfáltica al agregar el bagazo (residuo que queda después de la extracción de la caña de azúcar). La implementación del bagazo de caña permite dar al material mayor adherencia entre los agregados evitando la disgregación que es uno de los problemas que presenta la mezcla asfáltica en el tiempo.

² BEJARANO, Jeisson, CAICEDO, Carlos. Análisis del comportamiento físico- mecánico de la mezcla asfáltica tipo mdc.19 con fibra natural de caña de azúcar. [en Línea]. Bogotá 2017, Universidad Católica de Colombia. [Citado 22-marzo-2020]. Disponible en internet: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14529/1/PROYECTO%20DE%20GRADO.pdf>

Del mismo modo se relaciona la tesis de la Universidad Piloto de Colombia, por Tovar y Landinez³. Donde se muestra la aplicación de las fibras y molienda extraída de la cáscara de coco a la mezcla asfáltica convencional señalando una mejoría en su propiedad de elasticidad y durabilidad del material, ya que la deformación aumenta al aplicar este agregado sustituyendo un porcentaje del agregado pétreo.

Durante los últimos años se han realizado investigaciones, tesis y artículos, fomentando la aplicación de diferentes agregados al asfalto para optimizar tanto en durabilidad como resistencia. Por ejemplo, el IDU desde el año 2015 “Implementa el granulo de caucho a la aplicación de pavimentos en la capital”⁴, agregado que se ha incorporado para dar una disposición final adecuada de las llantas que ya cumplieron con su vida útil en el vehículo. Buscando mitigar la contaminación, dándole un valor agregado a las mezclas asfálticas mejorando la propiedad elasticidad.

En cuanto a este proyecto se realiza una comparación de mezclas asfálticas modificadas con material orgánico, granulo de caucho (material ya implementado en la industria) vs un MDC-19 convencional, con el fin de analizar el comportamiento mecánico y físico a través de los ensayos obtenidos de cada uno de los autores, realizando un análisis sintetizado de beneficios o desventajas al agregar estos materiales orgánicos.

³ TOVAR, David, LANDINEZ, Alcides. Mezclas densas en caliente a partir de asfalto natural con adición de fibra de coco. [en Línea]. Bogotá 2015, Universidad Católica de Colombia. [Citado 08-Julio-2020]. Disponible en internet: <http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00002930.pdf>

⁴ CARO, Guillermo. XIII simposio colombiano sobre ingeniería de pavimentos evolución de los pavimentos asfálticos en Colombia., Bogotá: universidad de los andes, 2001.

1.4 JUSTIFICACIONES

El presente trabajo de investigación busca comparar diseños de mezcla asfálticas modificadas con agregados orgánicos vs convencional y con agregado granulo de caucho, con el fin de brindar una alternativa para la construcción de vías que logre contribuir con la mitigación del daño ambiental y adicionalmente, ofrecer una mejora en las propiedades de la mezcla asfáltica, garantizando durabilidad, ya que en el país las vías constituyen uno de los pilares principal para el crecimiento económico y productivo.

Ahora bien, durante décadas la elaboración de las mezclas asfálticas convencionales exigió la explotación de canteras para obtener los agregados gruesos y finos, lo cual genera afectación a ecosistemas y fuentes hídricas, por esta razón es necesario la implementación de nuevas alternativas de agregado.

En los últimos años se han desarrollado investigaciones, ensayos y pruebas en las mezclas asfálticas con diversos agregado, sometiéndose a pruebas de tránsitos elevados y cambios de temperatura, las cuales han presentado varias respuestas tanto favorables como desfavorables según el agregado, como lo menciona el ingeniero Hugo Alexander Rondón⁵ en el artículo *“Estado del conocimiento del estudio sobre mezclas asfálticas modificadas en Colombia”*. Donde se trae acotación todos los temas investigados en diferentes universidades a partir de la mezcla asfáltica modificada, se aprecia la poca investigación y aplicación de desechos orgánicos a la mezcla asfáltica.

⁵ RONDON, Hugo, REYES Fredy, FIGUEROA Ana, RODRIGUEZ Edgar, REAL Claudia y MONTEALEGRE Tito. Estado del conocimiento del estudio sobre mezclas asfálticas modificadas en Colombia [en Línea]. Bogotá 2008, Universidad Católica de Colombia. [Citado 15-Julio-2020]. Disponible en internet: revistas.ucr.ac.cr/index.php/vial/article/view/2046/2010

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.5.1 Alcances

Este proyecto tiene como fin indagar sobre las diferentes mezclas asfálticas modificadas de material orgánico realizadas desde la academia y el desarrollo de un diseño de mezcla convencional MDC-19, con el fin de comparar desde sus agregados las condiciones que estos pueden llegar a mejorar en un asfalto convencional. Se realizaron una serie de ensayos en los laboratorios de la Universidad Católica de Colombia, en el recinto de materiales, en el cual se tomaron diferentes porcentajes de asfalto para obtener el óptimo y así realizar análisis de comportamiento y resistencia (Marshall), con el fin de obtener una mezcla convencional bajo los estándares establecidos.

Los asfaltos modificados con diversos materiales se vienen investigando hace muchos años para mejorar el comportamiento y contribuir en diferentes áreas, las universidades se han encargado de realizar investigaciones para dar una mejor tecnología a las mezclas asfálticas, mejorando sus propiedades.

1.5.2 Limitaciones

- Inicialmente se estimaba realizar un proyecto experimental elaborando briquetas con agregado natural (guadua), la cual se reemplazó en el porcentaje de material grueso, debido a la emergencia sanitaria por COVID-19 todo el trabajo que se tenía avanzado durante el semestre no se pudo llegar a concluir.

- Para poder avanzar con el trabajo de grado fue necesario cambiar el enfoque de experimental a investigativo, por lo que este proyecto se direcciona a los modificados con agregado natural o fibra natural, para dar a conocer así una alternativa más, que busca reducir la cantidad de explotación de materiales pétreos que afecta ecosistemas y fuentes hídricas.
- El acceso restringido que tienen algunas instituciones sobre los trabajos de grado, aunque se encontraban títulos muy interesantes que podían ser aplicados a este proyecto de grado era negado el acceso para su consulta.
- El tema de los modificados es muy extenso y en su mayoría su investigación se ha centrado en modificarlos con materiales sintéticos como polímeros en diferentes presentaciones, por el contrario los modificados con material orgánico cuentan con poca información.
- El tiempo y la situación debido a la emergencia sanitaria por COVID-19, no han sido las mejores, ya que presentamos inconvenientes de tiempo y salud que disminuyo el rendimiento en la ejecución del proyecto.

1.6 MARCO TEÓRICO

1.6.1 Mezclas asfálticas

Es la suma de agregados minerales mediante un cemento asfáltico de tal forma que los agregados queden cubiertos por una capa uniforme de asfalto. Las propiedades de cada material componente determinan las propiedades físicas y el comportamiento funcional de la mezcla asfáltica.

“Las mezclas asfálticas se emplean en la construcción de vías, ya sea en capas de rodadura o en capas inferiores y su función es proporcionar una superficie de rodamiento cómoda, segura y económica, facilitando la circulación de los vehículos, aparte de transmitir suficientemente las cargas debidas al tráfico a la explanada para que sean soportadas por ésta”⁶.

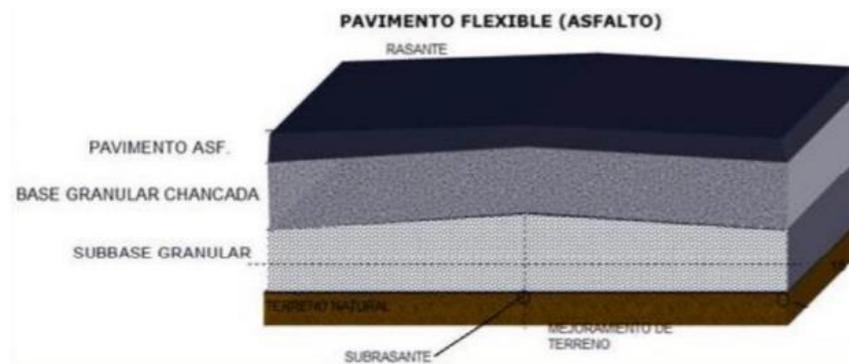
Se tienen que considerar dos aspectos fundamentales en el diseño y proyecto de un asfalto:

- La Función Resistente, que determina los materiales y los espesores de las capas que habremos de emplear en su construcción.
- La Finalidad, que determina las condiciones de textura y acabado que se deben exigir a las capas superiores del firme, para que resulten seguras y confortables. ⁷

⁶ PADILLA Alejandro. Mezclas asfálticas. Capítulo 3. Universidad Popular del Cesar. [en Línea]. Valledupar, Cesar, [Citado 16-Julio-2020]. Disponible en internet: upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3334/34065-14.pdf?sequence=14&isAllowed=y

⁷ Ibíd. Padilla Rodríguez, Alejandro. Mezclas asfálticas. Capítulo 3. Universidad Popular del Cesar UPC.

Ilustración 1. Capas de Vías



Fuente. Laboratorio nacional de Vialidad. Disponible en:
<http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/laboratorionacional/MaterialCursos/Mezclas%20Asf%C3%A1lticas.pdf>

1.6.2 Mezcla asfáltica en caliente

La mezcla asfáltica o cemento asfáltico en caliente son aquellas combinaciones de agregados pétreos, más un ligante, y aditivos, todos combinados se inserta en máquinas encargadas de su homogeneidad con el fin de dar adherencia a todos los agregados incorporados. “Su proceso de fabricación consiste en calentar, a través de los equipos adecuados, el ligante junto con los áridos, y se realiza su colocación en obra con una temperatura superior al ambiente”⁸. Durante el proceso de instalación la mezcla asfáltica debe llegar a una temperatura adecuada para que su compactación cumpla la especificación establecida.

⁸ ALI, M. F., and SIDDIQUI, M. N. Changes in asphalt chemistry during oxidation and polymer modification. s.l.: Petroleum Science and Technology, (2001). 19(9-10), 1229-1249. doi:10.1081/LFt

Ilustración 2. Aplicación mezcla asfáltica en caliente



Fuente. Proceso de aplicación de asfalto en caliente. Disponible en: <https://www.freepik.es/fotos-vectores-gratis/asfalto>

La preparación de la mezcla asfáltica industrializada se realiza bajo unos parámetros y ensayos que se les practica a los agregados con el fin de controlar su calidad. Su proceso en planta según Asoasfaltos, según su artículo técnico, se ejecuta de la siguiente manera: “Luego se transportan en camiones de palangana lisa, preferiblemente tratadas interiormente con un producto que impida la adherencia de la mezcla asfáltica, posteriormente se cubren las palanganas de los camiones con lonas, para continuar realizando la distribución de la mezcla, sobre una superficie limpia, con colocadoras mecánicas o “finisher”⁹. Cuando se inicia el proceso de instalación se extiende el material a lo largo de la vía ya preparada, en compañía del grupo topográfico que va verificando los niveles de aplicación del

⁹ ASOASFALTOS. Artículo técnico mezclas asfálticas en caliente. [en Línea]. Colombia [Citado 12-Julio-2020]. Disponible en internet: www.construguate.com/wp-content/uploads/2019/12/Asociaci%C3%B3n-de-Productores-de-Mezclas-Asf%C3%A1lticas-en-Caliente-ASOASFALTOS.png

asfalto, con rodillos se da la compactación, finalizando el proceso se sella con el paso del compactador de llanta.

1.6.3 Componentes de mezcla asfáltica en caliente

La mezcla asfáltica contiene un 90% de agregados pétreos, 5 % de agregado fino pasante del tamiz número 200 y un porcentaje óptimos de asfalto quién es el encargado de darle la adherencia a toda mezcla. “La calidad del ligante asfáltico y la cantidad de finos son los dos elementos que tienen una especial influencia tanto en la resistencia de la mezcla asfáltica como en su costo total. La cantidad del asfalto, está en función de la granulometría de los agregados.”¹⁰ Cuando la cantidad de material agregado fino sobrepasa el porcentaje admitido es necesario la incorporación de más asfalto. Por otra parte, si el agregado grueso es mayor en su porcentaje de adición, el contenido de ligante debe ser menor, ya que el área externa en las partículas es mayor.

¹⁰ HUAMAN, Kevin. Composición mezcla asfáltica. [En Línea]. Ecuador [Citado 12-Julio-2020]. Disponible en internet: <https://slideplayer.es/slide/14183264/>

Ilustración 3. Componentes de la mezcla asfáltica en caliente

PIEDRA CHANCADA TAMAÑO
MAXIMO DE ¾"



ARENA GRUESA PASA MALLA N°8
Y RETIENE MALLA N° 200



MATERIAL FINO PASA MALLA 200
LIMO-ARCILLA-CEMENTO-CAL



CEMENTO ASFALTICO CALENTADO
A 150 MÁXIMO 180 °C



Fuente. Mezcla asfáltica por Kevin Huamán. Disponible en:
Mejia<https://slideplayer.es/slide/14183264/>

La mezcla asfáltica o ligante es un insumo bituminoso con un alto peso molecular, que tiene propiedades por sus altas temperaturas y le da la característica de flexibilidad al concreto asfáltico.

1.6.4 Tipos de mezcla asfáltica en caliente

Según la norma INVIAS en el artículo 450-13 indica que: “El tipo de mezcla asfáltica en caliente por emplear dependerá del tipo y del espesor compacto de la capa asfáltica y se definirá en los documentos del proyecto, siguiendo los criterios.”¹¹

¹¹ INVIAS. ARTÍCULO 450-13. Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (CONCRETO ASFÁLTICO). Bogotá: Ministerio de transporte, 2013. Sección 400.

Tabla 1. Franjas granulométricas para mezclas asfálticas en caliente de gradación continua

TIPO DE MEZCLA		TAMIZ (mm / U.S. Standard)									
		37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75	2.00	0.425	0.180	0.075
		1 ½"	1"	¾"	½"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 80	No. 200
		% PASA									
DENSE	MDC-25		100	80-95	67-85	60-77	43-59	29-45	14-25	8-17	4-8
	MDC-19			100	80-95	70-88	49-65	29-45	14-25	8-17	4-8
	MDC-10					100	65-87	43-61	16-29	9-19	5-10
SEMIDENSE	MSC-25		100	80-95	65-80	55-70	40-55	24-38	9-20	6-12	3-7
	MSC-19			100	80-95	65-80	40-55	24-38	9-20	6-12	3-7
GRUESA	MGC-38	100	75-95	65-85	47-67	40-60	28-46	17-32	7-17	4-11	2-6
	MGC-25		100	75-95	55-75	40-60	28-46	17-32	7-17	4-11	2-6
ALTO MÓDULO	MAM -25		100	80-95	65-80	55-70	40-55	24-38	10-20	8-14	6-9
TOLERANCIAS EN PRODUCCIÓN SOBRE LA FÓRMULA DE TRABAJO (±)		-	4 %				3 %			2 %	

Fuente: INVIAS artículo 450. INVIAS

Tabla 2. Tipo de mezcla por utilizar en función del tipo y espesor compacto de la capa

TIPO DE CAPA	ESPESOR COMPACTO (mm)	TIPO DE MEZCLA
Rodadura	30 – 40	MDC-10
	40 – 60	MDC-19, MSC-19
	> 60	MDC-25, MDC-19, MSC-19
Intermedia	> 50	MDC-25, MSC-25
Base	> 75	MSC-25, MGC-38, MGC-25
Alto módulo	60 - 130	MAM-25
Bacheos	50 – 75	MSC-25, MGC-25
	> 75	MSC-25, MGC-38, MGC-25

Fuente: INVIAS artículo 450.

1.6.5 Agregados

Los agregados se refieren a todo el material natural utilizado en la adición y/o componente de una mezcla de concreto está compuesto por arenas, rocas trituradas y gravas son suministradas de manera natural o en un proceso de trituración industrial. Estos minerales naturales son resultado de la erosión ya que descompone la roca madre, es un proceso de millones de años causado por la temperatura, vientos y agua.

“Son generalmente encontrados en ríos y valles, donde han sido depositados por las corrientes de agua.

Son aquellos materiales inertes de forma granular naturales o artificiales que aglomerados por el cemento Portland en presencia de agua, conforman un todo compacto (piedra artificial) conocido como concreto u hormigón”¹².

Suministran resistencia al concreto en caliente y frío. Por su diversidad de tamaños y texturas se clasifican de la siguiente manera.

