

**ESTADO DEL ARTE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS EN LOS
ÚLTIMOS 10 AÑOS: CASO DE ESTUDIO UNIVERSIDADES DE BOGOTÁ D.C.**

CRISTIAN ANDRÉS MEJÍA UMBARILA
CRISTIAN ADOLFO SIERRA HERNÁNDEZ

ESTUDIANTES DE PREGRADO DEL PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA.
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL.
BOGOTÁ D.C., COLOMBIA

2017

**ESTADO DEL ARTE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS EN LOS
ÚLTIMOS 10 AÑOS: CASO DE ESTUDIO UNIVERSIDADES DE BOGOTÁ D.C.**

CRISTIAN ANDRÉS MEJÍA UMBARILA

CRISTIAN ADOLFO SIERRA HERNÁNDEZ

PROYECTO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OBTENER EL
TITULO DE INGENIERIA CIVIL

DIRECTOR

MSc. Ing. DANIELLA RODRÍGUEZ URREGO DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA.

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL.

BOGOTÁ D.C., COLOMBIA

2017

Nota de Aceptación

FIRMA DEL PRESIDENTE DEL JURADO

FIRMA DEL DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

MSc. ING. DANIELLA RODRIGUEZ URREGO

FIRMA DEL JURADO.

FIRMA DEL JURADO

AGRADECIMIENTOS

Primero quiero agradecer a Dios por ser el artífice y timonel de mi vida, brindarme su gracia y darme sabiduría para llevar a buen término el presente trabajo y mi carrera de ingeniero civil.

También quiero agradecer a mi padre quien fue el motor de este sueño, la palabra de aliento y el bastón en los tiempos difíciles, a mi madre por nunca dejar de creer en mí y brindarme siempre su apoyo incondicional, a mis hermanos, amigos, compañeros y personas cercanas, por acompañarme en el camino y brindarme sus conocimientos, para hacer de mí un profesional y una persona íntegra.

Así mismo quiero dar las gracias a la ingeniera Daniella Rodríguez Urrego por su orientación durante este trabajo investigativo, sus enseñanzas y compartir sus conocimientos, que ayudaron con mi proceso formativo.

Por ultimo quiero agradecer a AMR CONSTRUCCIONES S.A.S. y todo su personal, por su apoyo, colaboración e incondicionalidad, por darme la oportunidad de desarrollarme como profesional, aprender y mejorar cada día.

Muchas gracias,

Cristian Andrés Mejía Umbarila

AGRADECIMIENTOS

Quiero dar gracias a Dios por darme la oportunidad de culminar mi carrera de ingeniero civil y la oportunidad de aprender día a día de esta hermosa profesión.

Por otro lado, agradezco a mi Esposa por el apoyo tan grande en este camino, a mis familiares y compañeros por compartir mi pasión y brindarme siempre su apoyo.

Por último, agradecer a la ingeniera Daniella Rodríguez Urrego, persona que ha fomentado en mí y en los estudiantes de Ingeniería civil de la Universidad Piloto de Colombia, la pasión por el estudio, la formación profesional en busca de la mejora continua y fomento en desarrollo de nuevas alternativas de apoyo en el área de pavimentos.

Muchas gracias,

Cristian Adolfo Sierra Hernández

ESTADO DEL ARTE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS EN LOS ÚLTIMOS 10 AÑOS: CASO DE ESTUDIO UNIVERSIDADES DE BOGOTÁ D.C.

MEJÍA UMBARILA, Cristian Andrés.

SIERRA HERNÁNDEZ, Cristian Adolfo.

RESUMEN

En la actualidad, las investigaciones a nivel mundial en materia de asfaltos modificados se desarrollan en todos los ámbitos académicos y profesionales, buscando siempre el mejoramiento de las mezclas asfálticas ajustadas a las exigencias cada vez mayores de las estructuras de pavimento. En Colombia, teniendo en cuenta el cambio climático y la aplicación de mezclas asfálticas modificadas con grano caucho reciclado en las grandes obras de infraestructura se ha incrementado la investigación al respecto, con la inclusión de nuevos agentes modificadores y la evaluación de sus beneficios frente a las mezclas asfálticas convencionales. El presente documento refleja el estado del arte de las investigaciones que han desarrollado las instituciones de educación superior de la ciudad de Bogotá durante los últimos diez años en el área de asfaltos y mezclas asfálticas modificadas.

Palabras Claves: Mezcla Asfáltica Modificada, Pavimento, Estructura, Estado Del Arte, Sustentable.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	6
TABLA DE CONTENIDO.....	7
INTRODUCCIÓN	10
1. OBJETIVOS	11
2. MARCO TEORICO	12
2.1. MEZCLAS ASFALTICAS	12
2.1.1. ASFALTO	12
2.1.1.1 ASFALTOS SOLIDOS	12
2.1.1.2 ASFALTOS LIQUIDOS	13
2.1.1.3 MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA	13
2.1.1.4 PROPIEDADES FISICAS.....	13
2.1.1.5. PROPIEDADES REOLOGICAS.....	14
2.1.1.6. CARACTERISITCAS DE MEZCLAS ASFALTICAS MODIFICADAS	15
2.1.1.7 PROPIEDADES CONSIDERADAS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS.....	17
2.2. ANALISIS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS COMO AGENTES MODIFICADORES	19
2.2.1. Materiales Naturales.....	19
2.2.1.1. ASFÁLTITA	19
2.2.1.2 ZEOLITA.....	20
2.2.1.3 CERA.....	20
2.2.1.4 HIDROXIDO DE CALCIO	21
2.2.1.5 FIBRA DE COCO	21
2.2.2. Materiales Sintéticos.....	22
2.2.2.1 ICOPOR	22
2.2.2.2 PVC.....	22
2.2.2.3 POLÍMEROS.....	23
2.2.2.4 CAUCHO MOLIDO DE NEUMÁTICOS	24
2.2.2.5 CAUCHO Y CUERO SINTÉTICO	24

2.2.2.2.6 POLIESTIRENO	24
2.2.2.2.7 POLIETILENO	25
2.2.2.2.8 DESPERDICIOS DE BOLSAS PLASTICAS	25
2.2.2.2.9 POLIETILENODE BAJA DENSIDAD (PEBD)	25
3. MARCO CONTEXTUAL	26
3.1. Universidades	26
3.2. Materiales utilizados	28
3.3. criterios de aceptación	29
3.4. Ensayos de Laboratorio utilizados	31
4. ANALISIS DE RESULTADOS.....	33
4.1 CERAS	33
4.2 HIDRÓXIDO DE CALCIO Y FIBRA DE COCO	34
4.3. POLIESTIRENO, POLIETILENO, DESPERDICIO DE BOLSA PLÁSTICA	37
4.4. POLIPROPILENO, PEBD.	40
4.5. PVC	43
4.6. GRANO CAUCHO RECICLADO, CAUCHO – CUERO	47
5. CONCLUSIONES.....	52
6. REFERENCIAS	54

TABLA DE GRAFICAS

Gráfica 1: universidades que realizan investigaciones en modificación de asfaltos.....	27
Gráfica 2: Materiales utilizados.....	28
Gráfica 3: Temperatura °C vs. Desgaste %.....	33
Gráfica 4: Temperatura °C vs. Estabilidad (Kg).....	34
Gráfica 5: Temperatura °C vs. Flujo (mm).....	36
Gráfica 6: Temperatura °C vs. E/F (Kg/mm).....	36
Gráfica 7: Aditivo % vs. Estabilidad (Kg).....	37
Gráfica 8 Aditivo % vs. Flujo (mm).....	38
Gráfica 9 Aditivo % vs. E/F (Kg/mm).....	39
Gráfica 10: Cemento Asfaltico % vs. Estabilidad (Kg).....	40
Gráfica 11: Cemento Asfaltico % vs. E/F (Kg/mm).....	41
Gráfica 12: Cemento Asfaltico % vs. Flujo (mm).....	42
Gráfica 13: Aditivo % vs. Estabilidad (Kg).....	43
Gráfica 14: Aditivo % vs. Flujo (mm).....	45
Gráfica 15: Aditivo % vs. E/F (Kg/mm).....	46
Gráfica 16: Cemento Asfaltico % vs. Estabilidad (Kg).....	47
Gráfica 17: Cemento Asfaltico % vs. Flujo (mm).....	49
Gráfica 18: Cemento Asfaltico % vs. E/F (Kg/mm).....	50

INTRODUCCIÓN

El presente estudio está basado en el análisis de distintos trabajos de grado de Instituciones de Educación Superior en el área de la modificación de asfaltos por vía húmeda y seca en Bogotá D.C.

Con la finalidad de establecer temáticas troncales de los trabajos de grado y su pertinencia para la presente investigación, se establecieron los siguientes criterios: universidad, materiales, laboratorios. Una vez establecidos dichos componentes en cada una de las investigaciones realizadas se compilo la información correspondiente mediante un cuadro resumen.

En total fueron nueve (9) Instituciones de Educación Superior de la ciudad de Bogotá D.C. consultadas con el aporte de 30 documentos investigativos entre las que se encuentran tesis de Pregrado y Posgrado que corresponden al período comprendido entre 2007 a 2017, para el presente proyecto se tomó una muestra de 12 trabajos de investigación, tomando como base que el agente modificador fuese material reciclado.

Se analizaron proyectos con materiales similares con el fin de establecer las posibles mejoras de cada uno de los aditivos, sus ventajas y desventajas y su posible aplicación en las estructuras de pavimento del país.

Dando como resultado que la mezcla asfáltica modificada con un 0.2 % de polipropileno, para un porcentaje de cemento asfáltico del 6 %, proyecto realizado en la Universidad de los Andes, presenta las mejores condiciones mecánicas, físicas y reológicas, respecto de las demás mezclas asfálticas modificadas objeto del presente estudio.

1. OBJETIVOS

1.1.Objetivo general

Identificar y caracterizar las investigaciones realizadas con relación a la modificación de asfaltos en las universidades de la ciudad de Bogotá durante los últimos diez años.

1.2.Objetivo específico:

- Identificar las universidades que realizan investigaciones relacionadas con la modificación de asfaltos en la ciudad de Bogotá D.C.
- Recopilar la información de las investigaciones relacionadas con la modificación de mezclas asfálticas en la ciudad de Bogotá D.C.
- Revisar las ventajas y desventajas de cada uno de los agentes modificadores utilizados en los trabajos de grado de los últimos 10 años en la ciudad de Bogotá D.C.
- Mostrar los avances investigativos en la modificación de asfaltos, provenientes de ámbitos académicos que permitan la implementación de nuevos agentes modificadores para las mezclas asfálticas.

2. MARCO TEORICO

Las investigaciones realizadas por parte de las universidades en Colombia, especialmente en Bogotá, relacionadas con la utilización de asfaltos modificados en las obras civiles han ido creciendo a través del tiempo con el fin de mejorar las características de las mezclas asfálticas.

Es necesario estudiar dichas investigaciones e identificar las ventajas y desventajas de cada agente modificador; analizando las conclusiones de cada trabajo investigativo realizado hasta el momento, y así poder direccionar las nuevas investigaciones sobre los materiales que presenten mejoras sustanciales a las mezclas asfálticas y evaluar su incidencia en el mejoramiento de las mismas.

2.1. MEZCLAS ASFALTICAS

2.1.1. ASFALTO

El asfalto es un material bituminoso de color negro o café oscuro, constituido principalmente por asfaltenos, resinas y aceites, elementos que proporcionan características de consistencia, aglutinación y ductilidad; es sólido o semisólido y tiene propiedades cementantes a temperaturas ambientales normales. Al calentarse se ablanda gradualmente hasta alcanzar una consistencia líquida. Estos pueden tener dos orígenes; los derivados de petróleos y los naturales. (Wulf, 2008)

2.1.1.1 ASFALTOS SOLIDOS

Llamados también Cementos Asfálticos. Son Asfaltos que se emplean en mezclas calientes de uso en construcciones de pavimentos asfálticos por sus propiedades aglomerantes e impermeabilizantes que le brindan características tales como: flexibilidad, durabilidad y alta resistencia a la mayoría de los ácidos, sales y álcalis. Se clasifican de acuerdo a su consistencia medida por ensayo de penetración. (Martinez, 2009)

2.1.1.2 ASFALTOS LIQUIDOS

Los asfaltos líquidos se producen diluyendo un cemento asfáltico con un solvente derivado del petróleo o con agua (mediante la inclusión de un emulsificante). Los asfaltos líquidos permiten el mezclado con los agregados sin necesidad de recurrir al calentamiento, reduciéndose así los costos de producción, transporte y colocación de las mezclas. El endurecimiento de la mezcla ocurre al evaporarse o separarse el solvente del asfalto. (Martinez, 2009)

2.1.1.3 MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA

Teniendo en cuenta, la tendencia global de mitigar el impacto generado por los diferentes derivados del petróleo, la academia ha procurado direccionar sus investigaciones en la búsqueda del mejoramiento de las mezclas asfálticas con el uso de agentes modificadores, que brinden la posibilidad de reducir el impacto ambiental sin desmejorar las características físicas y reológicas de las mismas. Las mezclas asfálticas modificadas tal como su nombre lo indica son aquellas donde se adiciona un elemento distinto a cemento asfáltico y agregados pétreos, buscando disminuir las patologías propias de los pavimentos.

2.1.1.4 PROPIEDADES FISICAS

Las propiedades físicas del asfalto, de mayor importancia para el diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos son: durabilidad, adhesión, susceptibilidad a la temperatura, envejecimiento y endurecimiento que a continuación se definen:

2.1.1.4.1 Durabilidad

Es la medida de que tanto puede retener un asfalto sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento.

2.1.1.4.2 Adhesión

Es la capacidad del asfalto para adherirse al agregado en la mezcla de pavimentación

2.1.1.4.3 Cohesión

Es la capacidad del asfalto de mantener firmemente, en su puesto, las partículas de agregado en el pavimento terminado.

2.1.1.4.4 Susceptibilidad a la temperatura

Todos los asfaltos son termoplásticos; esto es, se vuelven más duros a medida que su temperatura disminuye, y más blandos a medida que su temperatura aumenta.

2.1.1.4.5 Endurecimiento y envejecimiento

Causado principalmente por el proceso de oxidación, el cual ocurre más fácilmente a altas temperaturas y en películas delgadas de asfalto. (tesis.uson.mx, s.f.)

2.1.1.5. PROPIEDADES REOLOGICAS

Las propiedades reológicas del asfalto resumen la capacidad del material para soportar las cargas impuestas por el tránsito a una temperatura definida, tomando como variables el estudio de la deformación y el flujo, para establecer las propiedades reológicas del asfalto generalmente se utilizan los siguientes ensayos:

- Penetración
- Punto de Ablandamiento

- Ductilidad
- Punto de inflamación
- Solubilidad
- Contenido de agua
- Índice de penetración

Para el caso particular todos estos ensayos se encuentran consignados en las Normas INVIAS 2013 y caracterizan el cemento asfáltico a utilizar en la construcción de pavimentos.

2.1.1.6. CARACTERÍSTICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS

Toda mezcla asfáltica analizada en el laboratorio debe determinar el posible desempeño en la estructura del pavimento. El análisis se enfoca principalmente en el comportamiento de la mezcla teniendo en cuenta las siguientes características:

2.1.1.6.1. DENSIDAD

La densidad de la mezcla compactada está definida como su peso unitario (el peso de un volumen específico de la mezcla). La densidad es una característica muy importante debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado para obtener un rendimiento duradero.

2.1.1.6.2 VACÍOS

Los vacíos de aire son espacios pequeños de aire, o bolsas de aire, que están presentes entre los agregados revestidos en la mezcla final compactada. Es necesario que todas las mezclas

densamente graduadas contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional bajo el tráfico, y proporcionar espacios adonde pueda fluir el asfalto durante su compactación adicional.

El porcentaje permitido de vacíos (en muestras de laboratorio) para capas de base y capas superficiales está entre 3 y 5 por ciento, dependiendo del diseño específico.

2.1.1.6.3. VACÍOS EN LOS AGREGADOS

Los vacíos en el agregado mineral (VMA) son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado en una mezcla compactada de pavimentación, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto.

2.1.1.6.4. CONTENIDO DE ASFALTO

El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende, en gran parte, de las características del agregado tales como la granulometría y la capacidad de absorción.

La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo del asfalto. Entre más finos contenga la graduación de la mezcla, mayor será el área superficial total, y, mayor será la cantidad de asfalto requerida para cubrir, uniformemente, todas las partículas. Por otro lado las mezclas más gruesas (agregados más grandes) exigen menos asfalto debido a que poseen menos área superficial total. (<http://www.biblioteca.udep.edu.pe>, s.f.)

2.1.1.7 PROPIEDADES CONSIDERADAS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS

Las características principales para el diseño de una mezcla asfáltica adecuada a las necesidades reales del proyecto son:

2.1.1.7.1. ESTABILIDAD

Es la capacidad de resistir desplazamientos y deformación bajo las cargas del tránsito.

Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas, un pavimento inestable desarrolla ahuellamiento, ondulaciones y otras señas que indican cambios en la mezcla.

2.1.1.7.2 DURABILIDAD

La durabilidad de un pavimento es su habilidad para resistir factores tales como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades de asfalto (polimerización y oxidación), y separación de las películas de asfalto. Estos factores pueden ser el resultado de la acción del clima, el tránsito, o una combinación de ambos.

2.1.1.7.3. IMPERMEABILIDAD

La impermeabilidad de un pavimento es la resistencia al paso de aire y agua hacia su interior, o a través de él. Esta característica está relacionada con el contenido de vacíos de la mezcla compactada, y es así como gran parte de las discusiones sobre vacíos en las secciones de diseño de mezcla se relaciona con impermeabilidad. Aunque el contenido de vacíos es una

indicación del paso potencial de aire y agua a través de un pavimento, la naturaleza de estos vacíos es muy importante que su cantidad. (<http://www.biblioteca.udep.edu.pe>, s.f.)

2.1.1.7.4. TRABAJABILIDAD

La trabajabilidad está descrita por la facilidad con que una mezcla de pavimentación puede ser colocada y compactada. Las mezclas que poseen buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar; aquellas con mala trabajabilidad son difíciles de colocar y compactar.

La trabajabilidad puede ser mejorada modificando los parámetros de la mezcla, el tipo de agregado, y/o la granulometría.

2.1.1.7.5. FLEXIBILIDAD

Flexibilidad es la capacidad de un pavimento asfáltico para acomodarse, sin que se agriete, a movimientos y asentamientos graduales de la subrasante. La flexibilidad es una característica deseable en todo pavimento asfáltico debido a que virtualmente todas las subrasantes se asientan o se expanden.

2.1.1.7.6. RESISTENCIA A LA FATIGA

La resistencia a la fatiga de un pavimento es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. Se ha demostrado, por medio de la investigación, que los vacíos y la viscosidad del asfalto tienen un efecto considerable sobre la resistencia a la fatiga. A medida que el porcentaje de vacíos en un pavimento aumenta, ya sea por diseño o por falta de compactación. Así mismo, un pavimento que contiene asfalto que se ha envejecido y endurecido considerablemente tiene menor resistencia a la fatiga.

2.1.1.1.7.7. RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO

Resistencia al deslizamiento es la habilidad de una superficie de pavimento de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie esta mojada.

Para obtener buena resistencia al deslizamiento, el neumático debe ser capaz de mantener contacto con las partículas de agregado en vez de rodar sobre una película de agua en la superficie del pavimento (hidroplaneo).

La resistencia al deslizamiento se mide en terreno con una rueda normalizada bajo condiciones controladas de humedad en la superficie del pavimento, y a una velocidad de 65 km/hr (40 mi/hr).

2.2. ANALISIS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS COMO AGENTES MODIFICADORES

2.2.1. MATERIALES NATURALES

2.1.1.1. ASFÁLTITA

Las asfáltitas son sustancias bituminosas naturales, sólidas, de color negro brillante, de aspecto resinoso y fractura conoidal en las formas frescas, dotadas de un punto de fusión elevado, superior a 110° C. Químicamente están constituidas por hidrocarburos muy pobres en oxígeno y parafinas cristalizables, siendo compuestos de alto peso molecular.

VENTAJAS

- Aumento de la viscosidad del ligante a altas temperaturas.
- Disminución del fenómeno de ahuellamiento.

- Aumento de la estabilidad Marshall.
- Aumento de la resistencia al agua de las mezclas.
- Aumento del módulo de elasticidad dinámico de la mezcla.

2.2.1.2 ZEOLITA

Es un mineral no metálico, de origen y formación volcánica totalmente natural. El inmenso poder de absorción y adsorción de la zeolita permite el almacenamiento de nutrientes para una liberación posterior, gradual y dosificada, que permite el mayor aprovechamiento. Las propiedades de la zeolita lo hacen un sustituto excelente en varios usos. No se altera, es químicamente inocuo, no contamina y es limpio.

VENTAJAS

- Disminución del porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica.
- Aumento de la estabilidad.
- Mejora la permeabilidad de la mezcla.

2.2.1.3 CERA

Las ceras son ésteres de ácidos grasos de cadena larga, con alcoholes también de cadena larga. En general son sólidas y totalmente insolubles en agua. Sustancias duras en frío y blandas y moldeables al calor.

VENTAJAS

- Reducción de la temperatura de fabricación y compactación.
- Aumento de la rigidez del asfalto.
- Disminución de los espesores de la carpeta asfáltica.

- Reducción de las emisiones de efecto invernadero.

2.2.1.4 HIDRÓXIDO DE CALCIO

El hidróxido de calcio, también conocido como cal muerta y/o cal apagada, es un hidróxido cáustico con la fórmula $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Es un cristal incoloro o polvo blanco, obtenido al reaccionar óxido de calcio con agua. Puede también precipitarse mezclando una solución de cloruro de calcio con una de hidróxido de sodio.

VENTAJAS

- Reducción del envejecimiento de las mezclas asfálticas.
- Evita el deterioro por la acción de los rayos UV.
- Disminución de costos de la mezcla
- Proporciona permeabilidad a la mezcla al actuar como filler.
- Aumenta la Adherencia de la mezcla

2.2.1.5 FIBRA DE COCO

La fibra de coco son todos los residuos sólidos derivados del procesamiento del coco, para el consumo.

VENTAJAS

- Mejora la estabilidad de las mezclas
- Mejora la plasticidad de la mezcla lo que permite la exposición a mayores cargas

2.1.2. MATERIALES SINTÉTICOS

2.2.2.1 ICOPOR

Material plástico celular y rígido fabricado a partir del moldeo de perlas pre expandidas de poliestireno expandible o uno de sus co-polímeros, que presenta una estructura celular cerrada y rellena de aire.

VENTAJAS

- Mejora de la estabilidad.
- Mejoramiento de la rigidez en climas cálidos.
- Disminución del peso unitario, favorecimiento en la disipación de esfuerzos y disminución de la carga sobre la subrasante.
- Disminución en las deformaciones permanentes por el fenómeno de ahuellamiento.

2.2.2.2 PVC

Se conoce el Policloruro de Vinilo, un plástico que surge a partir de la polimerización del monómero de cloroetileno (también conocido como cloruro de vinilo). Los componentes del PVC derivan del cloruro de sodio y del gas natural o del petróleo, e incluyen cloro, hidrógeno y carbono.

VENTAJAS

- Mejoramiento de la resistencia mecánica bajo carga monotónica.
- Mejoramiento de la rigidez.
- Mejoramiento de la resistencia a la deformación permanente.
- Disminución del fenómeno de ahuellamiento en climas cálidos.

2.2.2.3 POLÍMEROS

Los polímeros son sustancias de alto peso molecular formado por la unión de cientos de miles de moléculas llamadas monómeros. Se forman así moléculas gigantes que toman formas diversas. (Maxil & Salinas, 2006)

2.2.2.3.1 POLÍMERO TIPO I

Modificador que mejora el comportamiento de las mezclas asfálticas tanto a altas como bajas temperaturas. Los más comunes son Estireno- Butadieno- Estireno (SBS) y Estireno- Butadieno. (Maxil & Salinas, 2006)

VENTAJAS

- Mejoramiento de la resistencia para carpetas con elevados niveles de tránsito.

2.2.2.3.2 POLÍMERO TIPO II

Modificador que mejora el comportamiento de las mezclas asfálticas a bajas temperaturas. Es fabricado con base en polímeros elastomericos lineales, los más usados son Caucho de Estireno, Butadieno-Látex Y Neopreno –Látex. (Maxil & Salinas, 2006)

VENTAJAS

- Mejora en el comportamiento de servicio de la carpeta.

2.2.2.3.3 POLÍMERO TIPO III

Modificador que mejora el comportamiento de las mezclas asfálticas a altas temperaturas. Es fabricado con base en un polímero de tipo elastómero, mediante configuraciones Etil – Vinil – Acetato o polietileno de alta o baja densidad. (Maxil & Salinas, 2006)

VENTAJAS

- Mejoramiento de la resistencia para carpetas con elevados niveles de tránsito.