1.6.5.1 Clasificación

Por su Procedencia

- Agregados naturales: Su conformación se presenta geológicamente con la erosión y el desgaste por viento y lluvia.
- Agregados artificiales: Su procedencia es la transformación de rocas o en ocasiones residuos de concreto que industrialmente por la intersección del hombre pasa por un proceso de trituración y clasificación.

¹² ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE PRODUCTORES DE CONCRETO, INSTITUTO DEL CONCRETO. Manual Tecnología y propiedades. Bogotá: ASOCRETO, 1997. 257 p

- Piedra triturada: Producida de la trituración artificial de rocas, piedra boleada o pedruscos grandes, del cual todas las caras poseen aristas bien definidas, resultado de la operación de trituración.
- Escoria siderúrgica: “Residuo mineral no metálico, que consta en esencia de silicatos y aluminosilicatos de calcio y otras bases, y que se produce simultáneamente con la obtención del hierro”.¹³

Por su Tamaño

- Agregado grueso:” Agregado retenido de modo predominante por el tamiz No. 4 (de 4.75mm); o bien, aquella porción de un agregado que es retenida por el tamiz No. 4 (de 4.75 mm).”¹⁴

Este material denominado agregado grueso es el resultado de la abrasión natural o del proceso triturado después de pasar por el tamiz.

- Agregado fino: el material pasante del tamiz de 3/4 in (9.5 mm) y el que queda retenido sobre el tamiz No. 4 (de 4.75 mm)¹⁵. y es retenido en el tamiz No. 200 (de 75 μ m); o aquella parte de agregado que pasa por el tamiz No. 4 (de 4.75 mm) y es retenida en gran cantidad en el tamiz No. 200 (de 75 μ m).

Llamado agregado fino son partículas de dimensiones diminutas utilizadas como agregado en las adiciones para incrementar la resistencia del material

¹³ HERNANDEZ, Eddy. Clasificación de agregados. [En Línea]. Colombia [Citado 15-Julio-2020]. Disponible en internet: blog ingenieros civiles <https://www.ingenierocivilinfo.com/2010/05/clasificacion-de-los-agregados-para.html>

¹⁴ Ibíd. HERNANDEZ, Eddy. Clasificación de agregados.

¹⁵ Ibíd. HERNANDEZ, Eddy. Clasificación de agregados.

combinado con ella. Es muy utilizado en las obras como agregado a pañetes, cargues de pisos y morteros de pega.

- **Por su Forma**

Tabla 3. Tipo de mezcla por utilizar en función del tipo y espesor compacto de la capa¹⁶

Clasificación	Descripción	Ejemplo
Redondeadas	Totalmente desgastadas por el agua o completamente formadas por fricción.	Gravas de río o de playa, arenas del desierto.
Irregular	Irregulares por naturaleza parcialmente formadas por fricción o con bordes redondeados.	Otras gravas; pizarra de superficie o subterránea.
Escamosa	Materiales cuyo espesor es pequeño en comparación con sus otras dos dimensiones.	Roca laminada.
Angular	Con bordes bien definidos formados en las intersecciones de caras aproximadamente planas.	Rocas trituradas de todo tipo y escoria triturada.
Alargada	Material que suele ser angular, cuya longitud es bastante mayor que las otras dos dimensiones.	Se encuentran en algunos depósitos naturales en forma de lajas.
Escamosa y alargada	Material cuya longitud es bastante mayor que el ancho y el ancho bastante mayor que el espesor.	Agregado de rocas meteorizadas.

Fuente. ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE PRODUCTORES DE CONCRETO, INSTITUTO DEL CONCRETO. Tecnología y propiedades. Bogotá: ASOCRETO, 1997.

¹⁶ ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE PRODUCTORES DE CONCRETO, INSTITUTO DEL CONCRETO. Tecnología y propiedades. Bogotá: ASOCRETO, 1997.

1.6.6 Mezcla asfáltica modificada

Se denomina mezcla asfáltica modificada aquellos que una vez obtenido una resistencia óptima se sustituye o se adicionan materiales alternativos. Los materiales más utilizados en estas adiciones son tales como “látex, polietileno, cal, cemento, azufre, asfáltenos naturales, hule molido de neumáticos, aceites, resinas, fibras de acero, vidrio o asbesto entre otros, con el fin de modificar y mejorar algunas de sus características mecánicas y reológicas.”¹⁷ Al modificar el asfalto se busca mejorar su comportamiento, calidad, resistencia y propiedades como:

- Resistencia a los cambios de temperatura.
- Resistencia al ahuellamiento.
- Mejorar la homogeneidad entre la mezcla.
- Garantizar una mejor adherencia entre la carpeta asfáltica y la sub-base.
- Brindar una mayor durabilidad.
- Resistencia al alto flujo vehicular y cambios de clima que produce fatiga en el material.

En Colombia, los desarrollos investigativos en el área de los asfaltos y las mezclas asfálticas modificadas son extensos en comparación con la cantidad de estructuras de pavimentos flexibles construidas con esta tecnología.

¹⁷ RONDÓN, H. A., RODRÓGUEZ, E., REAL, C. M. & MONTEALEGRE, T. A. 2006a. Estado del conocimiento del estudio sobre mezclas asfálticas modificadas en Colombia. Cartagena. 5as. Jornadas Internacionales del asfalto, 18 pp.

Según Rondón¹⁸

“en el mundo existen dos técnicas de utilización de polímero o aditivos para modificar las propiedades de mezclas asfálticas. La primera es por vía húmeda, en el cual el polímero aditivo es agregado al asfalto a alta temperatura, y luego, este ligante ya modificado es adicionado al agregado pétreo para conformar la mezcla asfáltica. La segunda manera es por vía seca, en el cual el aditivo reemplaza parte del agregado pétreo (por lo general las partes más finas) y se adiciona a este a alta temperatura para luego recibir el asfalto y formar la mezcla asfáltica.”

El material más utilizado en la actualidad y ya industrializado es el polímero utilizado en vías con alto flujo vehicular, ya que este material brinda la propiedad de dar una larga vida útil, resistencia y flexibilidad que brinda confort al usuario.

1.6.7 Mezcla asfáltica modificada orgánicos

Los agregados atípicos busca mejorar las características físico-mecánicas de la mezcla asfáltica ya sea aumentando la elasticidad, evitar la segregación, aumentar la resistencia a la fatiga, rigidez, mejorar la adherencia de los agregados, cohesión entre los materiales utilizados en la mezcla, dar una mayor durabilidad entre otras.

En la industria existe diversos materiales utilizados como aditivos que pueden brindar beneficios a la mezcla asfáltica, se debe tener en cuenta que no existe un solo componente que pueda brindar todas las características descritas en el párrafo anterior.

¹⁸ RONDÓN, H. A., RODRÓGUEZ, E., MORENO, L.A., Resistencia mecánica evaluada en el ensayo Marshall de mezclas densas en caliente elaboradas con asfaltos modificados con desechos de policloruro de vinilo (PVC), polietileno de alta densidad (PEAD) y poliestireno (PS). Revista Ingenierías, Universidad de Medellín volumen 6, No. 11, pp. 91-104 - ISSN 1692-3324 - Julio-diciembre de 2007/236p. Medellín, Colombia.

Se busca un equilibrio en los materiales que componen la mezcla a la hora de mejorar la composición, ya que debe ser flexible y con gran durabilidad para que perduren en el tiempo.

Las mezclas con agregados orgánicos son poco atendidas e investigadas por la industria de las mezclas asfálticas y por parte de la academia es escasa la investigación y el enfoque que se debe dar a la conciencia ambiental. Por lo anterior se deben realizar aplicaciones de nuevas tecnologías que brinden no solo un beneficio económico sino también contribuir con la disminución de agentes contaminantes. Es precipitado decir que este es una solución ya que esta estudio.

1.7 MARCO LEGAL

En este contexto se hace relación de carácter general a las normas legales expedidas por los entes de control donde se busca dar un buen uso a los materiales y residuos de construcción para este caso la implementación de la mezcla asfáltica en Colombia y los ensayos de laboratorio reglamentados para la aplicación de asfaltos.

Tabla 4. Normas que rigen los procesos del asfalto.

NORMA	No.	AÑO	ENTIDAD	DESCRIPCIÓN
ASFALTO				
INV	748	2013	INVIAS	Esta norma describe los criterios y procesos para determinar la deformación plástica de briquetas de mezclas asfálticas para pavimentación, empleando el aparato Marshall.
INV	760	2013	INVIAS	Esta norma establece los criterios y procesos que se deben tener en cuenta para la determinar las pérdidas por desgaste de las mezclas asfálticas empleando la máquina de Los Ángeles.
INVIAS. CAP 4	convenio interadmi nistrativo 0587-03	2006	INVIAS- Universidad Nacional de Colombia	Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles. Protocolo para la revisión superficial de pavimentos flexibles, INVIAS- Universidad Nacional de Colombia De Carreteras del Instituto

NORMA	No.	AÑO	ENTIDAD	DESCRIPCIÓN
ASFALTO				
				Nacional de Vías – INVIAS. Capítulo 4. Pavimentos asfálticos.
Norma de EPM	NC-MN-OC05-2	2018	Norma de construcción sub-base y base para pavimento EPM	Sub-bases y bases para pavimentos
INVIAS Cap. 3	Artículo 320	2012	INVIAS	Procesos normativos frecuentes de Construcción de Carreteras del Instituto Nacional de Vías – INVIAS. Capítulo 3 – Artículo 320 Sub-base granular.
INVIAS Cap. 3	Artículo 330	2013	INVIAS	Procesos formativos frecuentes de Construcción de Carreteras del Instituto Nacional de Vías – INVIAS. Capítulo 3 – Artículo 330 Base granular.
INVIAS	E-133	2007	INVIAS	Ensayo para determinar el equivalente de arena de suelos y agregados finos.
INVIAS	E-218	2013	INVIAS	Determina Tenacidad al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37,5 mm (1½") por medio de la máquina de Los Ángeles.
INVIAS	E-220	2013	INVIAS	Sanidad de los agregados frente a la acción de las soluciones de sulfato de sodio o de magnesio.

NORMA	No.	AÑO	ENTIDAD	DESCRIPCIÓN
ASFALTO				
INVIAS	E-230	2013	INVIAS	Índice de aplanamiento y de alargamiento de los agregados para carreteras.

Fuente: Montejo, Nieto 2020

Los siguientes documentos normativos referenciados son indispensables para la aplicación de este documento. Para referencias normas, se aplica únicamente la edición citada.

1.7.1 Ensayos de aplicación

- **Norma INV-E-748-13. Resistencia de mezclas asfálticas en caliente empleando el aparato Marshall**

En esta norma se consideran los aspectos técnicos – teóricos para la elaboración de las briquetas empleando el aparato Marshall de las mezclas elaboradas con cemento asfáltico y agregados pétreos con tamaño máximo menor o igual a 25.4 mm (1”) AASHTO T 245 – 97 (2004).

La primera parte del procedimiento es preparar briquetas de ensayo, por lo cual los materiales que las componen deben ser aptos, de buena calidad y que cumplan con la granulometría expuesta por la norma. Por otra parte, se debe obtener la gravedad específica bulk de los agregados, la gravedad específica del asfalto, y se debe realizar un análisis de densidad vacíos de las briquetas de estudio, como lo establece la norma INV-E-748-13.

Para obtener el contenido óptimo de asfalto para una dosificación de agregados, se deben realizar un grupo de briquetas con distintos porcentajes de ligante asfáltico y realizar una gráfica con los valores adquiridos después de ser ensayadas, para así determinar el valor “óptimo de asfalto”. Definidos en el artículo INV 450-13¹⁹.

Foto 1. Máquina para prueba de estabilidad Marshall



Fuente. Montejo, Nieto / laboratorio de materiales,
U. Católica de Colombia 2019

¹⁹ INVIAS. INV E-748-13. estabilidad y flujo de mezclas asfálticas en caliente empleando el equipo Marshall. Bogotá: Ministerio de Transporte, 2013. Vol. Sección 700. [en Línea]. Colombia [Citado 18-Julio-2020]. Disponible en internet: ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_INV-07/Normas/Norma%2520INV%2520E-748-07.pdf+%&cd=1&hl=es-419&ct=clink&gl=co

1.8 MARCO CONCEPTUAL

- **Asfalto MDC-19:** El asfalto es un hidrocarburo utilizado con otros productos o agregados para la construcción de pavimento o para impermeabilizar.
“Mezcla asfáltica densa en caliente de gradación continua, con agregado de tamaño máximo 19 mm, que se usa generalmente para construir capas de rodadura en vías con tráfico medio y alto”.²⁰
- **Pavimento modificado:** inicialmente los asfaltos modificados se implementaron en las emulsiones para impermeabilizar y después se empezó a utilizar en los mezclas asfálticas; se realizan modificaciones inicialmente con polímeros, pero la industria ha implementado diferentes materiales siempre en busca de mejorar la calidad o mayor resistencia que la que ofrece un asfalto normal²¹.
- **Mezcla Asfáltica:** es una composición de cemento asfáltico y agregados pétreos en dosificaciones exactas anteriormente desarrolladas que se utiliza en la construcción de vías y aeropistas como capa protectora impermeable y de rodadura.
- **Ensayo Marshall:** La norma de este ensayo especifica el procedimiento o pasos a seguir para determinar la tenacidad a la deformación plástica de las briquetas de la mezcla asfáltica, empleando el aparato Marshall.

²⁰ Xiao, Y. (2009). Evaluation of engineering properties of hot mix asphalt concrete for the Mechanistic-empirical pavement design. Tallahassee: Florida State University. [en Línea]. Colombia [Citado 22-Julio-2020]. Disponible en internet: <https://diginole.lib.fsu.edu/islandora/object/fsu:168556/datastream/PDF/view>

²¹ RODRÍGUEZ, Rogelio. Emulsiones asfálticas. Sanfandila, México: secretaria de transportes de México, 2001. [en Línea]. Colombia [Citado 22-Julio-2020]. Disponible en internet: <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/DocumentoTecnico/dt23.pdf>

- **Residuo:** “Parte o porción que queda de un todo. Aquello que resulta de la descomposición o destrucción de algo. Material que queda como inservible después de haber realizado un trabajo u operación”²².
- **Agregado Natural:** Los agregados también llamados áridos son aquellos materiales inertes, de forma granular, naturales o artificiales, que aglomerados por el cemento Portland en presencia de agua forman un todo compacto (piedra artificial), conocido como concreto u hormigón.²³
- **Orgánico:** Orgánico es un término genérico para designar procesos asociados a la vida o para referirse a sustancias generadas por procedimientos en que intervienen organismos vivos.

²² RAE. REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. DICCIONARIO DE LENGUA ESPAÑOLA. s.l.: [en Línea]. Colombia [Citado 22-Julio-2020]. Disponible en internet: <https://dle.rae.es/?id=W9sEaKE>.

²³ Afaf, A. H. M. (2014). Effect of aggregate gradation and type on hot asphalt concrete mix Properties. Civil Eng. Dep., Faculty of Eng., Minia University, 42(3), 567-574. [en Línea]. Colombia [Citado 23-Julio-2020]. Disponible en internet: http://www.aun.edu.eg/journal_files/158_J_423.pdf.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

La metodología planteada en esta investigación, se desarrolló a partir de fuentes bibliográficas existentes de nivel académico y científico sobre los asfaltos modificados y convencionales, adicionalmente se consultó la normatividad colombiana que controla y estandariza los ensayos, la metodología de los mismo, los criterios que se deben tener en cuenta tanto en laboratorios como en el proceso constructivo o de implementación de dichos asfaltos.

Cabe resaltar que inicialmente el trabajo se fundamenta en un Asfalto MDC-19 con agregado de guadua triturado, pero debido a la situación mundial que se atraviesa, limitó la culminación de los laboratorios que se venían implementando para el desarrollo del trabajo de grado.

Asimismo, en la elaboración del presente trabajo la metodología se plantea para cumplir con los objetivos establecidos y darle conclusión al planteamiento del problema.

Este procedimiento se divide en dos partes:

- Ensayos de laboratorio para hallar el porcentaje óptimo de asfalto convencional.
- investigación de asfaltos convencionales y modificados.

2.1. LABORATORIOS

2.1.1. Caracterización del agregado

SELECCIÓN DEL MATERIAL

El material se obtuvo de la planta de producción el Tunjuelo (Concrescol S.A.), ubicada en la ciudad de Bogotá.

ENSAYOS DE LABORATORIO PROPIEDAD COMPOSICIÓN

Para realizar los ensayos es necesario mezclar el material granular adecuadamente para realizar un cuarteo manual como lo menciona el método B de la norma **INVE – 202-13**, se evidencia en la fotografía.