2.2.2.2.4 CAUCHO MOLIDO DE NEUMÁTICOS

Modificador fabricado con base en el producto de la molienda de neumáticos. (Figuroa, Castillo, & Reyes, 2007)

VENTAJAS

- Mejoramiento de la flexibilidad de la mezcla.
- Mejoramiento de la resistencia a la tensión de las mezclas asfálticas.
- Reduce la aparición del fenómeno de agrietamiento por fatiga o cambios de temperatura.
- Reduce el impacto ambiental generado por los neumáticos.

2.2.2.2.5 CAUCHO Y CUERO SINTÉTICO

Se utilizan residuos de botas industriales de cuero y caucho para la modificación de mezclas asfálticas. (Piragauta & Bacca, 2015)

VENTAJAS

- Mejoramiento de la estabilidad, flujo y rigidez Marshall.
- Mejoramiento de la resistencia a la tensión de las mezclas asfálticas.
- Disminución de costos de producción.

2.2.2.2.6 POLIESTIRENO

Es un polímero vinílico. Estructuralmente, es una larga cadena hidrocarbonada, con un grupo fenilo unido cada dos átomos de carbono. Es producido por una polimerización vinílica por radicales libres a partir del monómero estireno.

VENTAJAS

- Mejoramiento de la rigidez, resistencia a la deformación y mayor viscosidad.
- Disminución del ahuellamiento en mezclas asfálticas aplicadas a altas temperaturas

2.2.2.2.7 POLIETILENO

Es un polímero. Estructuralmente, es una larga cadena hidrocarbonada, con un grupo fenilo unido cada dos átomos de carbono. Es producido por una polimerización vinílica por radicales libres a partir del monómero etileno.

VENTAJAS

- Mejoramiento de la rigidez, resistencia a la deformación y mayor viscosidad.
- Disminución del ahuellamiento en mezclas asfálticas aplicadas a altas temperaturas

2.2.2.2.8 DESPERDICIO DE BOLSAS PLASTICAS

Es el sobrante de las bolsas plásticas y las bolsas ya usadas.

VENTAJAS

- Mejoramiento del comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica
- Reducción del impacto ambiental generado por los desechos de las bolsas

2.2.2.2.9 POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD (PEBD)

El polietileno de baja densidad es un polímero de la familia de los polímeros olefínicos, como el polipropileno y los polietilenos. Es un polímero termoplástico conformado por unidades repetitivas de etileno.

VENTAJAS

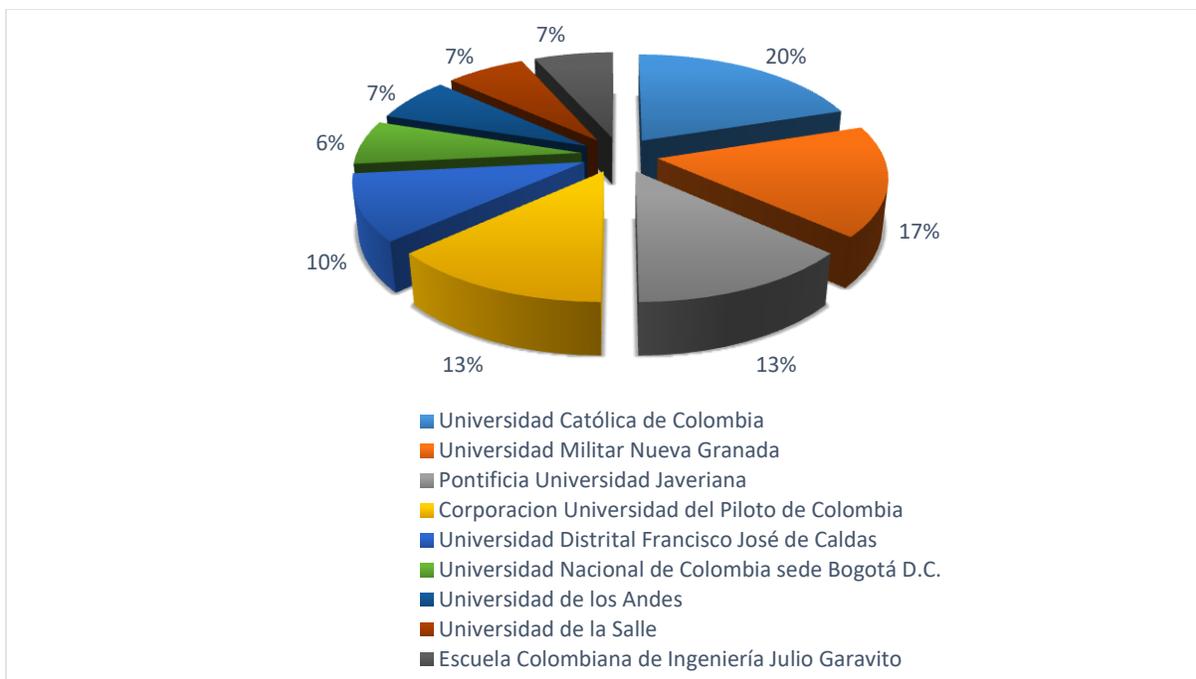
- Mejoramiento del comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica
- Reducción del impacto ambiental.

3. MARCO CONTEXTUAL

3.1. UNIVERSIDADES

Las Instituciones de Educación Superior de Bogotá D.C. han formulado productos investigativos en el área de las mezclas asfálticas modificadas, acorde a sus capacidades en cuanto a: personal, infraestructura y financiamiento de los mismos, obteniendo resultados que aportan a la implementación de nuevos agentes modificadores en la realización de mezclas asfálticas en el país, siguiendo así la corriente mundial de mitigar el posible impacto ambiental de la utilización de dichos materiales en la construcción de obras de infraestructura.

En total fueron consultados 30 proyectos de investigación, pertenecientes a las siguientes universidades: Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá D.C., Corporación Universidad del Piloto de Colombia, Universidad de los Andes, Universidad Militar Nueva Granada, Universidad de la Salle, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, la Universidad Católica de Colombia y Pontificia Universidad Javeriana, tal como se muestra en la Gráfica No. 1.



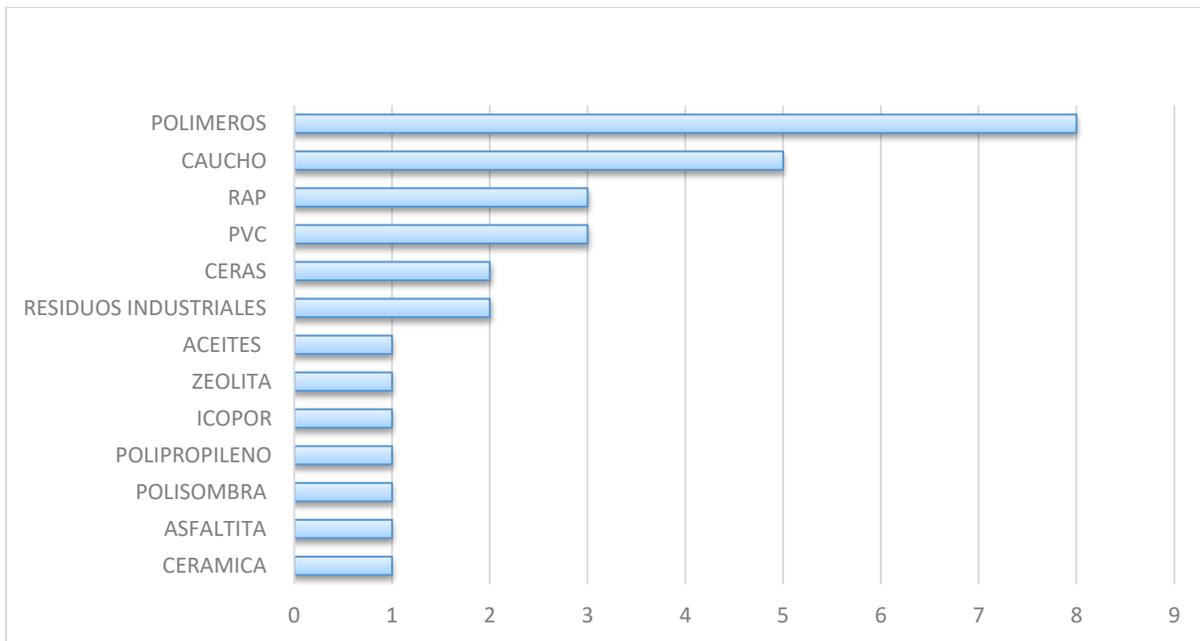
Gráfica 1: Universidades que realizan investigaciones en modificación de asfaltos.
Fuente: Los Autores.

Las universidades con más productos investigativos son la Universidad de Los Andes, Universidad Católica de Colombia y la Universidad militar Nueva Granada, cada una con 6 proyectos, seguidas por la Pontificia Universidad Javeriana y la Corporación Educativa Universidad Piloto de Colombia cada una con 4 productos investigativos, también, se desarrollaron investigaciones en el tema tratado en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Universidad de la Salle, Escuela Colombiana de ingeniería Julio Garavito, con dos productos de investigación cada una, por último, se encuentra la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá con una única investigación relacionada con la modificación de mezclas asfálticas modificadas.

3.2. MATERIALES UTILIZADOS

Los estudios e investigaciones de las universidades de la ciudad de Bogotá D.C., se han enfocado en la incorporación de materiales naturales (asfáltitas, ceras, zeolitas, residuos agroindustriales), y artificiales (SBS, ICOPOR, PVC, GCR, Polímeros PEBD, caucho y cueros sintéticos, residuos industriales, entre otros.), que brindan un mejoramiento de las características físicas, reológicas y químicas de las mezclas asfálticas.

Tal y como se muestra en la Gráfica No. 2 de los 30 proyectos investigativos estudiados los polimeros, fueron el material mas utilizado con 8 investigaciones, seguido por el caucho reciclado de neumaticos y de botas industriales con 5 trabajos de grado, tambien se realizaron 3 proyectos donde el agente modificador era reciclado de pavimentos asfalticos (RAP) y PVC, los aceites y las ceras solo fueron utilizados en 2 ocasiones para la elaboracion de trabajos de investigacion.



Gráfica 2: Materiales utilizados. Fuente: Los Autores

3.3.CRITERIOS DE ACEPTACIÓN

El instituto nacional de vías (INVIAS) ejerce su función de ente regulador de obras civiles en asfaltos, en todo el territorio nacional; para controlar la ejecución de las obras mencionadas el mismo emitió el documento de “especificaciones generales de construcción de carreteras” versión 2013, que establece los lineamientos mínimos para la aceptación del diseño de mezclas asfálticas en el desarrollo de los diferentes proyectos de infraestructura en Colombia.

Para el caso particular de las mezclas asfálticas modificadas las mismas deben ajustarse a los mismos requisitos de las mezclas asfálticas convencionales, a continuación, se presenta la tabla No. 450-10 “Criterios para el diseño preliminar de la mezcla asfáltica en caliente de gradación continua por el método Marshall” donde se establecen las características mínimas para el diseño de mezclas asfálticas utilizando el método Marshall para categorías de transito NT1, NT2 y NT3 de la clasificación INVIAS, en mezclas densas, semidensas, gruesas y de alto modulo.

CARACTERISTICA		NORMA ENSAYO INV	MEZCLAS DENSAS, SEMIDENSAS Y GRUESAS			MEZCLA DE ALTO MODULO
			CATEGORIA DE TRANSITO			
			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 (Va),% (Nota 3)	Rodadura	E-736 o E-799	3.0 a 5.0	3.0 a 5.0	4.0 a 6.0	N/A
	Intermedia		4.0 a 8.0	4.0 a 7.0	4.0 a 7.0	4.0 a 6.0
	Base		N/A	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 Llenante / 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			

Tabla No. 1 características mínimas para el diseño de mezclas asfálticas NORMA INVIAS 450-10

3.4. ENSAYOS DE LABORATORIO UTILIZADOS

En la actualidad las universidades de la ciudad de Bogotá D.C., se caracterizan por la utilización de equipos de laboratorio de alta tecnología en ensayos de mezclas asfálticas, los cuales se ajustan a la normatividad del instituto nacional de vías (INVIAS), ente regulador de las obras viales en Colombia.

Los ensayos de laboratorio utilizados en los diferentes trabajos de grado para la caracterización de los agregados y el diseño de mezcla fueron:

- Equivalente de arena de suelos y agregados finos. (Norma INV-E-133-13)
- Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 ½”) por medio de la máquina de los Ángeles. (Norma INV-E-218-13)
- Resistencia a la degradación de los agregados gruesos de tamaños mayores de 19 mm (3/4”) por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles. (Norma INV-E-219-13)
- Índices de aplanamiento y de alargamiento de los agregados para carreteras. (Norma INV- E-230-13)
- Porcentaje de partículas fracturadas en un agregado grueso. (Norma INV-E-227-13)
- Índices de aplanamiento y de alargamiento de los agregados para carreteras. (Norma INV- E-230-13)
- Determinación de la limpieza superficial de las partículas de agregado grueso (Norma INV-E-237-13)
-

Estos ensayos fueron realizados con el fin de obtener las características de los agregados dependiendo de la mezcla a utilizar en cada uno de los trabajos de investigación.

Para la caracterización del cemento asfáltico se utilizaron los siguientes ensayos:

- Ensayo de ductilidad de los materiales asfálticos. (Norma INV-E-702-13).
- Penetración de los materiales bituminosos. (Norma INV-E-706-13)
- Ensayo de punto de ablandamiento de materiales bituminosos (aparato de anillo y bola). (Norma INV-E-712-13)
- Ensayo de determinación de la viscosidad del asfalto empleando el viscosímetro rotacional. (Norma INV-E-717-13)
- Densidad de materiales bituminosos sólidos y semisólidos. (Norma INV-E-707-13).

Estos determinan la calidad del cemento asfáltico a utilizar. Además, sus resultados sirven como referencia para compararlos con los resultados del asfalto modificado.

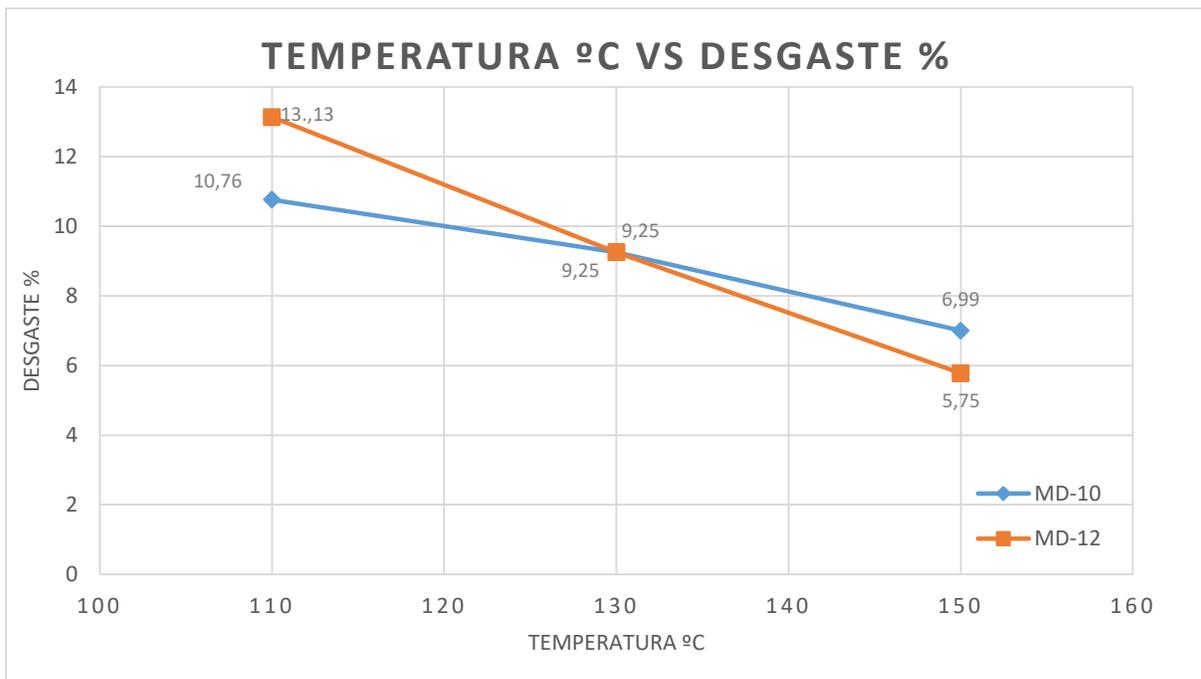
Los siguientes ensayos de laboratorio realizados sobre mezclas asfálticas dependen de los objetivos del proyecto y del tipo de mezcla que se esté trabajando:

- Ensayo de estabilidad y flujo de mezclas asfálticas en caliente empleando el aparato Marshall. (Norma INV-E-748-13).
- Caracterización de las mezclas asfálticas abiertas por medio del ensayo Cántabro de pérdida por desgaste. (Norma INV-E-748-13).
- Determinación de las propiedades reológicas de los ligantes asfálticos mediante el reómetro de corte dinámico. (Norma INV-E-750-13).

4. ANALISIS DE RESULTADOS

Dentro de las investigaciones realizadas, se establecieron para los análisis materiales con características similares acordes con los ensayos realizados en cada uno de los trabajos de grado encontrados durante el estudio. Se tomó una muestra de 12 productos de investigación tomando como determinante el que el agente modificador fuese material reciclado y las conclusiones de los demás productos investigativos se encuentran compiladas en el Anexo No.1.

4.1 CERAS



Gráfica 3: Temperatura °C vs. Desgaste %. FUENTE: los autores.

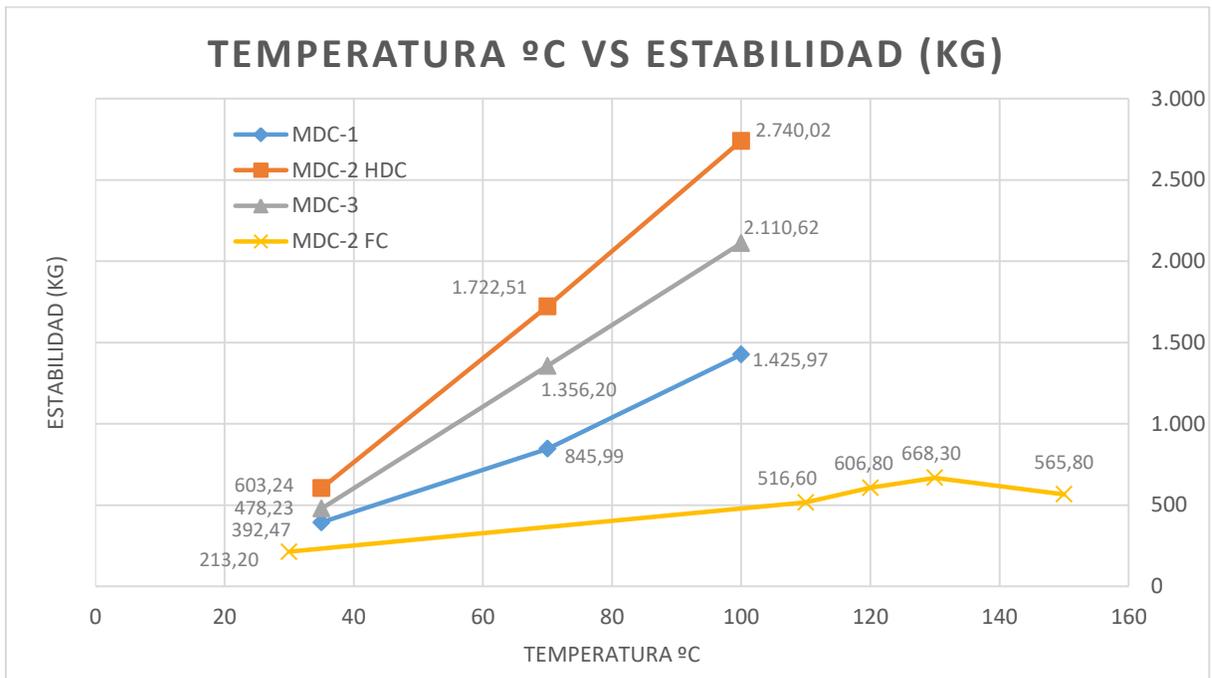
En la Gráfica No 3 se observa el comportamiento de una Mezcla Asfáltica con granulometrías MD-10 y MD-12, con un Cemento Asfáltico 60-70, sometidas al ensayo de la máquina de los ángeles, con una adición de 5 % de Cera de Carnúaba.

Para el caso de la granulometría MD-10 la mezcla presenta menor desgaste respecto a la MD-12.

Para el caso de la granulometría MD -12 presenta menor desgaste a mayores temperaturas.

Este aditivo no es recomendable, pues si bien disminuye la temperatura de fabricación y emisión de gases invernadero, reduce de manera considerable la cohesión en temperaturas bajas con respecto al asfalto sin aditivo. (Cardona & Leguizamon, 2013)

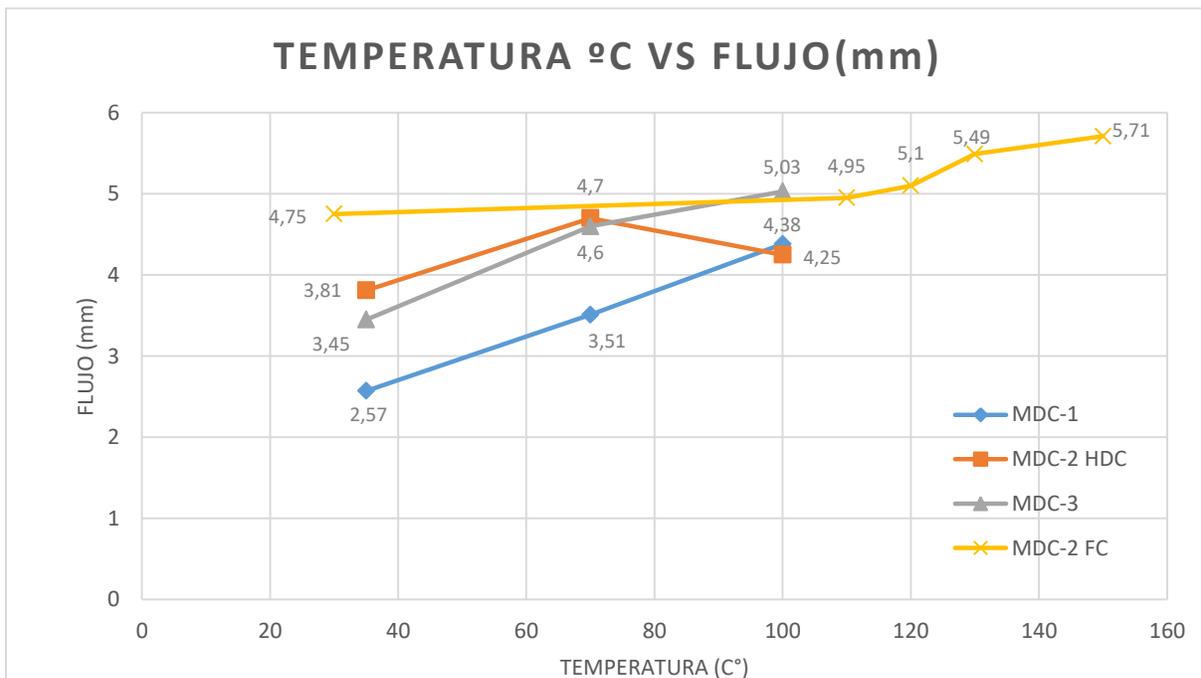
4.2 HIDRÓXIDO DE CALCIO Y FIBRA DE COCO



Gráfica 4: Temperatura °C vs. Estabilidad (Kg). FUENTE: Los Autores.