Foto 2. Cuarteo de muestra, material granular



Fuente. Montejo, Nieto / laboratorio de materiales, U. Católica de Colombia
2020

2.1.2. Ensayo propiedad composición - granulometría INV E – 213-13

La granulometría es “una muestra de agregado seco, de masa conocida, se separa a través de una serie de tamices de abertura progresivamente más pequeña, con el fin de determinar la distribución de los tamaños de sus partículas”²⁴, esto con el fin de clasificar el material por tamaños.

En la fotografía 3 se evidencia el paso del material por los tamices para así obtener las curvas granulométricas.

Foto 3. Ensayo de granulometría



Fuente: Montejo, Nieto / laboratorio de pavimentos, U. Católica de Colombia 2020

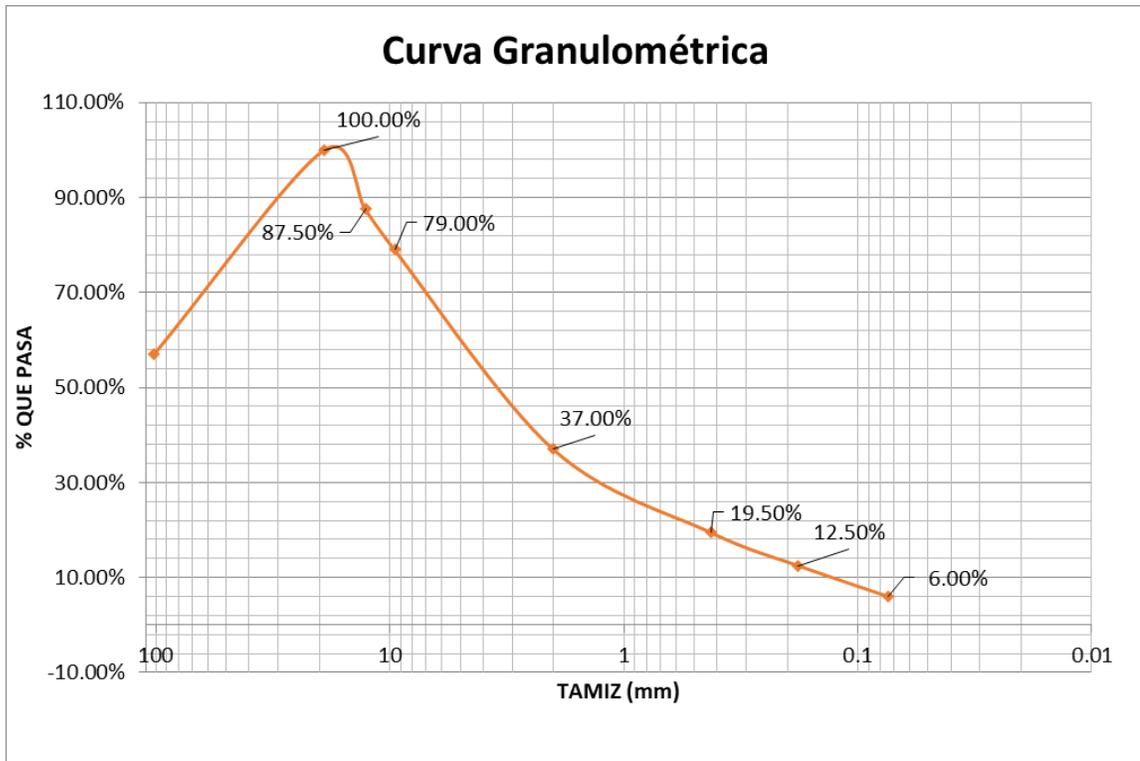
²⁴INVIAS. INV E-213-13. *GRANULOMETRÍA*. Bogotá: Ministerio de Transporte, 2013. Vol. Sección 200. [en Línea]. Colombia [Citado 28-Julio-2020]. Disponible en internet: ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_INV-07/Normas/Norma%2520INV%2520E-213-07.pdf+%&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=co

Tabla 5. Granulometría para asfalto convencional MDC-19

TAMIZ		MASA RETENID A (gr)	% RETENID O	% ACUMULAD O	% QUE PASA UNIFICAD O
No.	mm				
No 4	101.6	264	22.00%	43.00%	57.00%
3/4"	19.1	0	0.00%	0.00%	100.00%
1/2"	12.7	150	12.50%	12.50%	87.50%
3/8"	9.52	102	8.50%	21.00%	79.00%
No. 10	2	240	20.00%	63.00%	37.00%
No. 40	0.425	210	17.50%	80.50%	19.50%
No. 80	0.18	84	7.00%	87.50%	12.50%
No. 200	0.074	78	6.50%	94.00%	6.00%
FONDO		72	6.00%	100.00%	0.00%
TOTAL		1200	100.00%		

Fuente: Montejo, Nieto 2020

Grafica 1. Granulometría



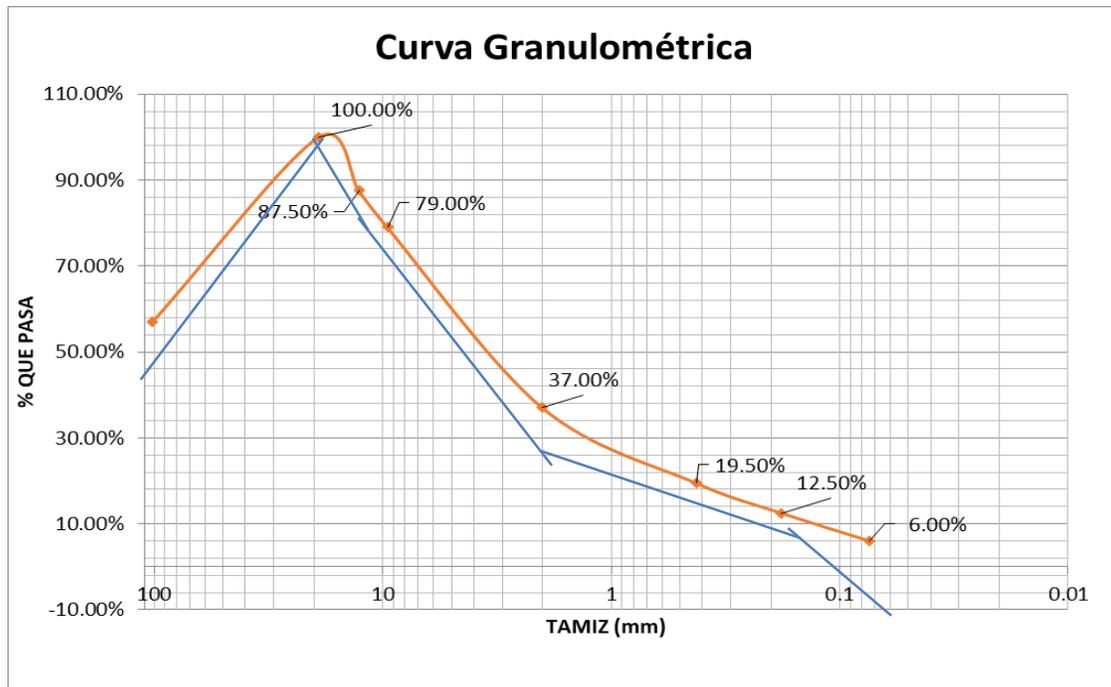
Fuente: Montejo, Nieto 2020

Tabla 6. “Franjas granulométricas para mezclas asfálticas en caliente gradación continua”²⁵

TIPO DE MEZCLA		TAMIZ (mm / U.S. Standard)									
		37.5 1 1/2"	25.0 1"	19.0 3/4"	12.5 1/2"	9.5 3/8"	4.75 No. 4	2.00 No. 10	0.425 No. 40	0.180 No. 80	0.075 No. 200
		% PASA									
DENSA	MDC-25		100	80-95	67-85	60-77	43-50	20-45	14-25	8-17	4-8
	MDC-19			100	80-95	70-88	49-65	29-45	14-25	8-17	4-8
	MDC-10					100	65-87	43-61	16-29	9-19	5-10
SEMIDENSA	MSC-25		100	80-95	65-80	55-70	40-55	24-38	9-20	6-12	3-7
	MSC-19			100	80-95	65-80	40-55	24-38	9-20	6-12	3-7
GRUESA	MGC-38	100	75-95	65-85	47-67	40-60	28-46	17-32	7-17	4-11	2-6
	MGC-25		100	75-95	55-75	40-60	28-46	17-32	7-17	4-11	2-6
ALTO MÓDULO	MAM-25		100	80-95	65-80	55-70	40-55	24-38	10-20	8-14	6-9
TOLERANCIAS EN PRODUCCIÓN SOBRE LA FÓRMULA DE TRABAJO (±)		4 %					3 %			2 %	

Fuente: INVIAS. Artículo 450-13

Grafica 2. Granulometría (Formula de trabajo vs INVIAS 2017)



²⁵ INVIAS. ARTÍCULO 450-13. MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE DE GRADACIÓN CONTINUA (CONCRETO ASFÁLTICO). Bogotá: Ministerio de transporte, 2013. Sección 400. [en Línea]. Colombia [Citado 28-Julio-2020]. Disponible en internet: tp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_INV07/Especificaciones/Articulo450-07.pdf+&cd=2&hl=es-419&ct=clnk&gl=co.

2.1.3. Ensayo geometría de las partículas – porcentaje de partículas fracturadas en un agregado grueso INV E – 227-13

Uno de los propósitos de esta prueba es “maximizar la resistencia al corte, incrementando la fricción entre partículas en mezclas de agregados, ligadas o no. Otro propósito, es dar estabilidad a los agregados, ligadas o no.”²⁶

Tabla 7. Caracterización de caras fracturadas

CARAS FRACTURADAS A PARTIR DE UNA CARA					
TAMIZ		Masa Porción de Ensayo (gr)	Masa de partículas fracturadas (gr)	Masa de partículas No fracturadas (gr)	Porcentaje de partículas con el número específico de caras fracturadas (%)
Pasa	Retiene				
Tamaño máximo de la muestra	3/8"	1104.9	1087.4	17.5	98
3/8"	N° 4	226.2	217.5	8.7	96
CARAS FRACTURADAS APARTIR DE DOS CARA					
TAMIZ		Masa Porción de Ensayo (gr)	Masa de partículas fracturadas (gr)	Masa de partículas No fracturadas (gr)	Porcentaje de partículas con el número específico de caras fracturadas (%)
Pasa	Retiene				
Tamaño máximo de la muestra	3/8"	1104.9	1032.1	72.8	93
3/8"	N° 4	226.2	215.3	10.9	95

Fuente: Montejo, Nieto 2020

En la Foto 4 se evidencia la inspección detallada del material y su separación por caras fracturadas.

²⁶ INVIAS. INV E-227-13. PORCENTAJE DE PARTÍCULAS FRACTURADAS EN UN AGREGADO GRUESO. Bogotá: Ministerios de Transporte, 2013. Vol. Sección 200.

Foto 4. Ensayo Caracterización de material por el método de caras fracturadas



Fuente. Montejo, Nieto / laboratorio de pavimentos, U. Católica de Colombia 2020

2.1.4. Ensayo geometría de las partículas – índice de aplanamiento y alargamiento de los agregados para carreteras INV E – 230-13

Este ensayo permite identificar y seleccionar la forma de los agregados gruesos ya que “...es importante en la construcción de carreteras, porque las partículas de forma defectuosa suelen generar inconvenientes. Las partículas planas y alargadas tienden a producir mezclas de concreto poco trabajables lo que puede afectar su durabilidad a largo plazo.”²⁷

²⁷ INVIAS. INV E- 230-13. ÍNDICE DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO DE LOS AGREGADOS PARA CARRETERAS. Bogotá: Ministerio de Transporte, 2013. Vol. Sección 200.

Tabla 8. Datos Índice de Aplanamiento

TAMIZ		MASA DE LAS PARTÍCULAS EN CADA FRACCIÓN (gr)	MASA DE LAS PARTÍCULAS PLANAS QUE PASAN (gr)	ÍNDICE DE APLANAMIENTO POR FRACCIÓN (%)
PASA	RETIENE			
1 1/2"	1"	0	0	0
1"	3/4"	0	0	0
3/4"	1/2"	370.8	41.5	11.2
1/2"	3/8"	734.1	106.7	14.5
3/8"	1/4"	643.3	150.5	23.4
TOTAL		1748.2	298.7	17.1
				ÍNDICE DE APLANAMIENTO GLOBAL (%)

Fuente: Montejo, Nieto 2020

Foto 5. Ensayo Índice de aplanamiento



Fuente. Montejo, Nieto / laboratorio de pavimentos, U. Católica de Colombia 2020

Tabla 9. Datos Índice de Alargamiento

TAMIZ		MASA DE LAS PARTÍCULAS EN CADA FRACCIÓN (gr)	MASA DE LAS PARTÍCULAS LARGAS RETENIDAS (gr)	ÍNDICE DE ALARGAMIENTO POR FRACCIÓN (%)
PASA	RETIENE			
1 1/2"	1"	0	0	
1"	3/4"	0	0	
3/4"	1/2"	370.8	28.2	7.6
1/2"	3/8"	734.1	65.3	8.9
3/8"	1/4"	643.3	70.8	11.0
TOTAL		1748.2	164.3	9.4
				ÍNDICE DE ALARGAMIENTO GLOBAL (%)

Fuente: Montejo, Nieto 2020

Foto 6. Ensayo Índice de alargamiento



Fuente. Montejo, Nieto / laboratorio de pavimentos, U. Católica de Colombia 2020

2.1.5. Ensayo propiedad limpieza – equivalente de arena y de suelos y agregados finos INV E – 133-13

“Este ensayo tiene por objeto determinar, bajo condiciones normalizadas, las proporciones relativas de polvo y materiales de apariencia arcillosa o finos plásticos presentes en suelos o agregados finos de tamaño inferior a 4.75 mm. Este método de ensayo permite determinar rápidamente en campo, variaciones de calidad de agregados durante su producción o colocación.”²⁸

²⁸ INVIAS. INV E-133-13. EQUIVALENTE DE ARENA Y DE SUELOS Y AGREGADOS FINOS. Bogotá: Ministerio de Transporte, 2013. Vol. Sección 100. [en Línea]. Colombia [Citado 02-Agosto-2020]. Disponible en internet: file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/899-e-133.pdf.

Tabla 10. Datos Equivalente de arena

PRUEBA N°	1	2	3
Lectura Arcilla (mm)	180	182	186
Lectura de Arena, Incluida longitud del indicador de lectura (mm)	336	338	338
Lectura Arena (mm)	82	84	84
Equivalente de arena (%)	45.556	46.154	45.161
Equivalente de arena (%) Redondeado cifra Mayor	46	47	46
Método de ensayo	Manual		
Longitud de indicador de Arena (mm)	254		
EQUIVALENTE DE ARENA PROMEDIO	46		

Fuente: Montejo, Nieto 2020

Foto 7. Ensayo Equivalente de Arena



Fuente. Montejo, Nieto / laboratorio de pavimentos, U. Católica de Colombia 2020

2.1.6. Ensayo propiedad limpieza – valor de azul de metileno en agregados finos INV E – 235-13

Este ensayo estima “la cantidad de arcilla nociva presente en un agregado. Un valor de azul significativo indica una gran cantidad de arcilla presente en la muestra.”²⁹

Tabla 11. Datos Azul de metileno

Fracción que pasa Tamiz 75 μm	X
Volumen total añadido de solución de azul de metileno (ml)	16.5
Masa de la muestra seca de ensayo (g)	30
VALOR DE AZUL DE METILENO (%)	5.5

Fuente: Montejo, Nieto 2020

Foto 8. Ensayo Azul de metileno



Fuente. Montejo, Nieto / laboratorio de pavimentos, U. Católica de Colombia 2020

²⁹ INVIAS. INV E-235-13. VALOR DE AZUL DE METILENO EN AGREGADOS FINOS. Bogotá: Ministerio de Transporte, 2013. Vol. Sección 200. [en Línea]. Colombia [Citado 05-Agosto-2020]. Disponible en internet: ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_INV-07/Normas/Norma%2520INV%2520E-235-07.pdf+%&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=co.