La modificación con Hidróxido de Calcio y Fibra de Coco fue realizada por varios investigadores plasmado en la Gráfica No 4, notándose así que al modificar la cantidad de Cemento Asfáltico con un 5 % de Hidróxido de Calcio para mezclas MDC-1, MDC-2 y MDC-3, se evidencia que todas las mezclas presentan un aumento de la estabilidad a medida que aumenta la temperatura, mostrando su mayor variación en la mezcla con granulometría MDC-2, que pasa de 603 Kg a 2740 Kg en 70°C. (Bedoya Lopez, 2012)

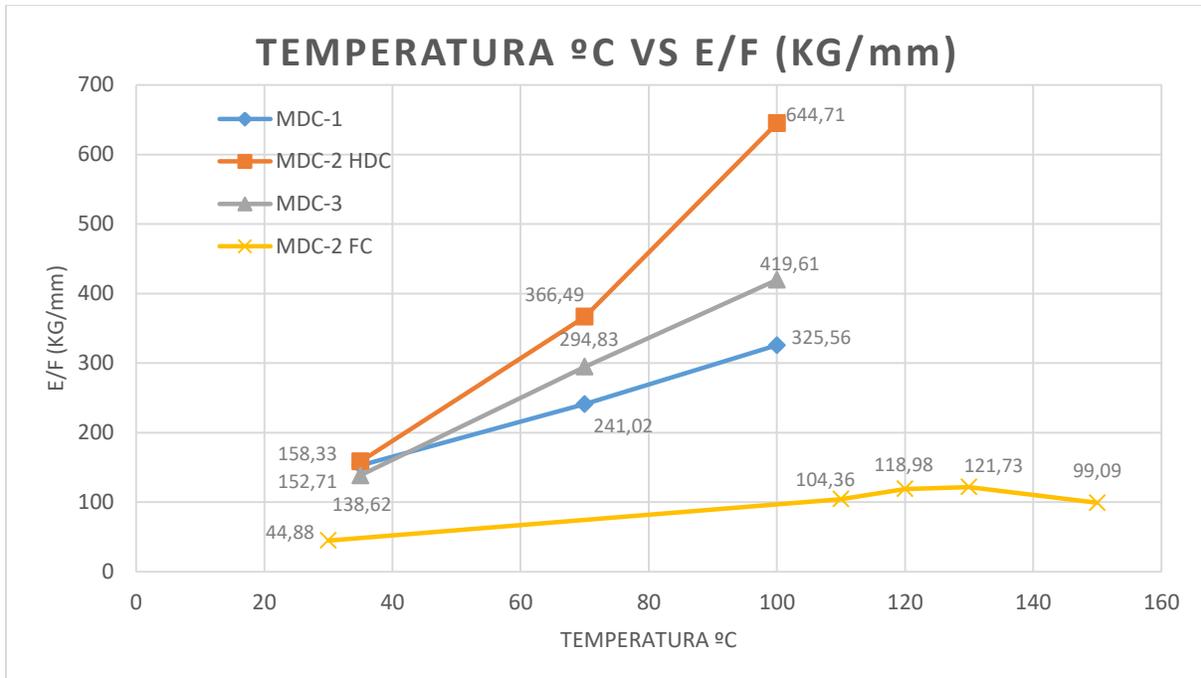
Por otra parte, en la adición de Fibra de Coco a un 13 % de Cemento Asfáltico proveniente de la planta de COLASFALTOS ubicada en el municipio de La Dorada (Caldas), para la realización de una Mezcla Asfáltica tipo MDC-2 a temperaturas mayores a 130 °C pierde estabilidad dando como resultado la utilización únicamente para niveles de transito NT1 según Norma INVIAS, situación que limita el uso de dicha mezcla y su implementación en las obras de infraestructura de la actualidad, pues las demandas son cada vez mayores. (Tovar & Landinez, 2015)



Gráfica 5: Temperatura °C vs. Flujo (mm). FUENTE: Los Autores.

Acorde a lo expuesto en la Gráfica No. 5, se observa que para las mezclas MDC-1 y MDC-3 con adición de Hidróxido de Calcio se presenta un mayor flujo a medida que aumenta la temperatura, caso contrario presentado en la mezcla MDC-2 que, a temperaturas mayores a 70°C, empieza a disminuir su flujo.

Por otra parte, la mezcla MDC-12 con adición de Fibra de Coco presenta en todo momento un flujo alto que al aumento de la temperatura su flujo se mantiene constante.



Gráfica 6: Temperatura °C vs. E/F (Kg/mm). FUENTE: Los Autores.

En la relación Estabilidad - Flujo mostrada en la Gráfica No. 6, la mezcla MDC-2 con adición de Hidróxido de Calcio presenta valores mayores comparados con las mezclas MDC-1 y MDC-3 objetos del estudio realizado.

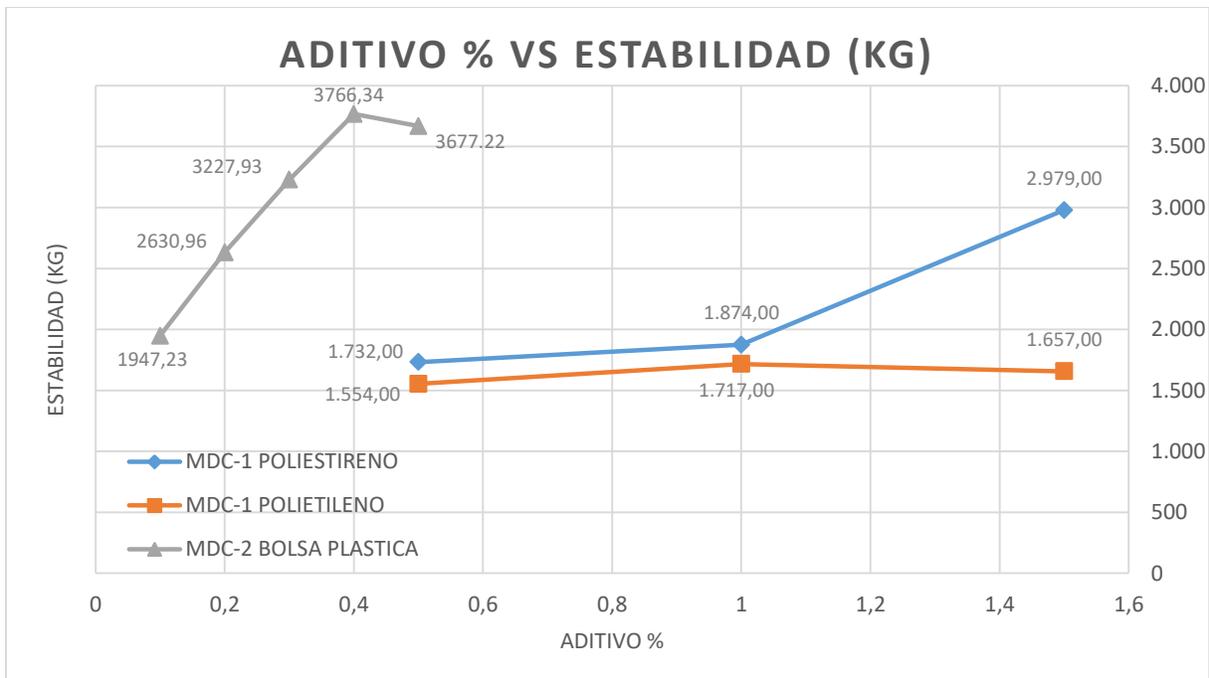
La mezcla elaborada con Fibra de Coco presenta valores entre 44.88 Kg/mm y alcanza su máximo a una temperatura de 120°C, con un valor de 118.98 Kg/mm.

Se puede concluir que es recomendable adicionar un 5% de Hidróxido de Calcio para la elaboración de una mezcla MDC-1, pues dicha mezcla presenta mejor comportamiento durante todo el estudio.

Adicionalmente se recomienda realizar nuevamente el estudio adicionando diferentes porcentajes de Hidróxido de Calcio para las mezclas MDC-2 y MDC-3, con el fin de verificar su comportamiento mecánico en este caso estabilidad, flujo y capacidad portante.

Finalmente, no es recomendable la utilización de la Fibra de Coco como aditivo, teniendo en cuenta que desmejora las propiedades mecánicas y reológicas de este tipo de mezcla asfáltica.

4.3. POLIESTIRENO, POLIETILENO, DESPERDICIO DE BOLSA PLÁSTICA.

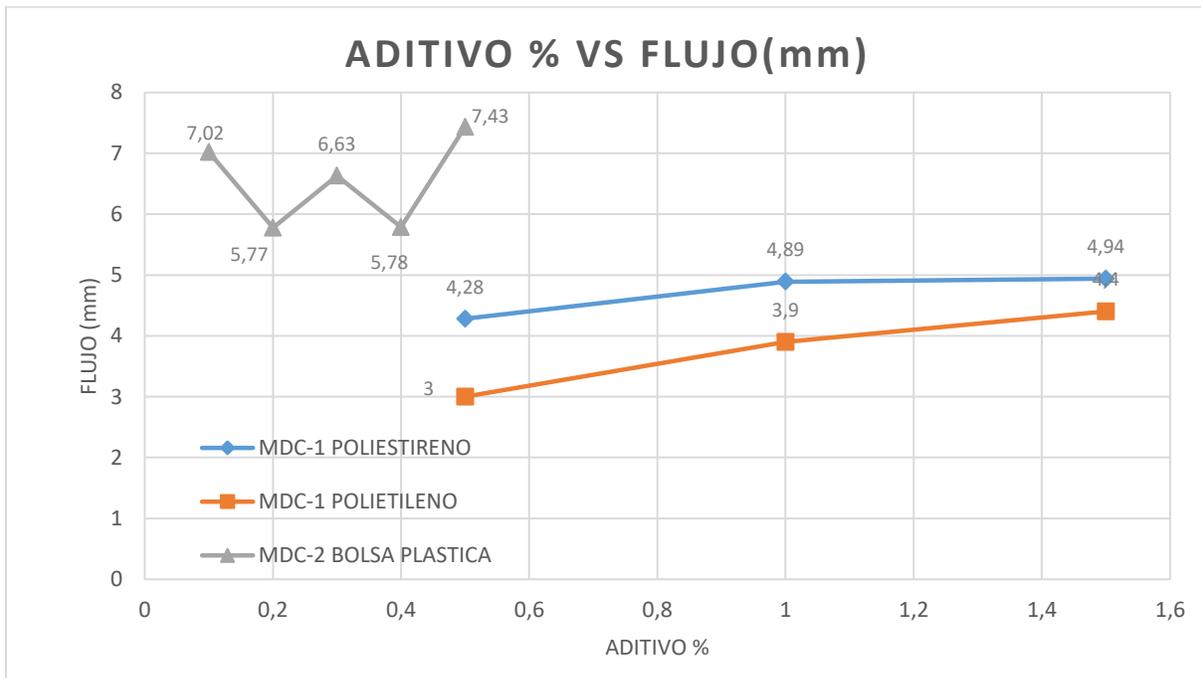


Gráfica 7: Aditivo % vs. Estabilidad (Kg). FUENTE: Los Autores.

En la Gráfica No.7 los autores evalúan el comportamiento de una mezcla Asfáltica de granulometría MDC-1 con un 6% de Cemento Asfáltico proveniente de la planta de ECOPEPETROL ubicada en el municipio de Barrancabermeja (Santander), adicionando entre 0.5 % y 1.5 % de Polietileno y Poliestireno.

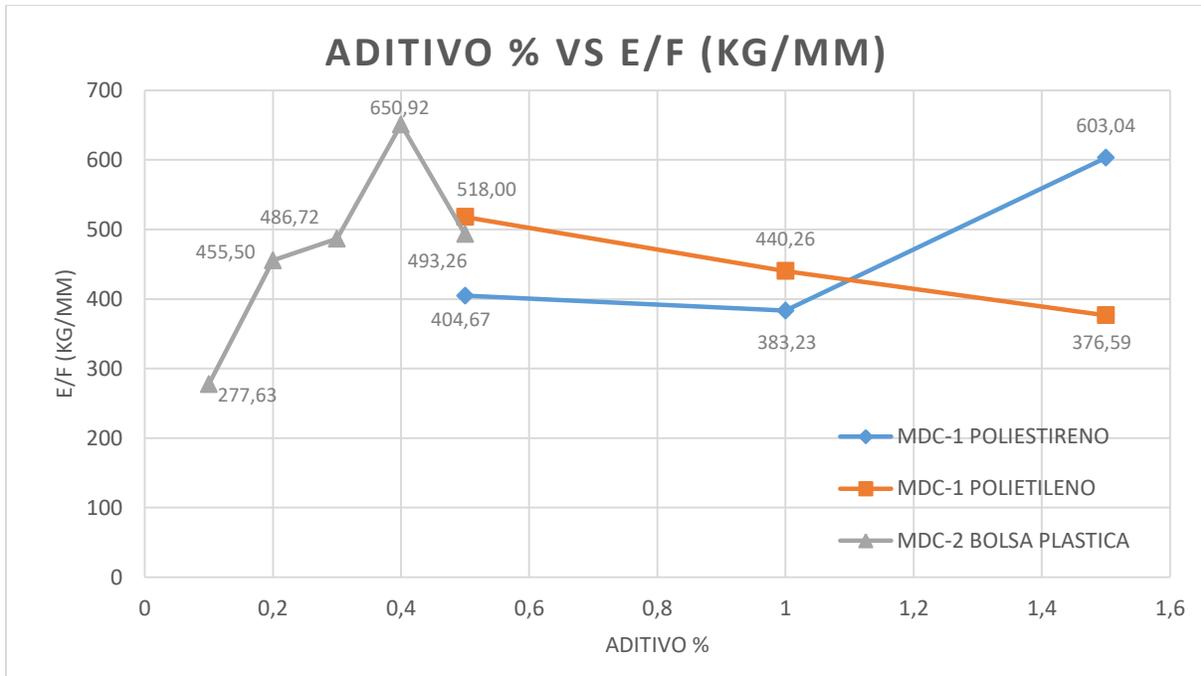
Por otro lado, los autores adicionan desecho de Bolsas Plásticas a una mezcla asfáltica de granulometría MDC-2 con un 6 % de Cemento Asfáltico.