2.1.7. Ensayo propiedad dureza – resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores a 37.5 mm (1 1/2") por medio de la máquina de los ángeles INV E – 218-13

“Este ensayo mide la degradación de un agregado pétreo con una composición granulométrica definida, como resultado de una combinación de acciones que incluyen abrasión, impacto y molienda en un tambor de acero rotatorio que contiene un número determinado de esferas metálicas”³⁰

Ilustración 4. Degradación del agregado durante el ensayo de la máquina de los Ángeles



Fuente: INVIAS. INV E-218-13

Tabla 12. Granulometrías de las muestras

TAMICES		GRANULOMETRÍA PARA ENSAYO						
		INV E218-13				INV E219-13		
PASA	RETENIDO	A	B	C	D	E	F	G
3" (75mm)	2 1/2" (63mm)	-	-	-	-	2500±5 0	-	-
2 1/2" (63mm)	2" (50mm)	-	-	-	-	2500±5 0	-	-
2" (50mm)	1 1/2" (37.5mm)	-	-	-	-	5000±5 0	5000±5 0	-
1 1/2" (37.5mm)	1" (25mm)	1250±2 5	-	-	-	-	5000±2 5	5000±2 5

³⁰ INVIAS. INV E-218-13. Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores a 37.5 mm (1 1/2") por medio de la máquina de los Ángeles. Bogotá: Ministerio de Transporte, 2013. Vol. Sección 200.

TAMICES		GRANULOMETRÍA PARA ENSAYO						
		INV E218-13				INV E219-13		
1" (25mm)	3/4" (19mm)	1250±2 5	-	-	-	-	-	5000±2 5
3/4" (19mm)	1/2" (12.5mm)	1250±1 0	2500±1 0	-	-	-	-	-
1/2" (12.5mm)	3/8" (9.5mm)	1250±1 0	2500±1 0	-	-	-	-	-
3/8" (9.5mm)	1/4" (6.3mm)	-	-	2500±1 0	-	-	-	-
1/4" (6.3mm)	N° 4 (4.75mm)	-	-	2500±1 0	-	-	-	-
N° 4 (4.75mm)	N° 8 (2.36mm)	-	-	-	5000±1 0	-	-	-
N° de esferas		12	11	8	6	12	12	12
N° de revoluciones		500	500	500	500	1000	1000	1000

Fuente: INVIAS. INV E218-13 Y E219 -13

Tabla 13. Datos resistencia Máquina de los Ángeles

PRUEBA	En seco 100 Rev	En seco 500 Rev	Después de 48h de inmersión 500 Rev
Gradación Usada	B	B	B
N° de esferas	11	11	11
N° de revoluciones	100	500	500
Masa muestra seca inicial de ensayo (g)	5001.3	5001.3	5002.4
Masa muestra seca después de ensayo (g)	4816.5	3752.9	3680.4
Diferencia de muestra (g)	184.8	1248.4	1322
DESGASTE DE LA MUESTRA (%)	4	25	26
RELACIÓN HÚMEDO / SECO A 500 REV.	1		

Fuente: Montejo, Nieto 2020

Foto 9. Ensayo Máquina de los Ángeles



Fuente. Montejo, Nieto / laboratorio de pavimentos, U. Católica de Colombia 2020

2.1.8. Ensayo propiedad dureza –determinación de la resistencia del agregado grueso a la degradación por abrasión, utilizando el aparato de micro-deval INV E – 238-13

“El ensayo Micro-Deval determina la resistencia a la abrasión y la durabilidad de agregados pétreos, como resultado de la abrasión y molienda con esferas de acero en presencia de agua.”³¹

Ilustración 5. Degradación del agregado durante el ensayo de Micro-Deval



³¹ INVIAS. INV E-238-13. Determinación de la resistencia del agregado grueso a la degradación por abrasión, utilizando el aparato de micro-deval. Bogotá: Ministerio de Transporte, 2013. Vol. Sección 200. [en Línea]. Colombia [Citado 12-Agosto-2020]. Disponible en internet: ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_INV07/Normas/Norma%2520INV%2520E-238-07.pdf+%&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=co.

Tabla 14. Condiciones de ensayo INV E-238-13

TAMICES		MASA GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA (g) TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO			CONDICIONES DE ENSAYO			
PASA	RETIENE	A= ≥3/4"	B= 1/2"	C= ≤3/8"	Tamaño nominal max.	Carga abrasiva (g)	Tiempo de ensayo (min)	Número de revoluciones RPM
3/4" (19.0)	5/8" (16.0)	375			A=≥3/4	5000+/-5	120 +/-1	12000±100
5/8" (16.0)	1/2" (12.5)	375			"			
1/2" (12.5)	3/8" (9.5)	750	750		B= 1/2"	5000+/-5	105 +/-1	10500±100
3/8" (9.5)	1/4" (6.3)		375	750				
1/4" (6.3)	N°4 (4.8)		375	750	C=≤3/8	5000+/-5	95 +/-1	9500±100
N°4 (4.8)	N°8 (2.36)				"			

Fuente: INVIAS. INV E-238-13

Tabla 15. Datos ensayo Micro-Deval

PRUEBA N°	1	2
Gradación usada	B= 1/2"	B= 1/2"
Masa de esferas (g)	1500.1	1500.5
N° de revoluciones totales (RPM)	10500	10500
Masa muestra seca inicial (g)	1501.2	1500
Masa muestra seca final (g)	1330.8	1323.4
Diferencia de muestras (g)	170.4	176.6
PERDIDA MICRO-DEVAL (%)	11.4	11.8
PERDIDA MICRO-DEVAL PROMEDIO (%)	11.6	

Fuente: Montejo, Nieto 2020

Foto 10. Ensayo Micro-Deval



Fuente. Montejo, Nieto / laboratorio de pavimentos, U. Católica de Colombia 2020

2.1.9. Ensayo propiedad dureza –determinación del valor del 10% de finos INV E – 224-13

Este ensayo “cubre un procedimiento para evaluar la resistencia mecánica de un agregado grueso al aplastamiento cuando es sometido a un esfuerzo de compresión, determinando la carga necesaria para que el agregado produzca 10% de finos, constituidos por el material que pasa el tamiz de 2.36mm (N°8).”³²

Tabla 16. Datos ensayo 10% finos

MATERIAL SECO	
Masa del agregado usado que contiene el recipiente cilíndrico (g)	2694
Masa del material retenido en el tamiz N° 8 después de la aplicación de carga f (g)	2431.5
Masa del material pasante en el tamiz N° 8 después de la aplicación de carga f (g)	262.5
Penetración del pistón de carga (mm)	22
PORCENTAJE DE FINOS m (%)	9.7
VALOR EN SECO CARGA f (KN)	204.6
VALOR EN SECO CALCULADO AL 10% DE FINOS (CARGA KN)	208.41
MATERIAL SATURADO CON SUPERFICIE SECA SSS, DESPUÉS DE 48h DE INMERSIÓN EN AGUA	
Masa del agregado usado que contiene el recipiente cilíndrico (g)	2677.1
Masa del material retenido en el tamiz N° 8 después de la aplicación de carga f (g)	2412.9
Masa del material pasante en el tamiz N° 8 después de la aplicación de carga f (g)	264.2
Penetración del pistón de carga (mm)	22
PORCENTAJE DE FINOS m (%)	9.9
VALOR EN SECO CARGA f (KN)	183.28
VALOR EN SECO CALCULADO AL 10% DE FINOS (CARGA KN)	185.01
RELACIÓN HÚMEDO/SECO AL 10% DE FINOS	89

Fuente: Montejo, Nieto 2020

³² INVIAS. INV E-224-13. DETERMINACIÓN DEL VALOR DEL 10% DE FINOS. Bogotá: Ministerio de Transporte, 2013. Vol. Sección 200.

Foto 11. Ensayo 10% de finos



Fuente. Montejo, Nieto / laboratorio de pavimentos, U. Católica de Colombia 2020

2.2. LABORATORIOS MEZCLA ASFÁLTICA

2.2.1. Elaboración de briquetas INV E – 748-13

Foto 12. Materiales granulares para la elaboración de las briquetas



Fuente: Montejo, Nieto / laboratorio de pavimentos, U. Católica de Colombia 2020

En la foto 12 se evidencia el material granular con el que se realizaron las briquetas, este debe ser secado a una temperatura de 105 °C y separado por tamaños, posteriormente dosificado y mezclado de manera constante y adecuada. “Los agregados se calientan a una placa de calentamiento o en el horno a una temperatura mayor que la establecida para la mezcla, pero sin excederse en más de 28 °C”³³

³³ INVIAS. INV E-748-13. ESTABILIDAD Y FLUJO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EMPLEANDO EL EQUIPO MARSHALL. Bogotá: Ministerio de Transporte, 2013. Vol. Sección 700.

Foto 13. Mezcla de material granular con cemento asfáltico a 150 °C



Fuente. Montejo, Nieto / laboratorio de pavimentos, U. Católica de Colombia 2020

Para la mezcla del agregado pétreo y el cemento asfáltico es necesario abrir un orificio o espacio en la mitad del agregado para allí verter dicho cemento asfáltico que previamente se había calentado a una temperatura de 150 °C y mezclar hasta generar una muestra homogénea en menos de 60 s, como se ve en la foto 13.

Foto 14. Elaboración de briquetas



Fuente: Montejo, Nieto / laboratorio de pavimentos, U. Católica de Colombia 2020

Para iniciar la compactación de las briquetas se debe calentar todo el equipo de compactación (molde, collar, placa de base y base de martillo de compactación) a una temperatura entre 90 y 150 °C, tal como lo indica la norma. Se debe verter la totalidad de la mezcla en el molde, se golpea la mezcla con la espátula 15 veces y posteriormente se coloca una placa para empezar a compactar con el martillo como se ve en la foto 14.

2.2.2 Ensayo gravedad específica bulk y densidad de mezclas asfálticas compactadas no absorbentes empleando especímenes saturados y superficialmente secos INV E – 733-13

“Los resultados obtenidos al aplicar este método de ensayo se pueden usar para calcular el peso unitario de mezclas asfálticas densas compactas y obtener el porcentaje de vacíos con aire. A su turno, estos valores se pueden usar para determinar el grado relativo de compactación.”³⁴

En la foto 15 se evidencia la toma de dimensiones de las briquetas y la toma de pesos en el ensayo.

³⁴ INVIAS. INV E-733-13. ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS NO ABSORBENTES EMPLEANDO ESPECIMENES SATURADOS Y SUPERFICIALMENTE SE. Bogotá: Ministerio de Transporte, 2013. Vol. Sección 700. [en Línea]. Colombia [Citado 05-Agosto-2020]. Disponible en internet: www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/139-documento-tecnicos

Foto 15. Ensayo Gravedad Específica Bulk



Fuente: Montejo, Nieto / laboratorio de pavimentos, U. Católica de Colombia 2020

2.2.3 Ensayo estabilidad y flujo de mezclas asfálticas en caliente empleando el equipo Marshall INV E – 748-13

Este ensayo “determina la resistencia a la deformación plástica de especímenes de mezclas asfálticas para pavimentación. Los especímenes, de forma cilíndrica y de 102 mm (4”) de diámetro, son sometidos a carga en dirección perpendicular a su eje cilíndrico empleando el aparato de Marshall. El procedimiento se puede emplear

tanto para el proyecto de mezclas en el laboratorio como para el control en obra de las mismas.”³⁵

El objetivo de las mezclas asfálticas es encontrar un equilibrio entre estabilidad, durabilidad, impermeabilidad, trabajabilidad, flexibilidad, resistencia a la fatiga, resistencia al deslizamiento, seguridad, confort y economía. Por esta razón se deben generar una serie de pruebas a los materiales pétreos, el cemento asfáltico y posteriormente verificar que dicha mezcla asfáltica esté cumpliendo la norma establecida.

PROCEDIMIENTO

Para el presente trabajo se realizaron 12 briquetas, con 4.5, 5, 5.5 y 6% de cemento asfáltico (3 briquetas de cada porcentaje) de MDC-19 convencional con las siguientes características:

- Diámetro 10 cm
- Altura 6.32 cm
- Temperatura de mezcla 150 °C
- Temperatura de compactación 135 a 140 °C
- 75 golpes por capa
- Procedencia del agregado pétreo, Concrecol de Colombia
- Tipo de cemento Asfáltico 60-70
- Gs. A. Pétreos, Grava 264 g/cm³ - Finos 252 g/cm³.
- Gs. Asfalto 1.012 g/cm³.

Al tener las briquetas se fallan con la máquina de compresión y se determina la estabilidad, flujo y contenido óptimo de asfalto. Siendo la estabilidad la resistencia

³⁵ INVIAS. INV E-748-13. ESTABILIDAD Y FLUJO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EMPLEANDO EL EQUIPO MARSHALL. Bogotá: Ministerio de Transporte, 2013. Vol. Sección 700. [en Línea]. Colombia [Citado 09-Agosto-2020]. Disponible en internet: www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/139-documento-tecnicos

máxima que desarrolla un espécimen y el flujo es el movimiento total o deformación que ocurre en la muestra entre estar sin carga y con ella.

Foto 16. Ensayo Marshall



Fuente: Montejo, Nieto / laboratorio de pavimentos, U. Católica de Colombia 2020

DATOS LABORATORIO

Tabla 17. Datos Obtenidos del laboratorio Marshall

BRIQUETA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TIPO DE MEZCLA	MDC-19											
% DE ASFALTO	4.5	4.5	4.5	5	5	5	5.5	5.5	5.5	6	6	6
ALTURA DE LA BRIQUETA (cm)	6.23	6.33	6.03	6.33	6.47	6.5	6.23	6.43	6.4	6.1	6.4	6.37
DIAMETRO DE LA BRIQUETA (cm)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm ³)	489.304	497.158	473.596	497.158	508.154	510.510	489.304	505.012	502.656	479.094	502.656	500.300
PESO BRIQUETA EN AIRE SECO (g)	1192	1183	1187	1197	1197	1185	1162	1208	1205	1138	1140	1203
PESO BRIQUETA EN AIRE SSS (g)	1195	1185	1192	1202	1202	1189	1166	1211	1210	1139	1191	1205
PESO BRIQUETA EN AGUA (g)	670.1	669.7	605.4	682	682	653	657	688	683	647	676	684
LECTURA DE CARGA (KN)	12.07	12.54	11.98	13	12.86	12.75	13.52	13.8	13.07	9.09	11.56	11.97
FLUJO (1/100)	160	160	160	155	160	155	150	150	145	160	160	165
FLUJO PROMEDIO (1/100)	160			156.67			148.33			161.67		

Fuente: Montejo, Nieto 2020

CÁLCULOS

Tabla 18. Cálculos obtenidos del laboratorio Marshall y gravedad específica Bulk

% Asfalto	INV E-748-13				Promedio Flujo (mm)	Relación Estabilidad / Flujo (kg/mm)	INV E-733-13				% DE AGUA ABSORBIDA
	Estabilidad (kg)	Promedio Estabilidad (kg)	Promedio Estabilidad (N)	Flujo (mm)			Promedio Relación Estabilidad / Flujo (kg/mm)	Gravedad Específica Bulk	Promedio Gravedad Específica Bulk	Densidad (g/cm ³)	
4.5	1207	1219.667	11964.930	4.064	4.064	296.998	300.115	2.271	2.197	2.190	0.572
4.5	1254			4.064		308.563		2.296			0.388
4.5	1198			4.064		294.783		2.024			0.852
5.0	1300	1287.000	12625.470	3.937	3.979	330.201	323.496	2.302	2.272	2.265	0.962
5.0	1286			4.064		316.437		2.302			0.962
5.0	1275			3.937		323.851		2.211			0.746
5.5	1352	1346.333	13207.530	3.81	3.723	354.856	361.747	2.283	2.293	2.286	0.962
5.5	1380			3.675		375.510		2.310			0.746
5.5	1307			3.683		354.874		2.287			0.786
6.0	909	1087.333	10666.740	4.064	4.106	223.671	264.577	2.313	2.279	2.272	0.574
6.0	1156			4.064		284.449		2.214			0.949
6.0	1197			4.191		285.612		2.309			0.203

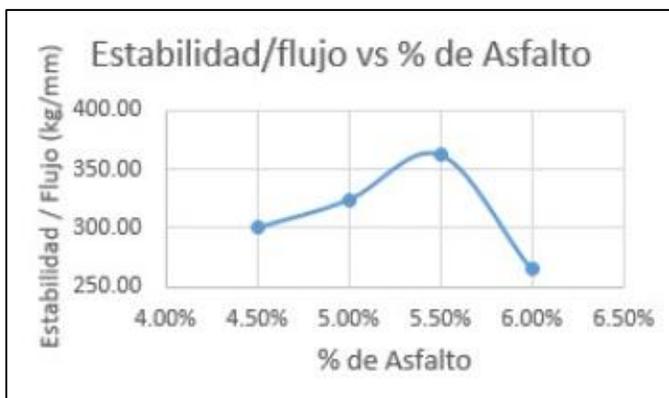
Fuente. Montejo, Nieto 2020.