Al adicionar Poliestireno a la mezcla MDC-1, se evidencia que la estabilidad es mayor respecto a la mezcla con adición de Polietileno, pero menor a la estabilidad presentada por la mezcla adicionada con Desechos de Bolsas Plásticas. (Forigua & Pedraza, 2014)



Gráfica 8 Aditivo % vs. Flujo (mm). FUENTE: Los Autores.

Para el caso de la mezcla modificada con polietileno mostrada en la Gráfica No. 8 al igual que en el caso de la estabilidad mostrada en la Gráfica No. 7, se presentan valores menores a la mezcla modificada con Poliestireno, lo que lleva a recomendar un estudio que profundice la utilización del Poliestireno como modificador de las mezclas asfálticas y tomar como variable el porcentaje de asfalto utilizado en la mezcla.

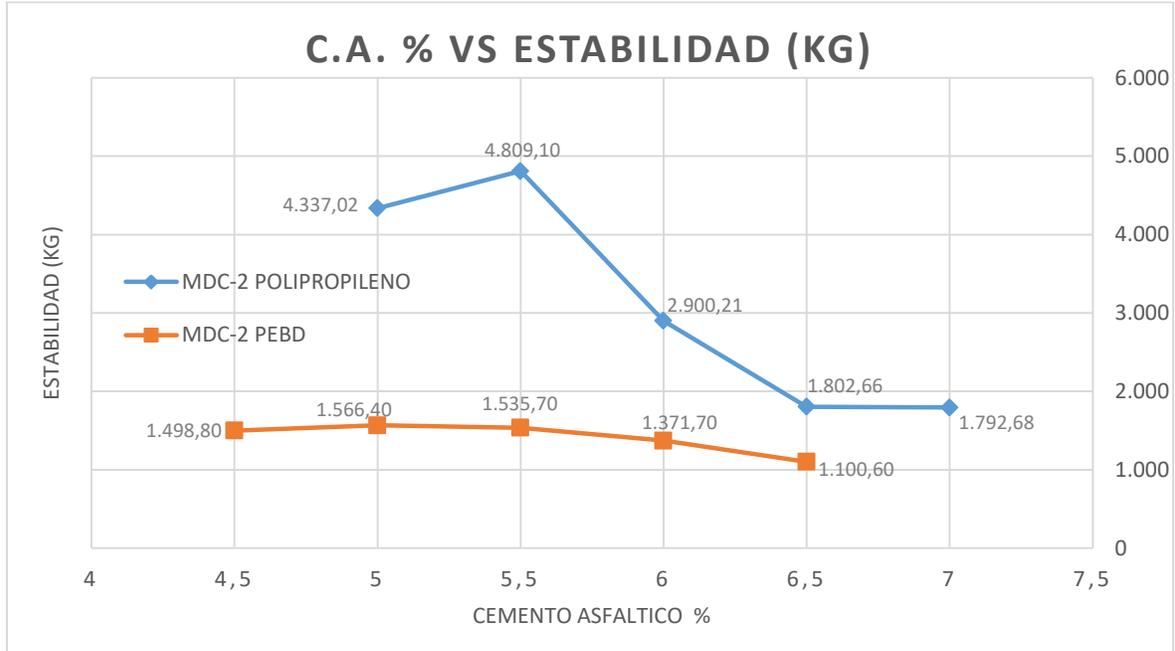


Gráfica 9 Aditivo % vs. E/F (Kg/mm). FUENTE: Los Autores.

En la Gráfica No. 9 se refleja que la relación Estabilidad – Flujo, presenta un mejor comportamiento para la adición de 1 % para el caso del Poliestireno y el Polietileno.

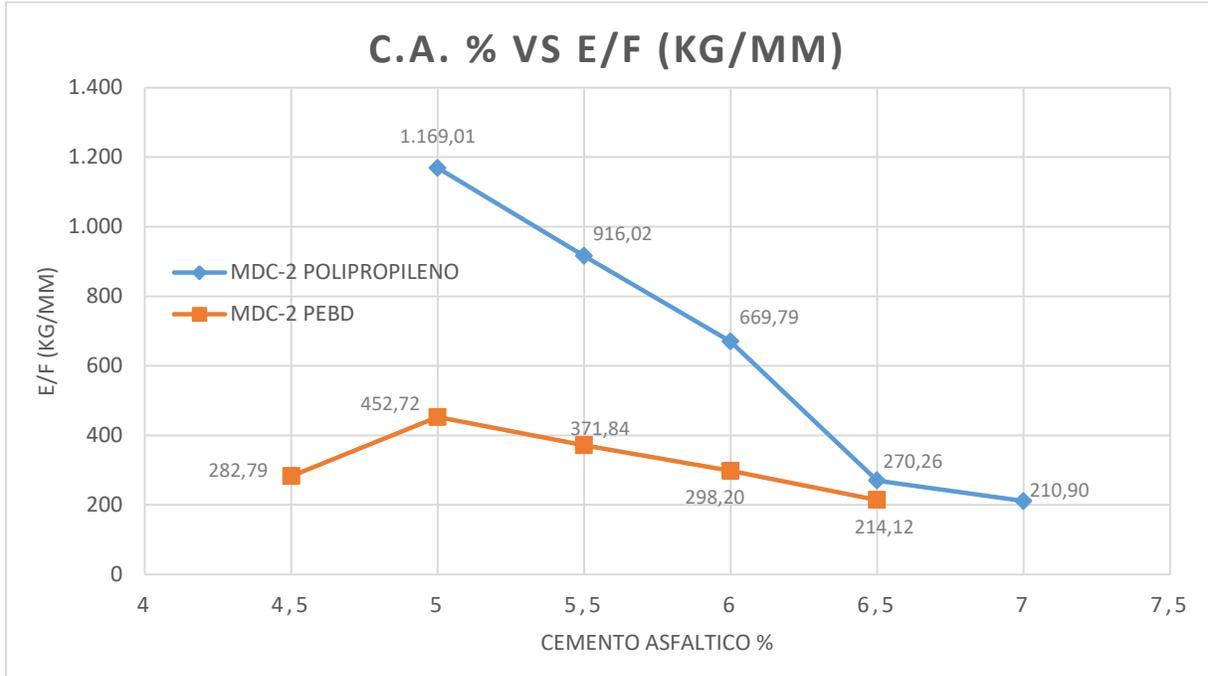
Por otra parte, al adicionar el 0.3 % de Desechos de Bolsas Plásticas se presenta un comportamiento adecuado para la mezcla asfáltica modificada con dicho material.

4.4.POLIPROPILENO, PEBD.



Gráfica 10: Cemento Asfaltico % vs. Estabilidad (Kg). FUENTE: Los Autores.

Se estudian mezclas asfálticas tipo MDC-2 con adición de 0.2 % de polipropileno y un 5 % de desecho de polietileno de baja densidad sometidos al laboratorio Marshall, para la estabilidad consignada en la Gráfica No.10, la mezcla modificada con Polipropileno siempre presenta mayor estabilidad que la modificada con PEBD, no obstante, para porcentajes de cemento asfaltico mayores a 6 %, se presenta una disminución en la estabilidad. (Rondón Quintana, Fernández Gómez, & Castro López, 2010);(Velasquez Castañeda, 2007)



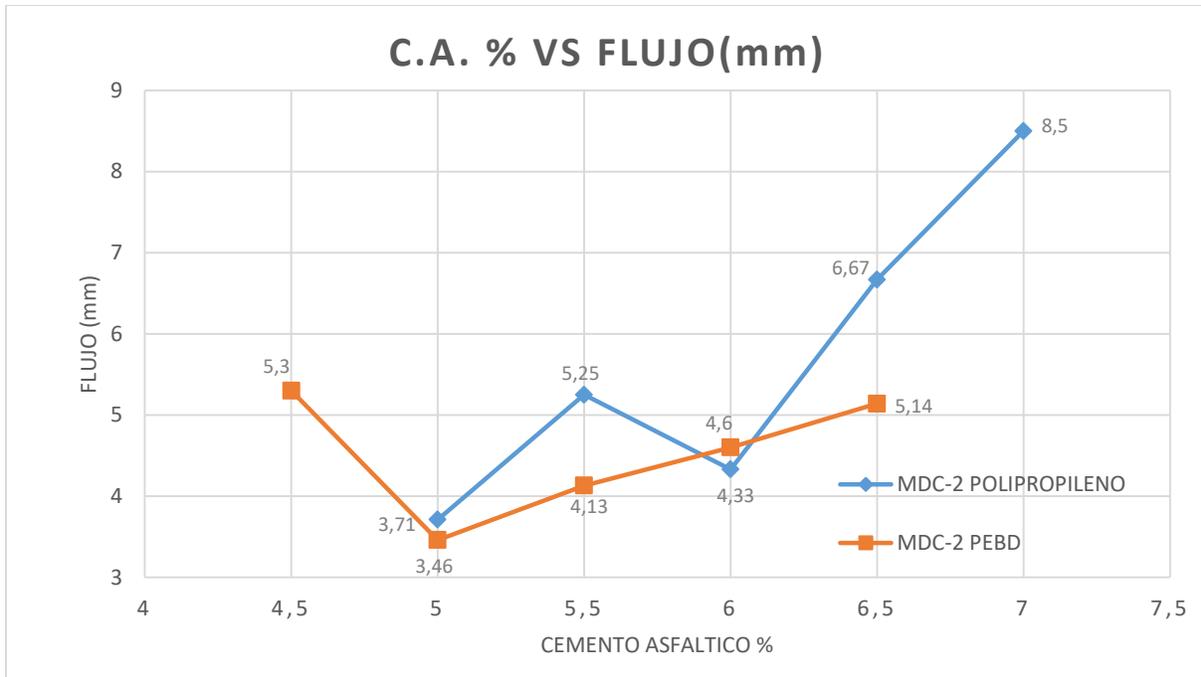
Gráfica 11: Cemento Asfáltico % vs. E/F (Kg/mm). FUENTE: Los Autores.

Para la Gráfica No. 11 estabilidad sobre flujo, las mezclas modificadas analizadas presentan un porcentaje óptimo de 5 % de cemento asfáltico,

La mezcla asfáltica modificada con PEBD presenta valores una tendencia a disminuir la relación estabilidad/flujo en un 35% a medida que se adiciona cemento asfáltico.

La mezcla asfáltica modificada con Polipropileno disminuye un 60% a medida que se aumenta el porcentaje de cemento asfáltico.

Se recomienda continuar los estudios relacionados con la modificación de asfaltos con polipropileno adicionando un porcentaje menor de cemento asfáltico, pues el comportamiento es bueno respecto de los demás materiales.



Gráfica 12: Cemento Asfáltico % vs. Flujo (mm). FUENTE: Los Autores. Basado en trabajos de grado

El flujo presentado para la mezcla MDC-2 con la adición de 0.2 % de polipropileno, evidencia un valor de 3.71 mm para una adición del 5% de cemento asfáltico, lo cual y un óptimo de 5.5 % con un valor de 5.25 mm.