GRÁFICAS

Tabla 19. Datos de graficas Marshall

% Asfalto	Promedio Estabilidad (N)	Promedio Flujo (mm)	Promedio Relación Estabilidad / Flujo (kg/mm)
4.50%	11964.930	4.064	300.11
5.00%	12625.470	3.979	323.50
5.50%	13207.530	3.723	361.75
6.00%	10666.740	4.106	264.58

Grafica 4. Estabilidad /Flujo vs % de Asfalto mezcla convencional MDC-19



Grafica 3. Estabilidad vs % de Asfalto mezcla convencional MDC-19



Grafica 5. Flujo vs % de Asfalto mezcla convencional MDC-19



Fuente: Montejo, Nieto 2020

Tabla 20. Cálculos volumen de vacíos

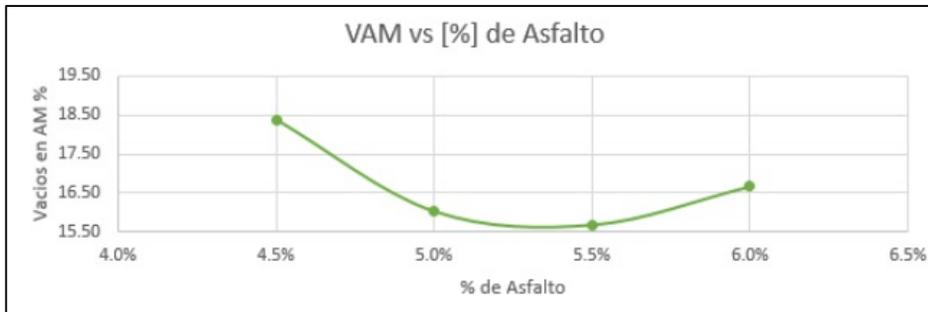
Vol. Agreg. [%]	Promedio Vol. Agreg. [%]	Gmm	Promedio Gmm	Vacios [%]	Promedio Vacios [%]	Vol. CA [%]	Promedio Vol. CA [%]	VFA (%)	Promedio VFA (%)	Vacios en AP [%]	Promedio Vacios en AP [%]
84.39	81.63	2.40	2.40	5.52	8.60	10.10	9.77	64.67	56.81	15.61	18.37
85.31		2.40		4.48		10.21		69.49		14.69	
75.19		2.40		15.81		9.00		36.27		24.81	
85.09	83.97	2.39	2.39	3.54	4.81	11.37	11.22	76.28	70.78	14.91	16.03
85.09		2.39		3.54		11.37		76.28		14.91	
81.72		2.39		7.35		10.92		59.76		18.28	
83.94	84.32	2.37	2.37	3.65	3.22	12.41	12.46	77.27	79.54	16.06	15.68
84.93		2.37		2.52		12.55		83.30		15.07	
84.08		2.37		3.50		12.43		78.04		15.92	
84.60	83.34	2.35	2.35	1.69	3.15	13.71	13.51	89.05	82.02	15.40	16.66
80.96		2.35		5.91		13.12		68.94		19.04	
84.45		2.35		1.86		13.69		88.06		15.55	

Fuente: Montejo, Nieto 2020

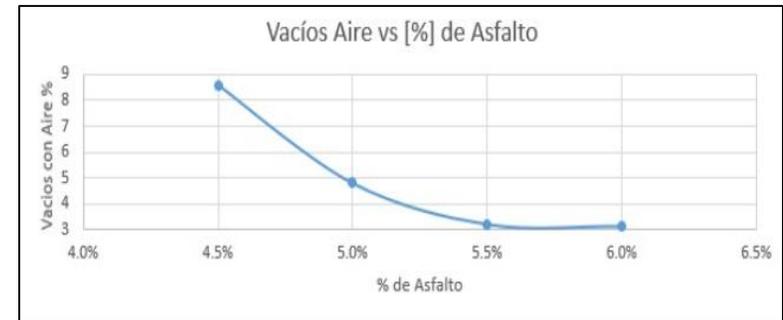
Tabla 21. Datos de Vacíos

% Asfalto	VACIOS		
	VA [%]	VAM [%]	VFA (%)
4.50%	8.60	18.37	56.81
5.00%	4.81	16.03	70.78
5.50%	3.22	15.68	79.54
6.00%	3.15	16.66	82.02

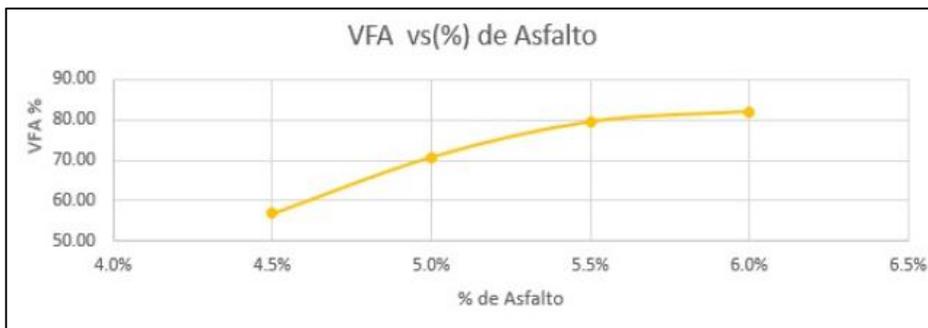
Grafica 7. Vacíos en agregado mineral
% de Asfalto



Grafica 6. Vacíos de aire % de Asfalto



Grafica 8. Vacíos llenos de asfalto %
de Asfalto



Fuente. Montejo, Nieto 2020.

2.2.4 Proyectos utilizados para análisis de comportamiento

Se realiza análisis de 3 proyectos de grado donde se identifica el contraste de materiales con las que fueron modificados estas mezclas asfálticas, tienen agregados con granulo de caucho (extraído de llantas recicladas), y orgánicos como el bagazo de caña y fibra de coco vs convencional MDC-19. En esta investigación se quiso abarcar los diferentes tipos de asfaltos modificados para realizar la comparación en sus propiedades a través del ensayo de Marshall.

En primer lugar se realiza la investigación en el proyectos de grado “análisis del comportamiento físico-mecánico de la mezcla asfáltica tipo MDC-19 con fibra natural de caña de azúcar”, realizada por los estudiantes BEJARANO LOPEZ, JEISSON FABIAN / CAICEDO GARCIA, CARLOS FERNANDO en el 2017, para culminar su requisitos de posgrado en ingeniería civil de la Universidad Católica de Colombia, quienes proponen un trabajo experimental donde se realiza la modificación de una mezcla asfáltica MDC-19 a través del bagazo obtenido del residuo de la caña de azúcar, lo que busca es reemplazar el material pétreo en los siguientes porcentajes, “mezcla asfáltica usando cuatro dosificaciones el 0.25%, 0.5%, 1% y el 3%. Los resultados obtenidos a partir de varios ensayos muestran mejoras considerables en cuanto a la estabilidad de la mezcla especialmente en la dosificación del 0,5%, que vale la pena tener en cuenta y que de uno u otra forma mejoran las propiedades físico-mecánicas del producto resultante.”. Por lo que se utiliza para la aplicación de este proyecto al tener un agregado orgánico y cumplir con el diseño convencional. Aunque los modificados con agregados son pocos tienen que cumplir con el diseño de mezcla MDC-19 para así comparar la efectividad y si pueden llegar a ser una alternativa de mitigación a la contaminación.

En la búsqueda de mezclas asfálticas con las características anteriormente nombradas se encuentra la Universidad Piloto de Colombia, con uno de sus proyectos de grado titulado Mezclas densas en caliente a partir de asfalto natural con adición de fibra de coco, realizada por los estudiantes TOVAR MORENO, DAVID GONZALO / LANDINEZ SAURITH, ALCIDES JOSE, en el año 2015, como requisito para culminar posgrado en ingeniería civil. Este proyecto indaga en realizar un impacto ambiental disminuyendo el residuo producido por el coco a partir de un diseño de mezcla asfáltica con adición de fibra de coco, con este material formar así tres tipos de mezcla:" la primera compuesta por el asfalto natural, la segunda con adición de fibra de coco al asfalto natural y la tercera una mezcla compuesta por asfalto natural, agregados pétreos y fibra de coco." evaluados en el ensayo Marshall.

Con el fin de estudiar por que las mezclas asfálticas modificadas con agregados orgánicos no tienen gran aplicación y poca investigación se distingue la mezcla asfáltica modificada agregado con granulo de caucho reciclado el cual se encuentra ya implementado en la industria de los pavimentos. Se llama a colación el “Estudio comparativo del envejecimiento a largo plazo de una mezcla con asfalto modificado con grano de caucho reciclado”, realizado en año 2019 por los ingenieros AGUDELO CENDALES, MIGUEL ANGEL / MARTÍNEZ GOMEZ, STIVINSON de la Universidad Católica de Colombia para aplicar a su título de especialización en pavimentos. Se realiza una mezcla asfáltica con modificado a la cual realizan el ensayo Marshall y a partir del determinar el estado de envejecimiento, para poder ejecutar este estudio experimental. El envejecimiento a largo plazo del material se aplica a través de un horno aplicando a la mezcla temperaturas de 150 ° C que se encargara de acelerar su tiempo de fraguado. Esta mezcla se encuentra implementada en el mercado de los pavimentos fabricados a nivel industrial.

CAPÍTULO III.

COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

3.1 Comparación de datos obtenidos

3.1.1 Contenido de asfalto

Los contenidos de asfaltos utilizados en las mezclas corresponden a la cantidad de material ligante (asfalto) expuesto a altas temperaturas entre los 150 y 180 grados, este aditivo produce la adherencia de todos los agregados pétreos. Adicionalmente el contenido de asfalto óptimo es logrado al realizar diversos números de briquetas.

Por medio del ensayo Marshall realizado a las briquetas se identifica el porcentaje óptimo de asfalto que se encuentra entre el 5 % y el 7% como se muestra en la tabla 22. Se identifica cada uno de los porcentajes utilizados en los trabajos de grado seleccionados.

Tabla 22. Resultados comparados % Asfalto

DATOS	Montejo, Nieto Convencional	Proyecto de Grado 1 % Bagazo	Proyecto de Grado 2 % Coco	Proyecto de Grado 3 % GCR
Contenido de asfalto	5,5%	5%	6.5%	7%

Fuente. Montejo, Nieto 2020

Se observa que la mezcla asfáltica modificada con GCR, contiene mayor porcentaje de asfalto que los otros, debido a la naturaleza de dicho proyecto puesto que busca evaluar el envejecimiento ya que las partículas de GCR tienen un mejor

comportamiento a la densidad relativa y necesita de una mayor cantidad de ligante por la elevada viscosidad de dicho asfalto, el cual tiene una diferencia porcentual de 27,3% con respecto a la muestra control.

Desde un análisis porcentual podemos evaluar el comportamiento que tienen estos asfaltos frente a la mezcla convencional (muestra control), identificando que la mezcla con adición modificada con caña tiene una diferencia porcentual de - 9,1% y del mismo modo la mezcla modificada con coco presenta una diferencia de 18,2%. Esta diferencia nos indica el comportamiento del material orgánico en la mezcla ya que su naturaleza, fuente de extracción y textura pueden afectar la adherencia de los agregados.

3.3.2 Contenido de modificado

Una mezcla asfáltica modificada representa el porcentaje de agregado pétreo sustituido por un material alternativo, que no solo aporta a la reestructuración del asfalto, también mejorar características físico-mecánicas, implementa nuevas tecnologías y contribuye en otros aspectos, tales como mitigación ambiental reutilizando residuos con una larga vida de descomposición o desechos orgánicos.

Por consiguiente, el contenido de modificado en las mezclas asfálticas analizadas es relativo ya que cada uno de los proyectos tiene un porcentaje de agregado que depende de diferentes factores como lo son materiales, densidades, tamaños y otros componentes que interfieren en la cantidad de modificado por muestra ensayada.

Tabla 23. Resultados comparados % modificación

DATOS	Proyecto de Grado Montejo, Nieto	Proyecto de Grado 1 % Bagazo	Proyecto de Grado 2 % Coco	Proyecto de Grado 3 % GCR
Contenido de modificado	0	0,5	2	2

Fuente. Montejo, Nieto 2020

Por lo anterior se relaciona en la tabla 23 el porcentaje modificado en cada una de los proyectos, evidenciando que no existe comparación en su porcentaje de agregado modificado, puesto que son diferentes materiales.

Una de las principales intenciones del asfalto modificado es disminuir el contenido de agregado pétreo, debido a los daños ambientales que se generan por su explotación. Por lo anterior la mezcla con agregado de bagazo al tener un 0,5%, no proporciona porcentaje considerable para aportar al impacto ambiental.

3.3.3 Estabilidad

La estabilidad en la mezcla asfáltica es la propiedad que tiene de soportar desplazamientos y deformación a los que es sometido por la carga de los vehículos que lo transitan y determinar cuál sería su momento de falla por medio del ensayo Marshall.

Una estabilidad óptima permitirá que el pavimento mantenga su forma para que no se produzcan ahuellamientos y ondulaciones que pueden ocasionar accidentes o daños en los vehículos.

Tabla 24. Resultados Estabilidad

TESIS	%ASFALTO	ESTABILIDAD (N)
Montejo, Nieto 2020	4,5	11960.78
	5	12621.09
	5,5	13202.95
	6	10663.04
Bagazo de Caña 2017	4,5	67861.67
	5	78648.93
	5,5	55309.22
	6	50602.06
Agregado Coco 2015	6,5	7036.2355
Agregado GCR 2019	6	15599.95
	6,5	17799.86
	7	18599.88
	7,5	16899.91

Fuente. Montejo, Nieto 2020

Se realiza la tabla No 24 donde se agrupan los datos obtenidos de la estabilidad de cada uno de los proyectos, se identifica en primera instancia un asfalto convencional MDC-19 el cual se compara con las mezclas modificadas.

El Instituto del Asfalto (The Asphalt Institute's, Manual (MS-2).)³⁶, para la aceptación de un diseño de mezcla de concreto asfáltico se deben tener en cuenta los parámetros que se encuentran en la siguiente tabla:

³⁶ Dr. Abdulhaq Hadi Abedali, The Asphalt Institute's, Manual (MS-2), Hear of Highway and transportation. Faculty of Engineering; Mustansiriyh University en línea : file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Asphalt-Institute-MS2-7th-Edition-Asphalt-Institute-Mix-Design.pdf

Tabla 25. Especificaciones Marshall de diseño.

Marshall Method Criteria ¹	Light Traffic ³ Surface & Base		Medium Traffic ³ Surface & Base		Heavy Traffic ³ Surface & Base	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Compaction, number of blows each end of specimen	35		50		75	
Stability ² , N (lb.)	3336 (750)	-	5338 (1200)	-	8006 (1800)	-
Flow ^{2,4,5} , 0.25 mm (0.01 in.)	8	18	8	16	8	14
Percent Air Voids ⁷	3	5	3	5	3	5
Percent Voids in Mineral Aggregate (VMA) ⁶	See Table 7.3					
Percent Voids Filled With Asphalt (VFA)	70	80	65	78	65	75

Fuente: The Asphalt Institute's, Manual (MS-2).