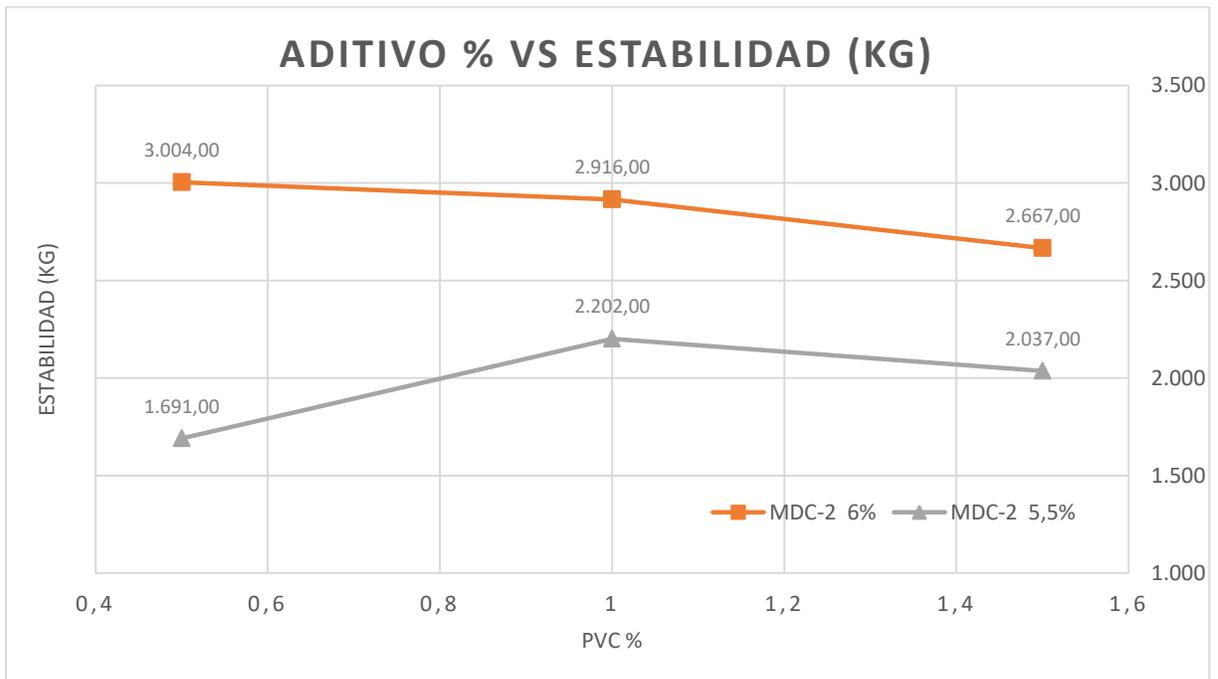
Para valores mayores al 6% de cemento asfáltico se presenta un incremento del 50% de flujo, situación que podría generar mayor deformación en la mezcla a medida que se le adiciona mayor porcentaje de cemento asfáltico.

Teniendo en cuenta que la mezcla con adición de PEBD presenta 5.3 mm para el porcentaje de 4.5 %, disminuye a 3.46 mm para un 5 % de cemento asfáltico y posteriormente se incrementa hasta llegar a 5.14 mm con una adición de 6.5 % de cemento asfáltico, se hace énfasis que la mezcla presenta un comportamiento inusual, lo cual hace pensar que el estudio realizado presenta un error de diseño.

A lo anterior se recomienda realizar nuevas investigaciones con respecto a la mezcla con adición de PEBD.

Se puede concluir que el porcentaje óptimo de asfalto modificado con un 0.2 % de polipropileno es del 5% y la mezcla adicionada con PEBD es del 5%.

4.5. PVC



Gráfica 13: Aditivo % vs. Estabilidad (Kg). FUENTE: Los Autores.

Se realizaron dos investigaciones tomando como agente modificador Policloruró de vinilo (PVC), adicionando porcentajes entre 0.5 y 1.5 % de PVC para una mezcla con un porcentaje de cemento asfáltico de 5.5% y 6% como se observa en las Gráficas 13, 14 y 15, se presentan los estudios de estabilidad, flujo y estabilidad sobre flujo de las investigaciones en mención.

El material estudiado con un porcentaje de 6% de asfalto para una granulometría tipo MDC-2, se evidencia que para una adición del 0.5 % de PVC, la estabilidad se comporta mejor y su capacidad de carga es mayor disminuyendo así las futuras deformaciones en la mezcla asfáltica. (Rondon Quintana, Reyes Lizcano, & Ojeda Martinez, 2008)

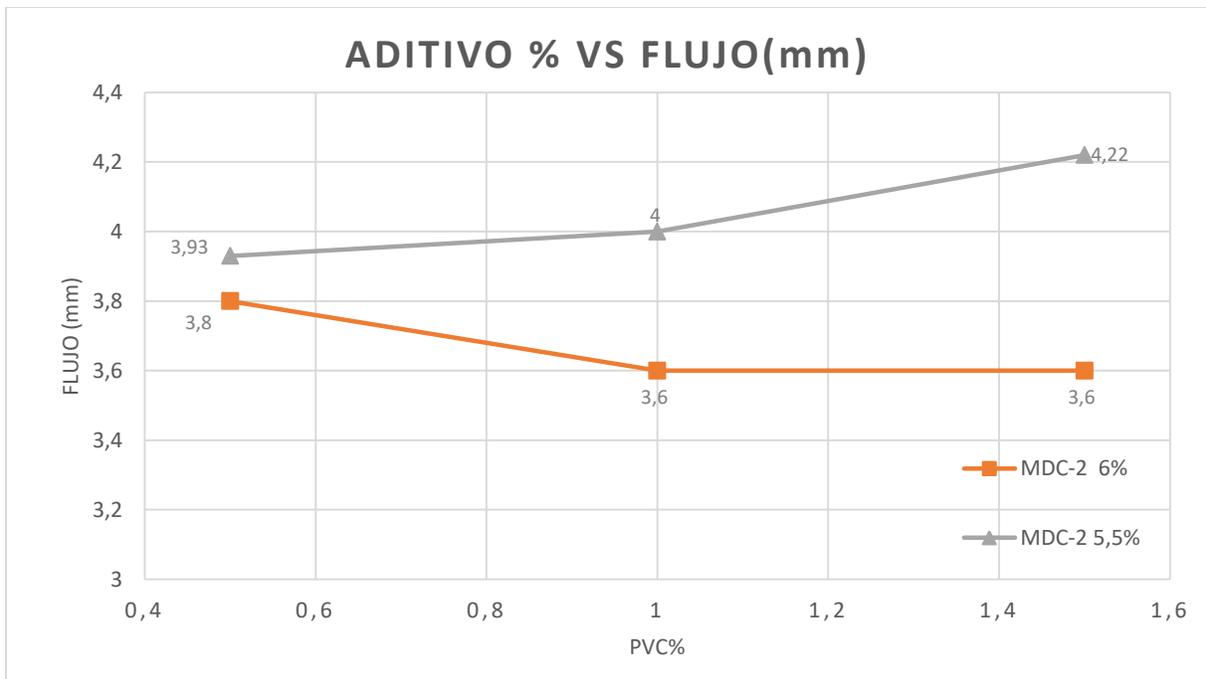
En consecuencia, al aumentar el porcentaje de aditivo PVC, la estabilidad disminuye un 30% causando así una menor capacidad de carga, no obstante, la mezcla asfáltica cumple los parámetros de diseño.

Se evidencia que la utilización de porcentajes mayores de aditivo a 0.5% la estabilidad del material comienza a disminuir, por consiguiente, la mezcla podría presentar fallas a temprana edad. (Rondon Quintana, Reyes Lizcano, & Ojeda Martinez, 2008)

La aplicación de aditivo 0.5% de PVC a una mezcla tipo MDC-2 con un porcentaje de cemento asfáltico de 5.5%, evidencia que la mezcla tiene una estabilidad menor en un 45 % que la mezcla elaborada con el 6 % de cemento asfáltico. (Rondon Quintana, Reyes Lizcano, & Ojeda Martinez, 2008)

A medida que el porcentaje de aditivo PVC aumenta, la estabilidad es mayor, hasta alcanzar un 1% de aditivo de PVC, la mezcla muestra un comportamiento equilibrado a medida que la mezcla asfáltica se aumenta el porcentaje de aditivo. (Rondón Quintana, Rodríguez Rincón, & Moreno Anselmi, 2007)

De igual forma la incorporación de este tipo de aditivo, mejora la estabilidad de la mezcla respecto a una mezcla asfáltica tradicional, motivo por el cual puede ser utilizado para cualquiera de los niveles de tránsito cumpliendo así la Norma INVIAS.

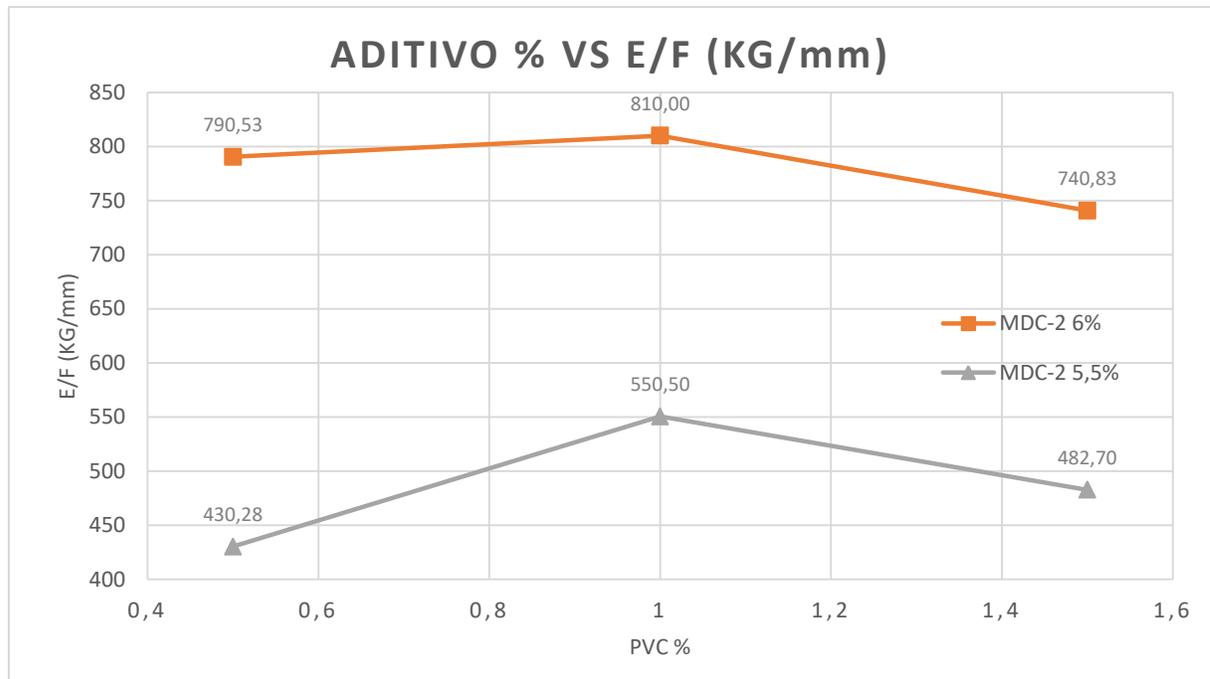


Gráfica 14: Aditivo % vs. Flujo (mm). FUENTE: Los Autores.

Como se muestra en la gráfica No. 14 el flujo Marshall realizado para la mezcla tipo MDC-2 con una adición de 6% de asfalto, realizado a partir de 0.5% a 1.5% de aditivo PVC el comportamiento tiene una disminución gradual de 5%, por lo tanto, se evidencia una mejora de en la resistencia al ahuellamiento establecido dentro de los términos indicados por la norma INVIAS. (Rondon Quintana, Reyes Lizcano, & Ojeda Martinez, 2008)

En la mezcla asfáltica tipo MDC-2 con un 5.5% de asfalto, a medida que se aumenta el porcentaje de aditivo va aumentando el flujo en un 12%, lo cual no cumple la normativa para ningún de los niveles de tránsito, teniendo en cuenta, que la mezcla se podría denominar como frágil. (Rondón Quintana, Rodríguez Rincón, & Moreno Anselmi, 2007),

En consecuencia, la mezcla de mejor desempeño es la tipo MDC-2 con un porcentaje de 6% de asfalto, toda vez, que dentro de los parámetros de estudio presento mejor índice continuo cumpliendo así la normatividad vigente.



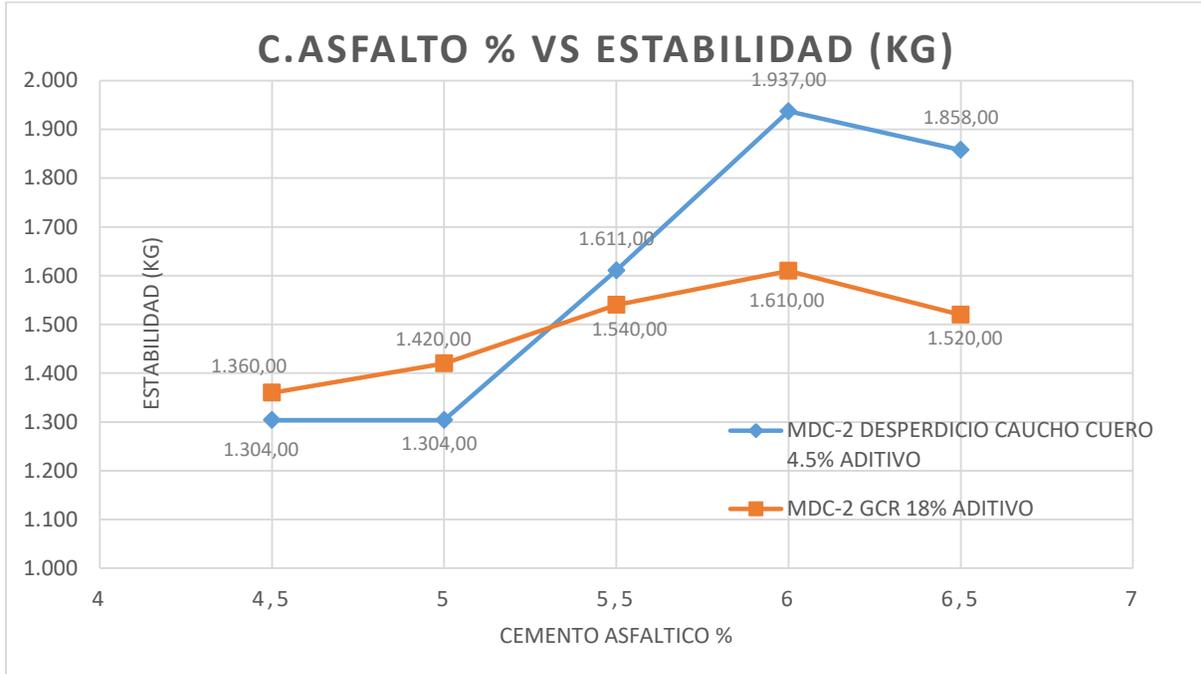
Gráfica 15: Aditivo % vs. E/F (Kg/mm). Fuente: los autores.