Tabla 26. Criterios para diseño de concreto asfáltico (Marshall) ³⁷

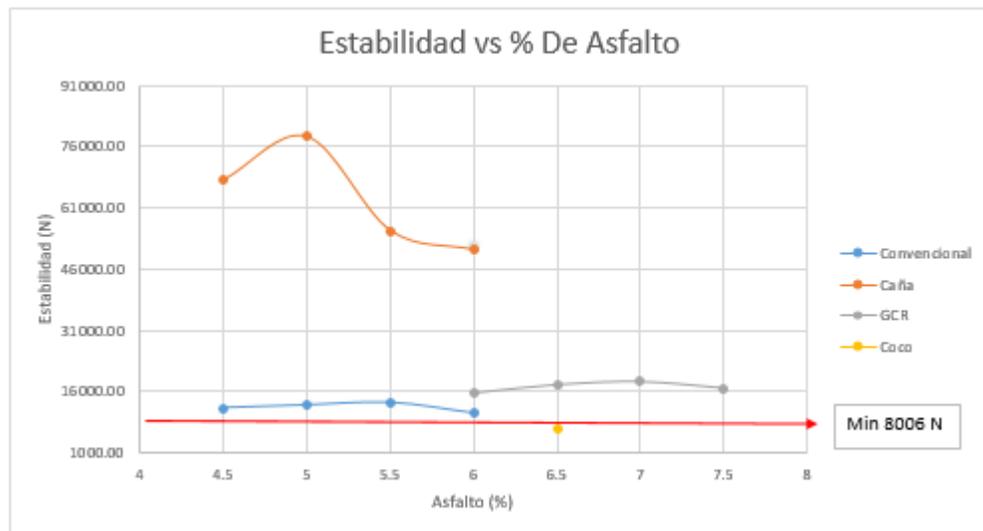
CARACTERÍSTICA	NORMA ENSAYO INV	MEZCLAS DENSAS, SEMIDENSAS Y GRUESAS			MEZCLA DE ALTO MÓDULO	
		CATEGORÍA DE TRÁNSITO				
		NT1	NT2	NT3		
Compactación (golpes/cara)	E-748 (E-800) (Nota 1)	50	75 (112)	75 (112)	75	
Estabilidad mínima (N)		5,000	7,500 (16,875)	9,000 (33,750)	15,000	
Flujo(mm) (Nota 2)		2.0 a 4.0	2.0 a 4.0 (3.0 a 6.0)	2.0 a 3.5 (3.0 a 5.3)	2.0 a 3.0	
Relación Estabilidad / Flujo (kN/mm)		2.0 a 4.0	3.0 a 5.0 (4.5 a 7.5)	3.0 a 6.0 (4.5 a 9.0)	-	
Vacíos con aire (V _a),% (Nota 3)	Rodadura	E-736	3.0 a 5.0	3.0 a 5.0	4.0 a 6.0	NA
	Intermedia	o	4.0 a 8.0	4.0 a 7.0	4.0 a 7.0	4.0 a 6.0
	Base	E-799	NA	5.0 a 8.0	5.0 a 8.0	4.0 a 6.0

Fuente. INVIAS. Disponible en: www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/139-documento-tecnicos

³⁷ INVIAS. MEZCLA ASFÁLTICA NATURAL ARTÍCULO 442P – 17. Bogotá. Especificación particular mezcla asfáltica natural Art. 442P. Página 13 PDF. Disponible en: <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/7032-mezcla-asfaltica-natural-articulo-442p-17/file>

Teniendo en cuenta los parámetros establecidos y aplicando un total de 75 golpes para la compactación de las briquetas, en una mezcla MDC-19, se clasifica en la especificación del método Marshall como un diseño para tráfico pesado. Por lo anterior en la tabla No 25 y 26 se evidencia que la estabilidad de las mezclas modificadas se encuentran por encima del mínimo establecido en la norma a excepción de la mezcla modificada con triturado de cascara de coco.

Grafica 9. Estabilidad vs % Asfalto



Fuente. Montejo, Nieto

En la gráfica 9 donde se compara el porcentaje de asfalto con la estabilidad hallada en cada uno de los proyectos se evidencia lo siguiente:

- Se presenta un único valor en el proyecto modificado con coco, ya que el documento consultado, presenta un solo porcentaje de asfalto. Es evidente que este agregado orgánico no brinda estabilidad a la mezcla asfáltica ya que se encuentra por debajo de los otros datos comparados y adicionalmente no cumple con el mínimo establecido por la norma (Tabla 24). Por lo cual se

puede deducir que dicho agregado no brinda la capacidad de flexibilidad a la mezcla y no es viable implementarla para el uso en una estructura de vía.

- La curva obtenida de los datos de la mezcla con agregado bagazo de caña (residuo caña de azúcar), tiene un comportamiento atípico y elevado frente a la muestra convencional, coco y GCR. Se desconoce los parámetros utilizados por este proyecto y el documento no da claridad sobre los valores obtenidos en la estabilidad ya que solo se registran, no se analizan y supera los estándares de las mezclas industrializadas hasta 10 veces.
- La estabilidad presentada en la mezcla asfáltica con agregado de caucho reciclado presenta un comportamiento similar al convencional y es indudable el incremento de la misma. Por lo anterior dicha alternativa se comporta de manera más adecuada en la propiedad de estabilidad.
- La estabilidad está asociada con la firmeza al corte del material.

3.3.4 Flujo

El flujo en el ensayo Marshall es la deformación de la muestra al aplicar la carga más alta del deformímetro, se encuentra entre el estado elástico del material sin llegar al rompimiento de la misma, ya que debe retornar a su forma inicial.

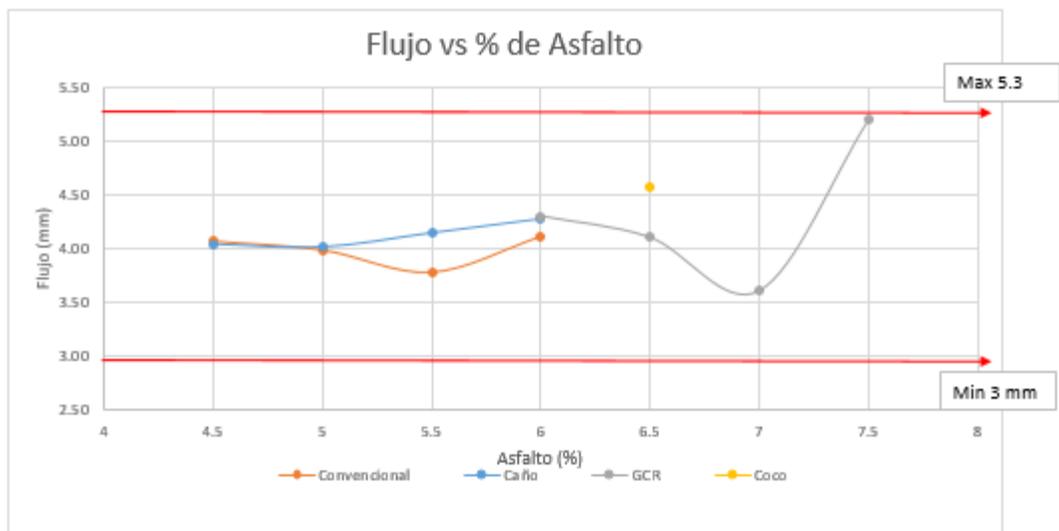
Tabla 27. Resultados flujo

TESIS	%ASFALTO	FLUJO (mm)
Montejo, Nieto 2020	4,5	4,06
	5	3,98
	5,5	3,77

TESIS	%ASFALTO	FLUJO (mm)
	6	4,11
Bagazo de Caña 2017	4,5	4,04
	5	4,01
	5,5	4,14
	6	4,27
Agregado Coco 2015	6,5	4,57
Agregado GCR 2019	6	4,30
	6,5	4,10
	7	3,60
	7,5	5,20

Fuente. Montejo, Nieto.

Grafica 10. Flujo vs % Asfalto



Fuente. Montejo, Nieto 2020

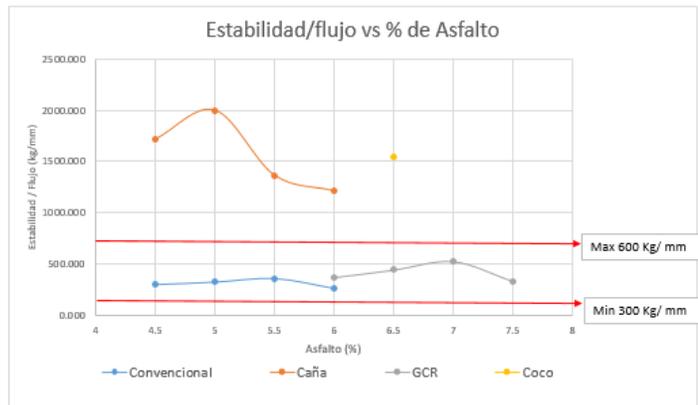
La grafica No 10 compara los flujos obtenidos de cada uno de los proyectos analizados vs la mezcla convencional, se puede observar el siguiente comportamiento:

- La mezcla asfáltica GCR presenta un comportamiento similar a la convencional ya que la tendencia en la gráfica del flujo presenta la misma concavidad dentro del mismo rango, lo que nos lleva a concluir que en el porcentaje óptimo de la mezcla modificada no mejora el flujo ya que su diferencia es de 0,17mm.
- La mezcla modificada con agregado de coco presenta un solo dato de comparación el cual es el óptimo y nos brinda el valor del flujo siendo este de 4,57mm, lo que nos indica que es el más alto dentro de la gráfica de comparación. Este comportamiento puede ser ocasionado posiblemente por la firmeza, forma y textura de este material que puede llevar a que la mezcla tenga mayor resistencia a la deformación.
- Comparando la mezcla control vs la mezcla con agregado de bagazo de caña se evidencia una similitud del flujo en el porcentaje optimo, teniendo los datos de flujo en caña y convencional de 4 .01 mm y 3.77 mm respectivamente, valores que están cumpliendo con la normatividad INVIAS y con la necesidad que dicho asfalto no sea rígido, ni frágil y así tener un buen desempeño en el momento que se apliquen las cargas variables y constantes, a las que se ve sometida una estructura de vida.

3.3.5 Estabilidad/flujo vs % de asfalto

La estabilidad y el flujo refieren un equilibrio que brinda estabilidad y confort al usuario de la vía. La estabilidad otorga a la mezcla asfáltica rigidez, lo que permite durabilidad. Por otra parte, el flujo le da la propiedad de elasticidad, permitiendo que la mezcla asfáltica se deforme y vuelva a su estado inicial. Por lo anterior flujo y estabilidad son complemento uno del otro.

Grafica 11. Estabilidad/Flujo vs % Asfalto



Fuente. Montejo, Nieto 2020

La grafica No 11 representa la Estabilidad/Flujo vs % de asfalto de los proyectos analizados y se identifican los siguientes aspectos:

- La mezcla asfáltica convencional (muestra control) y la modificada con GCR, presentan el mismo comportamiento y están dentro de los rangos establecidos por la norma INVIAS, dicha mezcla con GCR cumple con los requerimientos para ser implementada en una estructura de vía.

- Las mezclas modificadas con agregado orgánico presentan un comportamiento atípico y superior al rango establecido por la norma, lo que genera fluctuación en los datos obtenidos y poca fiabilidad de los mismos.

Tabla 28. Criterio de comprobación del diseño volumétrico de la fórmula de trabajo.

CARACTERÍSTICA	MEZCLAS DENSAS, SEMIDENSAS Y GRUESAS			MEZCLA DE ALTO MÓDULO
	CATEGORÍA DE TRÁNSITO			
	NT1	NT2	NT3	
Relación Estabilidad / Flujo (kg/mm)	200 a 400	300 a 500	300 a 600	-

Fuente. INVIAS

3.3.6 Análisis volumétrico de vacíos

Los vacíos en una mezcla asfáltica cumplen un rol determinante, puesto que afecta el comportamiento de la misma y es indispensable analizar las propiedades volumétricas de una mezcla compactada como lo son los vacíos de aire (VA), vacíos de agregado mineral (VAM) y los vacíos llenados con asfalto (VFA).

Tabla 29. Vacíos en mezclas estudiadas

	Contenido de asfalto (%)	VA [%]	VAM [%]	VFA (%)
TESIS Montejo, Nieto	4.5%	8.60	18.37	56.81
	5.0%	4.81	16.03	70.78
	5.5%	3.22	15.68	79.54
	6.0%	3.15	16.66	82.02
Tesis 3 %GCR	6.0%	3.3	16.9	80.7
	6.5%	2.3	16.2	85.9
	7.0%	1.8	16.7	89.3
	7.5%	0.8	16.9	95.5
Tesis 2 % Coco	6.5%	5.42	–	–

Fuente. Montejo, Nieto 2020

La norma establece unos parámetros de control para los vacíos como se observa en la tabla No 30.

Tabla 30. Criterios para el diseño preliminar de la mezcla asfáltica en caliente de gradación continua por el método Marshall

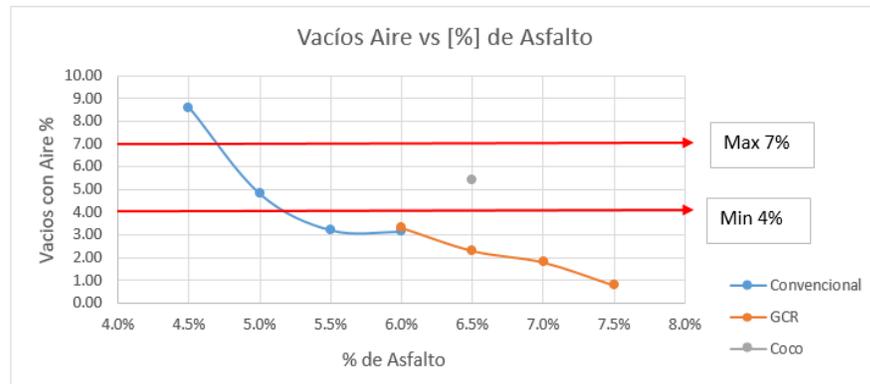
CARACTERÍSTICA	NORMA ENSAYO INV	MEZCLAS DENSAS, SEMIDENSAS Y GRUESAS			MEZCLA DE ALTO MÓDULO	
		CATEGORÍA DE TRÁNSITO				
		NT1	NT2	NT3		
Compactación (golpes/cara)	E-748 (E-800) (Nota 1)	50	75 (112)	75 (112)	75	
Estabilidad mínima (N)		5,000	7,500 (16,875)	9,000 (33,750)	15,000	
Flujo(mm) (Nota 2)		2.0 a 4.0	2.0 a 4.0 (3.0 a 6.0)	2.0 a 3.5 (3.0 a 5.3)	2.0 a 3.0	
Relación Estabilidad / Flujo (kN/mm)		2.0 a 4.0	3.0 a 5.0 (4.5 a 7.5)	3.0 a 6.0 (4.5 a 9.0)	-	
Vacíos con aire (V _a),% (Nota 3)	Rodadura	E-736	3.0 a 5.0	3.0 a 5.0	4.0 a 6.0	NA
	Intermedia	o	4.0 a 8.0	4.0 a 7.0	4.0 a 7.0	4.0 a 6.0
	Base	E-799	NA	5.0 a 8.0	5.0 a 8.0	4.0 a 6.0
Vacíos en los agregados minerales (VAM), % mínimo	T. Máx. 38 mm	E-799	13.0			-
	T. Máx. 25 mm		14.0			14.0
	T. Máx. 19 mm		15.0			-
	T. Máx. 10 mm		16.0			-
Vacíos llenos de asfalto (VFA), %	E-799	65 a 80	65 a 78	65 a 75	63 a 75	
Relación Lienante / Ligante efectivo, en peso	E-799	0.8 a 1.2			1.2 a 1.4	
Concentración de llenante, valor máximo	E-745	Valor crítico				
Evaluación de propiedades de empaquetamiento por el método Bailey	-	Reportar				
Espesor promedio de película de asfalto, mínimo µm	E-741	7.5				

Fuente. INVIAS. Disponible en: www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/139-documento-tecnicos

3.3.7 Vacíos de aire vs % de asfalto

En una mezcla asfáltica compactada los vacíos de aire son los espacios entre las partículas de agregado, en la gráfica No 12 se refleja los vacíos obtenidos de la muestra control, la modificada con GCR y la modificada con coco.

Grafica 12. Vacíos de aire vs % Asfalto



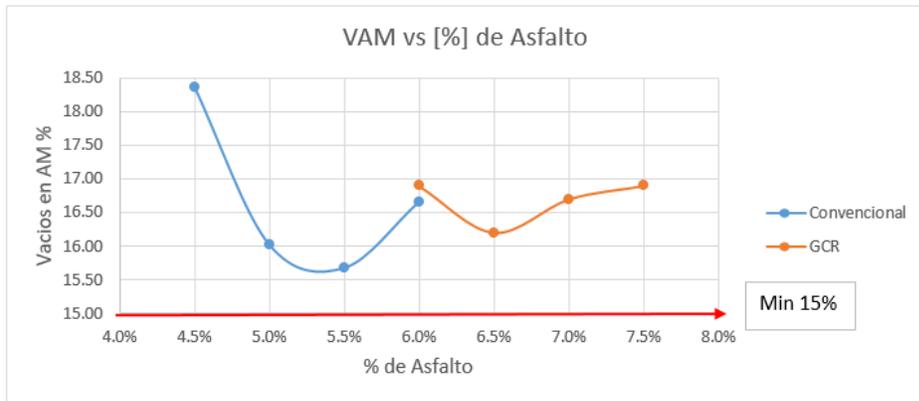
Fuente. Montejo, Nieto 2020

- El parámetro establecido por la norma para una mezcla convencional esta entre el 4% y 7% de vacíos de aire, en la gráfica se observa que la mezcla con agregado de GCR presenta vacíos por debajo del rango mínimo, lo cual evidencia una mayor compactación con dicho agregado modificado. Cabe resaltar que una mezcla asfáltica compactada al presentar menos vacíos de aire tendrá un mejor comportamiento en su vida útil, pero es necesarios que dichas mezclas presenten un porcentaje de vacíos que le permita una compactación posterior a la aplicación de cargas y esfuerzos generados por el tráfico.
- La mezcla asfáltica con agregado de coco presenta un solo punto de comparación que está dentro del rango establecido por la norma.

3.3.8 Vacíos de agregado mineral vs % de asfalto

Los vacíos en el agregado mineral son los espacios intergranulares de aire que están entre las partículas del agregado en una mezcla compactada y permite acomodar el volumen efectivo del asfalto, este es el asfalto que no fue absorbido por los agregados.

Grafica 13. Vacíos de agregado mineral vs % Asfalto



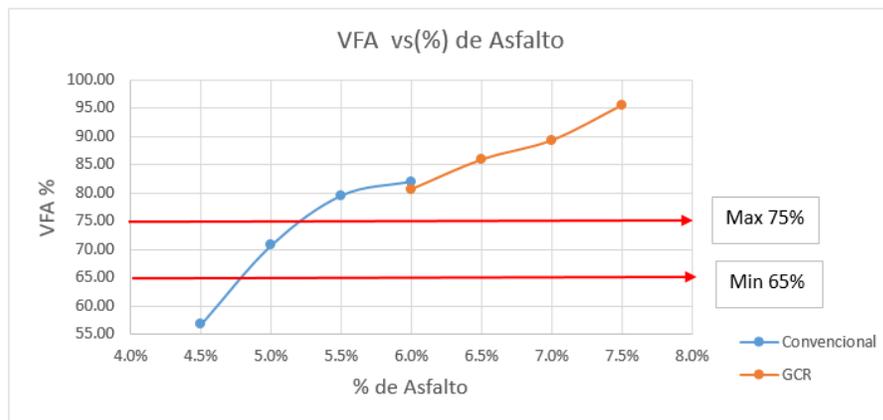
Fuente. Montejo, Nieto 2020

- En la gráfica No 13 se comparan los vacíos de agregado mineral de la mezcla convencional y la modificada con GCR, donde se marca el rango mínimo del VMA el cual está establecido según el tamaño del agregado, para este caso es MDC-19 y el rango mínimo es 15%.

3.3.9 Vacíos llenos de asfalto vs % de asfalto

Los vacíos llenos de asfalto refieren a estos lugares en la mezcla con acumulación de material ligante. La norma INVIAS E-799-07 lo describe como “Es la fracción de los vacíos entre agregados minerales que contiene ligante asfáltico. Se expresa como porcentaje de los vacíos entre agregados minerales o VAM. Estos representan el volumen de asfalto efectivo presente en la mezcla.”³⁸. Los espacios ocupados por el asfalto para la homogeneidad de la mezcla asfáltica se deben encontrar entre un mínimo de 65 % y un máximo de 75%.

Grafica 14. Vacíos de llenados con asfalto vs % Asfalto



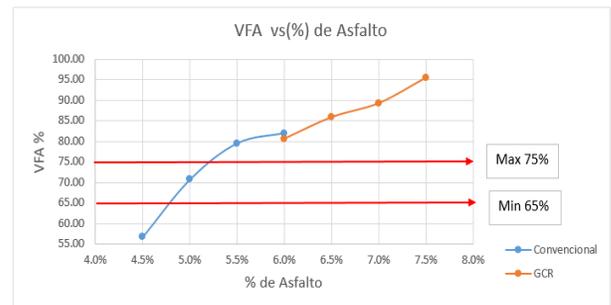
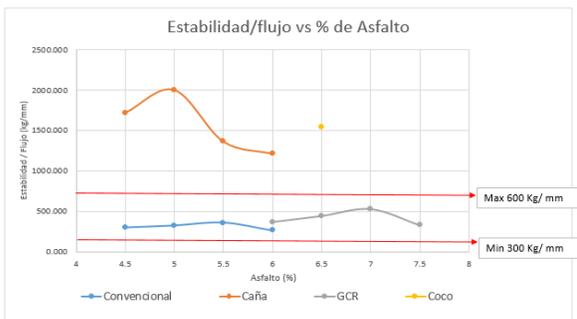
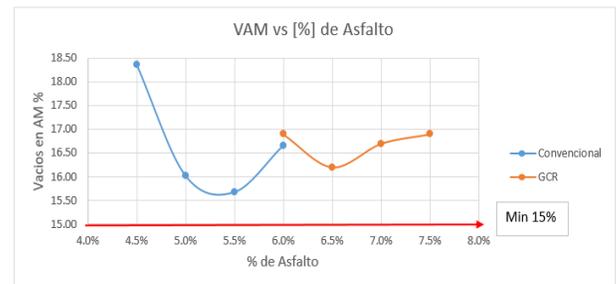
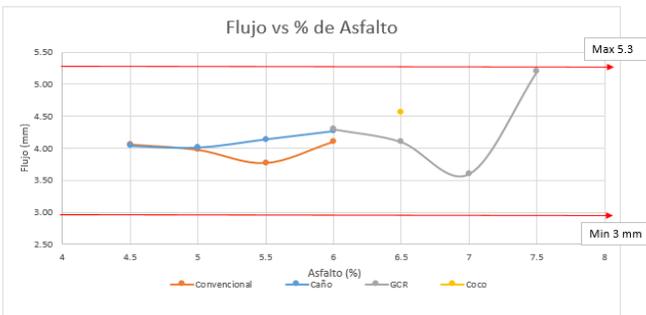
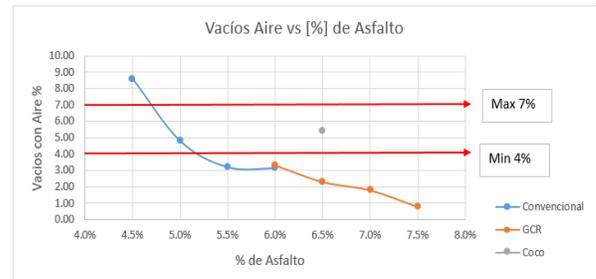
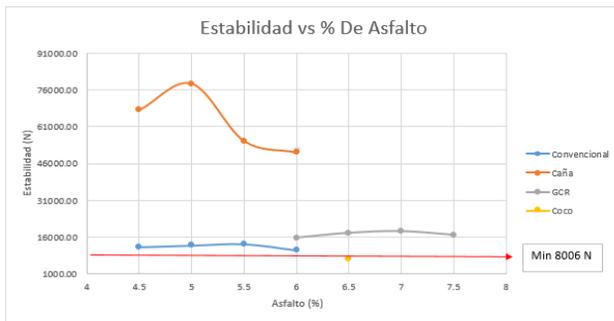
Fuente. Montejo, Nieto 2020

- En la representación de la gráfica 14, observamos la mezcla asfáltica modificada GCR y convencional encontrándose en el rango de VFA. Los materiales orgánicos utilizados para este análisis no cuentan con los datos suficientes para ser analizados.

³⁸ INVIAS. ANÁLISIS VOLUMÉTRICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS EN CALIENTEARTÍCULO E – 799 – 07. Especificación particular mezcla asfáltica natural Art. 442P. Página 02 PDF. [en Línea]. Colombia [Citado 28-Agosto-2020]. Disponible en internet: www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/139-documento-tecnicos

- La mezcla modificada con GCR tiene tal incremento en el porcentaje de vacíos llenos de asfalto, ya que este material expuesto al calor de la preparación asfáltica que debe realizarse a más de 150 grados, afecta el estado natural de material granular de caucho convirtiéndolo a un estado de viscosidad que se incorpora al material ligante provocando esta reacción.

Grafica 15. Mosaico de resultados analizados.



Fuente. Montejó, Nieto, 2020.

- Las gráficas presentadas muestran el comportamiento de la mezcla asfáltica convencional vs las modificadas, donde se identifica como afectan de manera positiva o negativa estos materiales modificados las propiedades de la mezcla asfáltica.
- Analizando la gráfica de vacíos en el agregado del mineral este cumple con las especificaciones INVIAS, obteniendo altos porcentajes de VMA lo cual genera una película de asfalto con mayor espesor, que no será susceptible a la oxidación y la mezcla será duradera.
- Se presenta una escasez de datos en el análisis de vacíos de los modificados orgánicos ya que no cuentan con la suficiente información en sus respectivas investigaciones.

CONCLUSIÓN

- Por medio del ensayo de dosificación Marshall de un asfalto convencional MDC-19 se obtuvo un porcentaje de 5,5% de contenido óptimo. Esto se obtuvo luego de realizar briquetas con 4,5%, 5%, 5,5%, 6% de ligante, cumpliendo con las propiedades óptimas de la mezcla, según las especificaciones del Art. 450-13 del INVIAS.
- A partir de la investigación realizada de mezclas asfálticas modificadas con agregados orgánicos, es evidente que dichos modificados han sido materia de estudio académico sin suficiente profundización, lo cual limita en ciertos aspectos el presente proyecto. Teniendo en cuenta los resultados observados en el modificado de caña donde se encontró una estabilidad entre 50.000 N y 67.000 N, es indispensable continuar con esta investigación y verificar la veracidad de la misma, ya que estos valores están muy elevados en relación a los estándares establecidos por los entes reguladores.

Por otra parte, la información suministrada por el proyecto de mezcla asfáltica con adición de coco presenta un solo dato de comparación con el cual se logra determinar la baja estabilidad que este material aporta a la mezcla asfáltica colocándola por debajo a 970 N del límite requerido y encontrándose en el rango de flujo establecido por la norma, generando una fluctuación en el comportamiento de la mezcla sin aportar beneficios a la misma.

- La mezcla asfáltica con granulo de caucho reciclado GCR se referencia ya que es el primer pavimento modificado, normalizado y comercializado.

El proyecto de grado donde se implementa el modificado con granulo de caucho presenta datos que al compararlos con la mezcla convencional se evidencian mejoras, tales como la estabilidad al incrementarse en 5396,93 N. Haciendo el análisis de vacíos en el granulo de caucho se presenta bajos porcentajes de vacíos de aire, lo que asegura una mejor compactación, esto puede acarrear que al aplicar las cargas vehiculares se presente exudación en el material ya que el ligante no tendría espacio para su acomodación y bajo condiciones de húmeda muestra importantes pérdidas de fricción.

- Dentro de los proyectos analizados se observa que el material modificado que tiene mejor comportamiento con respecto a las mezclas asfálticas evaluadas en esta investigación es el granulo de caucho elaborado a partir de llantas, este agregado es implementado en los requerimientos de proceso constructivo del IDU, el cual exige al constructor que una porcentaje del asfalto aplicado debe contener este material para mitigar el impacto de los agentes contaminantes.

REFERENCIAS

Afaf, A. H. M. (2014). Effect of aggregate gradation and type on hot asphalt concrete mix.

ALI, M. F., and SIDDIQUI, M. N. Changes in asphalt chemistry during oxidation and polymer modification. s.l.: Petroleum Science and Technology, (2001). 19(9-10), 1229-1249. doi:10.1081/LFt.

ASOASFALTOS. Artículo técnico mezclas asfálticas en caliente. [en Línea]. Colombia [Citado 12-Julio-2020]. Disponible en internet: www.construigate.com/wp-content/uploads/2019/12/Asociaci%C3%B3n-de-Productores-de-Mezclas-Asf%C3%A1lticas-en-Caliente-ASOASF.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE PRODUCTORES DE CONCRETO, INSTITUTO DEL CONCRETO. Manual Tecnología y propiedades. Bogotá: ASOCRETO, 1997. 257 p.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE PRODUCTORES DE CONCRETO, INSTITUTO DEL CONCRETO. Tecnología y propiedades. Bogotá: ASOCRETO, 1997.

BEJARANO, Jeisson, CAICEDO, Carlos. Análisis del comportamiento físico-mecánico de la mezcla asfáltica tipo mdc.19 con fibra natural de caña de azúcar. [en Línea]. Bogotá 2017, Universidad Católica de Colombia. [Citado 22-marzo-2020]. Disponible en inter.

CARO, Guillermo. XIII simposio colombiano sobre ingeniería de pavimentos evolución de los pavimentos asfálticos en Colombia., Bogotá: universidad de los andes, 2001.

CONSULTORÍA COLOMBIANA S. A. Estudio de impacto ambiental para la construcción de la segunda calzada túnel – san jerónimo uf 1 y 3 del proyecto autopista al mar 1. [en Línea]. Bogotá 2016. [Citado 04-Junio-2020]. Disponible en internet: file:///C:/Users/US.

HERNANDEZ, Eddy. Clasificación de agregados. [En Línea]. Colombia [Citado 15-Julio-2020]. Disponible en internet: blog ingenieros civiles <https://www.ingenierocivilinfo.com/2010/05/clasificacion-de-los-agregados-para.html>.

HUAMAN, Kevin. Composición mezcla asfáltica. [En Línea]. Ecuador [Citado 12-Julio-2020]. Disponible en internet: <https://slideplayer.es/slide/14183264/>.

INVIAS. ARTÍCULO 450-13. Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (CONCRETO ASFÁLTICO). Bogotá: Ministerio de transporte, 2013. Sección 400.

INVIAS. ARTÍCULO 450-13. MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE DE GRADACIÓN CONTINUA (CONCRETO ASFÁLTICO). Bogotá: Ministerio de transporte, 2013. Sección 400. [en Línea]. Colombia [Citado 28-Julio-2020]. Disponible en internet: tp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC.

INVIAS. INV E- 230-13. ÍNDICE DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO DE LOS AGREGADOS PARA CARRETERAS. Bogotá: Ministerio de Transporte, 2013. Vol. Sección 200. [en Línea]. Colombia [Citado 18-Julio-2020]. Disponible en internet: www.invias.gov.co/index.php/info.

INVIAS. INV E-133-13. EQUIVALENTE DE ARENA Y DE SUELOS Y AGREGADOS FINOS. Bogotá: Ministerio de Transporte, 2013. Vol. Sección 100. [en Línea]. Colombia [Citado 02-Agosto-2020]. Disponible en internet: www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional.

INVIAS. INV E-213-13. GRANULOMETRÍA. Bogotá: Ministerio de Transporte, 2013. Vol. Sección 200. [en Línea]. Colombia [Citado 28-Julio-2020]. Disponible en internet: www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/139-documento-tecnicos.

INVIAS. INV E-218-13. Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores a 37.5 mm (1 1/2") por medio de la máquina de los Ángeles. Bogotá: Ministerio de Transporte, 2013. Vol. Sección 200. [en Línea]. Colombia [Citado 28-Julio-2020]. Disponible en internet: www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/139-documento-tecnicos.

INVIAS. INV E-224-13. DETERMINACIÓN DEL VALOR DEL 10% DE FINOS. Bogotá: Ministerio de Transporte, 2013. Vol. Sección 200.[en Línea]. Colombia [Citado 29-Julio-2020]. Disponible en internet: www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/139-documen.

INVIAS. INV E-227-13. PORCENTAJE DE PARTÍCULAS FRACTURADAS EN UN AGREGADO GRUESO. Bogotá: Ministerios de Transporte, 2013. Vol. Sección 200.[en Línea]. Colombia [Citado 29-Julio-2020]. Disponible en internet: www.invias.gov.co/index.php/informacion-instit.

INVIAS. INV E-235-13. VALOR DE AZUL DE METILENO EN AGREGADOS FINOS. Bogotá: Ministerio de Transporte, 2013. Vol. Sección 200. [en Línea]. Colombia [Citado 05-Agosto-2020]. Disponible en internet: www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/139-d.

INVIAS. INV E-238-13. Determinación de la resistencia del agregado grueso a la degradación por abrasión, utilizando el aparato de micro-deval. Bogotá: Ministerio de Transporte, 2013. Vol. Sección 200. [en Línea]. Colombia [Citado 05-Agosto-2020]. Disponible en internet: www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/139-documento-tecnicos.

INVIAS. INV E-733-13. ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS NO ABSORBENTES EMPLEANDO ESPECIMENES SATURADOS Y SUPERFICIALMENTE SE. Bogotá: Ministerio de Transporte, 2013. Vol. Sección 700. . [en Línea]. Colombia [Citado 05-Agosto-2020]. Disponible en internet: www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/139-documento-tecnicos.

INVIAS. INV E-748-13. estabilidad y flujo de mezclas asfálticas en caliente empleando el equipo Marshall. Bogotá: Ministerio de Transporte, 2013. Vol. Sección 700. [en Línea]. Colombia [Citado 18-Julio-2020]. Disponible en internet: <ftp.unicauca.edu.co/Fa>.

INVIAS. INV E-748-13. ESTABILIDAD Y FLUJO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EMPLEANDO EL EQUIPO MARSHALL. Bogotá: Ministerio de Transporte, 2013. Vol. Sección 700.[en Línea]. Colombia [Citado 05-Agosto-2020]. Disponible en internet: www.invias.gov.co/inde.

PADILLA Alejandro. Mezclas asfálticas. Capítulo 3. Universidad Popular del Cesar. [en Línea]. Valledupar, Cesar, [Citado 16-Julio-2020]. Disponible en internet: upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3334/34065-14.pdf?sequence=14&isAllowed=y.

RAE. REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. DICCIONARIO DE LENGUA ESPAÑOLA. s.l.: [en Línea]. Colombia [Citado 22-Julio-2020]. Disponible en internet: <https://dle.rae.es/?id=W9sEaKE>.

RODRÍGUEZ, Rogelio. Emulsiones asfálticas. Sanfandila, México: secretaria de transportes de México, 2001. [en Línea]. Colombia [Citado 22-Julio-2020]. Disponible en internet: <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/DocumentoTecnico/dt23.pdf>.

RONDÓN, H. A., RODRÓGUEZ, E., MORENO, L.A., Resistencia mecánica evaluada en el ensayo Marshall de mezclas densas en caliente elaboradas con asfaltos modificados con desechos de policloruro de vinilo (PVC), polietileno de alta densidad (PEAD) y poliestire.

RONDÓN, H. A., RODRÓGUEZ, E., REAL, C. M. & MONTEALEGRE, T. A. 2006a. Estado del conocimiento del estudio sobre mezclas asfálticas modificadas en Colombia. Cartagena. 5as. Jornadas Internacionales del asfalto, 18 pp.

RONDON, Hugo, REYES Fredy, FIGUEROA Ana, RODRIGUEZ Edgar, REAL Claudia y MONTEALEGRE Tito. Estado del conocimiento del estudio sobre mezclas asfálticas modificadas en Colombia [en Línea]. Bogotá 2008, Universidad Católica de Colombia. [Citado 15-Julio-2020].

TOVAR, David, LANDINEZ, Alcides. Mezclas densas en caliente a partir de asfalto natural con adición de fibra de coco. [en Línea]. Bogotá 2015, Universidad Católica de Colombia. [Citado 08-Julio-2020]. Disponible en internet: <http://polux.unipiloto.edu.co:>.

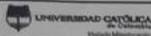
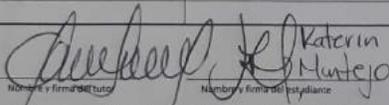
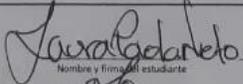
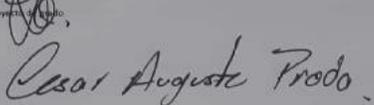
Xiao, Y. (2009). Evaluation of engineering properties of hot mix asphalt concrete for the. *Mechanistic-empirical pavement design*. Tallahassee: Florida State University. [en Línea]. Colombia [Citado 22-Julio-2020]. Disponible en internet: <https://diginole.lib.fsu.edu/islandora/object/fsu:168556/datastream/PDF/view>.

ANEXOS

Anexo 1. Solicitud para proyección laboratorio.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA LABORATORIOS	FORMATO DE SOLICITUD Y PROGRAMACIÓN DE TIEMPO DE LABORATORIO DEDICADO A PRÁCTICA NO ASISTIDA (LIBRE)	F 053 LI 103 02						
NOMBRE DE LA ASIGNATURA/PROYECTO DE INVESTIGACIÓN/SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN/TRABAJO DE GRADO QUE SUSTENTA LA SOLICITUD DE TIEMPO DE LABORATORIO: Tema= Diseño de mezcla asfáltica MDC-19 modificado con triturado de guadua								
IDENTIFICACIÓN DE LOS SOLICITANTES DE TIEMPO DE LABORATORIO:								
CÓDIGO	NOMBRES Y APELLIDOS	E-MAIL @ucatolica.edu.co	TELÉFONO					
506760	Laura Paola Nieto Bohórquez	lpnieto60@Uca..	3203153231					
506772	Katerin Johana Mantego Avila	Kjmantego72@Uca	3019469969					
PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDAD(ES) POR TIEMPO DE LABORATORIO SOLICITADO:								
ID	HORARIO IDEAL			HORARIO OPCIONAL			ESPACIO SOLICITADO ²⁾ (A-B-C-D-E)	ENSAYO(S) A REALIZAR EN CADA LAPSO
	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO ¹⁾ (HH:MM)	HORA FIN ¹⁾ (HH:MM)	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO ¹⁾ (HH:MM)	HORA FIN ¹⁾ (HH:MM)		
1	10/02/2020	6:30 pm	7:00 pm	10/02/2020	7:00 pm	7:30 pm	B	Estimacion Consumo de laboratorio
2	14/02/2020	7:00 pm	7:30 pm	15/02/2020	10:30 am	11:00 am	B	
3								
4								
5								
MATERIALES/EQUIPOS/ INSUMOS A USAR	UND	CANT	A CARGO:		OBSERVACIONES			
			LAB	USU				

Anexo 2. Proyección laboratorio.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia Facultad de Ingeniería LABORATORIOS	Formato Estimación de Consumo de Laboratorio para Proyectos	CÓDIGO: F 053 LI 111 Versión 1.0
PROGRAMA: <u>Ingeniería Civil</u> LABORATORIO SOLICITADO: <u>Pavimentos.</u> TÍTULO DEL PROYECTO: <u>Asfalto MAC-19 con agregado de guadua</u>		
NOMBRE ESTUDIANTE: <u>Laura Nieto Bohórquez</u> NOMBRE ESTUDIANTE: <u>Katerin Montejo Aúla</u> NOMBRE DOCENTE A CARGO:	CÓDIGO <u>506760</u> CÓDIGO <u>506772</u> CÓDIGO	FIRMA  FIRMA  FIRMA
CONSECUTIVO	ACTIVIDAD (O ENSAYO) A REALIZAR	DURACIÓN (HORAS)
1	lavado y tamizado de agregados para 30 biquetas de ensayo	2h
2	Dosificación de agregados Petreos y mezcla con cemento asfáltico y compactación para 12 biquetas.	4h.
3	Ensayo de marshall y densidades	2h
4	Ensayo Cantabro y tracción Indirecta OPTIMO	2h.
5	Dosificación de agregado Petreos y sustitución por guadua 25% 50% 75%	4h
6	mezcla y compactación de mezcla. con sustitución 25% 50% 75%.	2h
7	Ensayos de marshall y densidades.	2h.
8	Ensayo Cantabro y tracción	2h.
9	Ensayo guadua.	2h
TOTAL		22h.
 Nombre y firma del estudiante		 Nombre y firma del estudiante
NOTA: Recuerde que copia de este formato, totalmente diligenciado y firmado, debe ser anexo a la Propuesta de Proyecto de Estudio.		 Cesar Augusto Prodo

Anexo 3. Laboratorio ensayo MDC - 19

 UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA LABORATORIOS	FORMATO DE SOLICITUD Y PROGRAMACIÓN DE TIEMPO DE LABORATORIO DEDICADO A PRÁCTICA NO ASISTIDA (LIBRE)	F 063 LI 103 02
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------

NOMBRE DE LA ASIGNATURA/PROYECTO DE INVESTIGACIÓN/SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN/TRABAJO DE GRADO QUE SUSTENTA LA SOLICITUD DE TIEMPO DE LABORATORIO: Tema: Oxiseno de mezcla asfáltica MDC-19 modificado con triterado de gadoa

IDENTIFICACIÓN DE LOS SOLICITANTES DE TIEMPO DE LABORATORIO:			
CÓDIGO	NOMBRES Y APELLIDOS	E-MAIL @ucatolica.edu.co	TELÉFONO
506760	Laura Paola Nieto Bohórquez	LPnieto60@Ucat...	3203153231
506772	Katerin Johana Montego Ayala	KJmontego72@Ucat...	3014469969

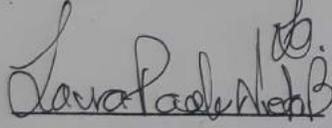
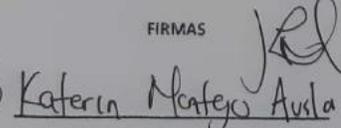
PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDAD(ES) POR TIEMPO DE LABORATORIO SOLICITADO:								
ID	HORARIO IDEAL			HORARIO OPCIONAL			ESPACIO SOLICITADO ⁽¹⁾ (A-B-C-D-E)	ENSAYO(S) A REALIZAR EN CADA LAPSO
	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO ⁽¹⁾ (HH:MM)	HORA FIN ⁽¹⁾ (HH:MM)	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO ⁽¹⁾ (HH:MM)	HORA FIN ⁽¹⁾ (HH:MM)		
1	18/02/2020	8:00pm	10:00pm	19/02/2020	8:00pm	10:00pm	B	lavado y tamizado
2	25/02/2020	8:00pm	10:00pm	24/02/2020	6:00pm	10:00pm	B	Dosificación y Compactación
3	3/03/2020	8:00pm	10:00pm	2/03/2020	8:00pm	10:00pm	B	marshall 25+75+50+
4	6/03/2020	6:00pm	8:00pm	9/03/2020	6:00pm	8:00pm	B	Control de tracción.
5								

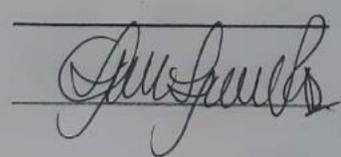
⁽¹⁾ Cada lapso solicitado será máximo de 2 HORAS por día. Por favor, asistir con puntualidad para mayor optimización del tiempo.
⁽²⁾ A) Mecánica de suelos. B) Concretos. C) Mecánica de Sólidos. D) Análisis de agua. E) Hidráulica

MATERIALES /EQUIPOS/ INSUMOS A USAR	UND	CANT	A CARGO:		OBSERVACIONES
			LAB	USU	
Tamices	UND	6	X		Los materiales serán suministrados por los estudiantes.
maquina de los Angeles	UND	1	X		
moldes de briquetas	UND	12	X		
martillo Compactación	UND	1	X		

Entiendo que debo diligenciar completamente esta solicitud y que su aprobación me obliga a cumplir a cabalidad con el "Reglamento de los laboratorios" de la FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA y a acatar las órdenes que se impartan por parte del personal docente y administrativo. Los elementos de protección personal serán de mi propiedad. También me comprometo con el uso eficiente del horario asignado: asistir, informar la no asistencia (por lo menos con un día hábil de anticipación).

FIRMAS



Autorizado whatsapp
 15/feb/2020 → 7:29 p.m

Anexo 4. Laboratorio ensayo MDC – 19 MODIFICADO (NO SE REALIZA)

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA LABORATORIOS		FORMATO DE SOLICITUD Y PROGRAMACIÓN DE TIEMPO DE LABORATORIO DEDICADO A PRÁCTICA NO ASISTIDA (LIBRE)		F 053 LI 103 02				
NOMBRE DE LA ASIGNATURA/PROYECTO DE INVESTIGACIÓN/SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN/TRABAJO DE GRADO QUE SUSTENTA LA SOLICITUD DE TIEMPO DE LABORATORIO: Tema = Diseño de mezcla asfáltica MDC-19 modificado con agregado grueso de guadua								
IDENTIFICACIÓN DE LOS SOLICITANTES DE TIEMPO DE LABORATORIO:								
CÓDIGO	NOMBRES Y APELLIDOS		E-MAIL @ucatolica.edu.co	TELÉFONO				
506960	Laura Paola Nieto Bohorquez		lnieto60@ucatolica.edu.co	3203153231				
506972	Katerin Johana Mantego Aulia		kjmantego72@ucatolica.edu.co	3014469969				
PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDAD(ES) POR TIEMPO DE LABORATORIO SOLICITADO:								
ID	HORARIO IDEAL			HORARIO OPCIONAL			ESPACIO SOLICITADO ⁽²⁾ (A-B-C-D-E)	ENSAYO(S) A REALIZAR EN CADA LAPSO
	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO ⁽¹⁾ (HH:MM)	HORA FIN ⁽¹⁾ (HH:MM)	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO ⁽¹⁾ (HH:MM)	HORA FIN ⁽¹⁾ (HH:MM)		
1	10/03/2020	8:00Pm	10:00Pm	13/03/2020	6:00Pm	8:00Pm	B	Asistencia con T.
2	17/03/2020	8:00Pm	10:00Pm	20/03/2020	6:00Pm	8:00Pm	B	mezcla compactación
3	24/03/2020	8:00Pm	10:00Pm	27/03/2020	6:00Pm	8:00Pm	B	mezcla compactación
4	31/03/2020	8:00Pm	10:00Pm	03/4/2020	6:00Pm	8:00Pm	B	mezcla compactación y guadua
5								

(1) Cada lapso solicitado será máximo de 2 HORAS por día. Por favor, asistir con puntualidad para mayor optimización del tiempo.
 (2) A) Mecánica de suelos. B) Concretos. C) Mecánica de Sólidos. D) Análisis de agua. E) Hidráulica

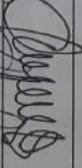
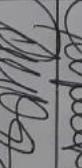
MATERIALES /EQUIPOS/ INSUMOS A USAR	UND	CANT	A CARGO:		OBSERVACIONES
			LAB	USU	
Tamices	UNO	6	x		los materiales seran suministrados por los estudiantes.
maquina de Angulo	UNO	1	x		
moldes boquetas	UNO	18	x		
Martillo compactador	UNO	1	x		
Batana	UNO	1	x		

Entiendo que debo diligenciar completamente esta solicitud y que su aprobación me obliga a cumplir a cabalidad con el "Reglamento de los laboratorios" de la FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA y a acatar las órdenes que se impartan por parte del personal docente y administrativo. Los elementos de protección personal serán de mi propiedad. También me comprometo con el uso eficiente del horario asignado: asistir, informar la no asistencia (por lo menos con un día hábil de anticipación).

FIRMAS

Solicitante 1: Laura Paola Nieto Bohorquez
 Solicitante 2: Katerin Mantego Aulia
 Solicitante 3: _____
 Solicitante 4: _____
 Solicitante 5: [Firma]
 Docente / Encargado: _____
 Coordinador de Laboratorios: Aprobado whatsapp 7/03/2020 1:40pm

Anexo 5. Seguimiento de asesora.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia		SEGUIMIENTO ESTUDIANTES / TRABAJO DE GRADO / 2017	VERSIÓN ADAPTADA PARA EL (LOS) ESTUDIANTES	
PROGRAMA: INGENIERÍA CIVIL		DOCENTE ASESOR: Olga Lucía Vaneque Alfaro		
ASIGNATURA: TRABAJO DE GRADO		ESTUDIANTES: Katerin Nativya Aúla Laura Nieto Bohórquez		
TÍTULO DEL PROYECTO: Asfalto MOC-19 con agregado grueso de guadua				
MODALIDAD (Ac. 265/2018):				
SEMANA	FECHA	TEMÁTICA DE LA REUNIÓN	COMPROMISOS DEL DOCENTE ASESOR PARA PRÓXIMA SESIÓN	FIRMA DEL DOCENTE
9	27-01-20	Revisión de inicio de laboratorio y horarios	Tracer diligenciado el formato de estimación de consumo de laboratorio. Inicio laboratorio y revisión del estado de trabajo y horario. - asignación de horario. - Investigación. - marco teórico. - Investigar	
10	3-02-2020	Revisar la programación de laboratorio cada día de trabajo y horario	Guía de laboratorio. Inicio laboratorio, si que parte de antecedentes.	
11	10-02-2020	Revisión trabajo con rubrica. / Programación laboral	Revisión Avances laboratorio	
12	17/02/2020	Revisión de antecedentes y marco legal, laboratorio.		
13	24/02/2020	Programación laboratorio		
14				
15				
16				

Anexo 6. Documento adjunto Excel laboratorio y resultados