Respecto al material MDC-2 con un porcentaje de 6% de Asfalto, la estabilidad vs flujo indica que el material está por encima de lo indicado en la norma INVIAS un 200%, tal como se muestra en la gráfica No. 15, el material presenta una mayor rigidez, al ser sometido a la aplicación de cargas puntuales constantes cada vez mayores, el material presentara una fatiga prematura y una posterior rotura. (Rondon Quintana, Reyes Lizcano, & Ojeda Martinez, 2008)

De igual forma el material MDC- 2 con un porcentaje de 5,5% de asfalto, presenta valores menores con respecto a la mezcla MDC- 2 con adición de 6% de asfalto.

En la aplicación de 1.5% de aditivo, el comportamiento de la mezcla disminuye un 20% en cuanto a la relación estabilidad/flujo, teniendo así, que el material se comporta estable frente a la aplicación de carga en la adición de 0.5% a 1.5% de PVC en la mezcla generando un mejoramiento frente a la mezcla asfáltica convencional.

4.6. GRANO CAUCHO RECICLADO, CAUCHO – CUERO



Gráfica 16: Cemento Asfáltico % vs. Estabilidad (Kg). FUENTE: Los Autores.

La mezcla asfáltica con granulometría MDC-2 con un porcentaje de aditivo de 4.5% de Desecho de caucho-cuero evidencia con un porcentaje óptimo de 5% de cemento asfáltico, mediante el ensayo Marshall, cumple con las especificaciones mínimas norma INVIAS. (Piragauta & Bacca, 2015)

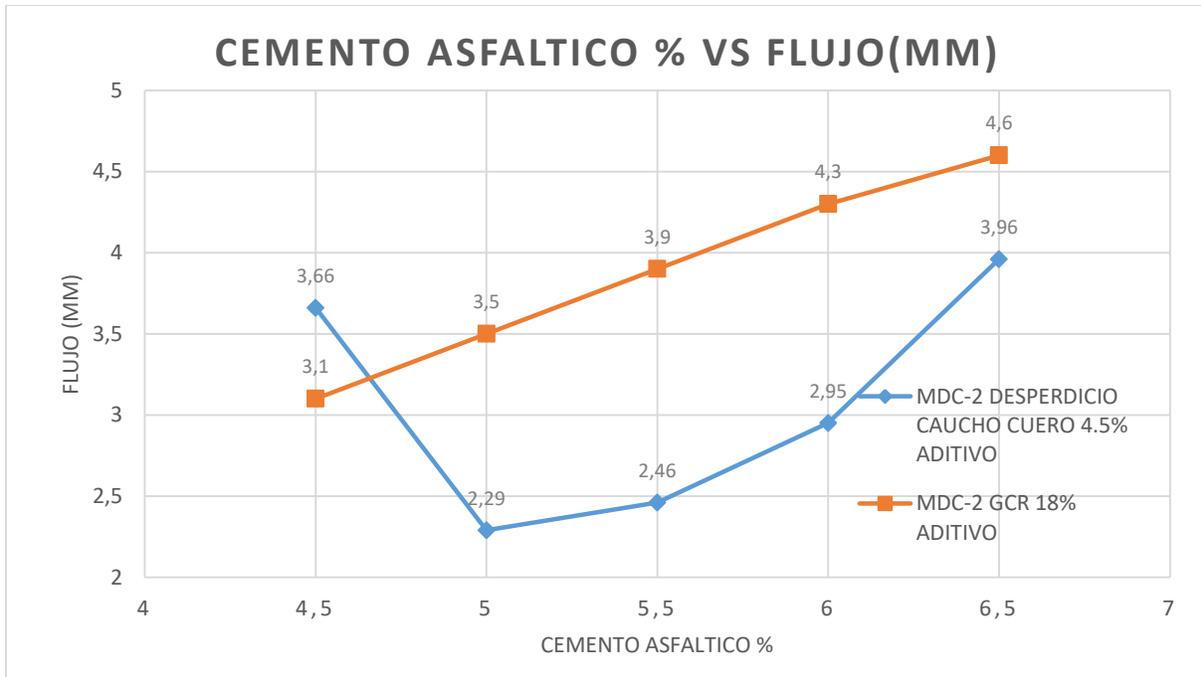
El material disminuye su estabilidad si se aumenta a 6.5% de cemento asfáltico en un 25%. Por otro lado el material adquiere su mayor estabilidad al agregar en la mezcla un 6% de mezcla asfáltica.

Acorde a lo anterior se puede concluir que la cantidad de mezcla asfáltica óptima es del 5% para el tipo de mezcla estudiado toda vez que el material tiene una estabilidad adecuada para que el material no se comporte muy rígido, así cumpliendo norma INVIAS.

Para una mezcla asfáltica con granulometría MDC-2 con un porcentaje de aditivo GCR de 18% para un ensayo realizado con un tipo de cemento asfáltico Barrancabermeja 60-70, el material estudiado con un porcentaje de 4.5% de cemento asfáltico, evidencia una estabilidad mayor a lo establecido a la Norma INVIAS. (Pineda & Rey, 2012)

A medida que el porcentaje de cemento asfáltico se aumenta, la estabilidad de la mezcla aumenta un 15%, lo que se transfiere que el material se comporta estable en la aplicación de cargas mayores con porcentajes mayores de cemento asfáltico sin afectar la rigidez del material.

Teniendo en cuenta que el grafico No. 16 se evidencia que para los tipos de mezcla estudiadas, se puede concluir que este tipo de mezcla es ideal utilizarlo con un porcentaje de 5.5% de cemento asfáltico tanto para una mezcla drenante como una mezcla densa, toda vez que la estabilidad de los materiales no presentan una rigidez alta en la aplicación de la carga disminuyendo así las deformaciones a temprana edad del material. (Piragauta & Bacca, 2015) y (Pineda & Rey, 2012)



Gráfica 17: Cemento Asfáltico % vs. Flujo (mm). FUENTE: Los Autores.

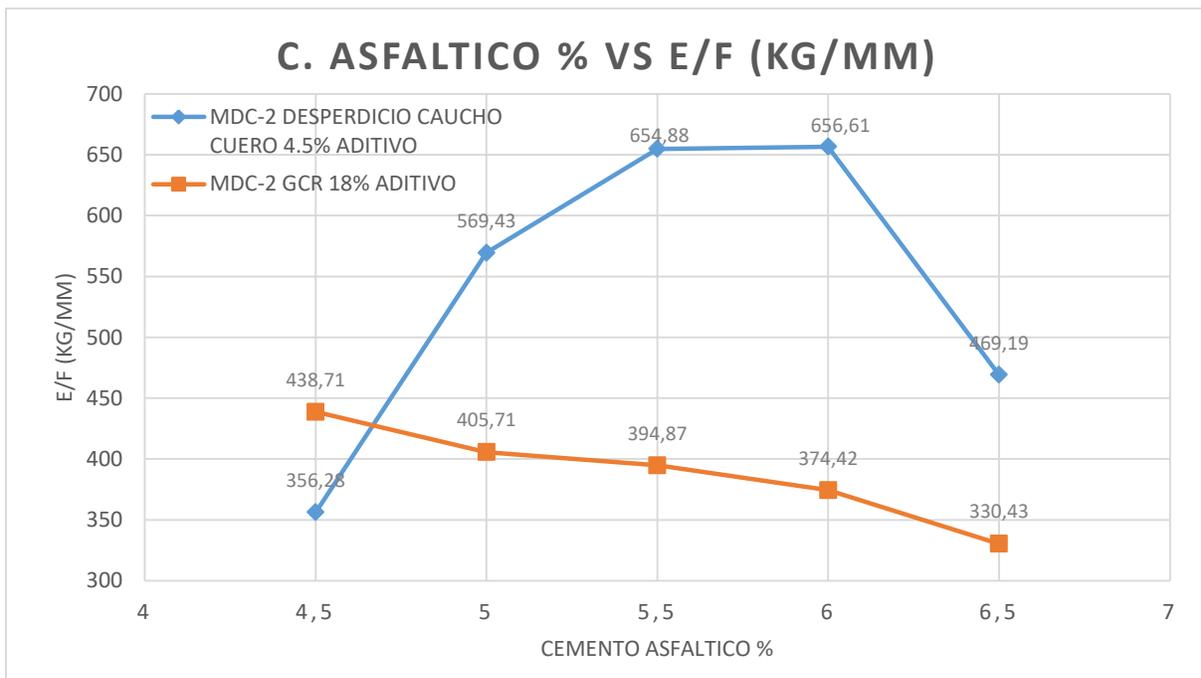
Acorde al trabajo realizado por (Piragauta & Bacca, 2015), el flujo realizado para la mezcla tipo MDC-2 con una adición de 4.5% de Desecho de Caucho-Cuero realizado a partir de 4.5% a 6.5% de cemento asfáltico, el comportamiento de la mezcla presenta una disminución de 35% en el aumento a 5% de cemento asfáltico evidenciando que la mezcla se comporta adecuadamente en la resistencia al ahuellamiento en temperaturas altas.

Adicionalmente si se aumenta gradualmente el porcentaje de cemento asfáltico, el flujo comienza a aumentar en un 20% generando así una mayor probabilidad de aumento de ahuellamiento de la mezcla tempranas edades.

Lo ideal para este tipo de mezcla se presenta en un porcentaje de cemento asfáltico 5%, toda vez que la mezcla presenta mejor flujo y está dentro de los parámetros establecido por Norma INVIAS.

La mezcla asfáltica con Grano Caucho Reciclado estudiada, presenta un aumento gradual de 12% lo que se traduce a la mezcla estudiada presenta un mayor flujo presentándose mayor presencia de ahuellamiento en temperaturas bajas pero en temperaturas altas se presenta como un tipo de mezcla ideal. (Pineda & Rey, 2012)

Teniendo en cuenta que este aumento gradual de la mezcla adicionada con GRC, no cumple con los parámetros establecido por Norma INVIAS, este tipo de mezcla no puede ser tenido en cuenta para ser utilizado dentro de los niveles de transito especificados.



Gráfica 28: Cemento Asfáltico % vs. E/F (Kg/mm). FUENTE: Los Autores.

La relación estabilidad flujo de la mezcla MDC-2 adicionada con desperdicios de caucho cuero con un porcentaje de 4,5% aditivo, presenta valores muy altos presentados se un aumento gradual de 35% lo que implica que la capacidad portante del suelo genera mayores daños estructurales a medida que se aumenta el porcentaje de cemento asfáltico. (Piragauta & Bacca, 2015)

El porcentaje ideal de cemento asfáltico acorde a norma INVIAS, es 5% toda vez que la mezcla presenta el mejor comportamiento sin afectar la rigidez de la mezcla y asegura un ahuellamiento menor.

Adicionalmente se evidencia que el porcentaje estudiado dentro de la mezcla asfáltica MDC-2 con GCR es del 18%, valor muy alto lo que se transfiere en la pérdida de capacidad portante de la mezcla y disminución de porcentaje de cemento asfáltico ideal para cumplir normativa colombiana. (Pineda & Rey, 2012)

De las gráficas estudiadas se puede concluir que el porcentaje del 5% de cemento asfáltico es adecuado para la elaboración de una mezcla MDC-2 con adición de GCR y Desecho de Caucho-cuero, pues presenta mejor comportamiento respecto a la estabilidad, flujo y capacidad portante.

Adicionalmente sería importante, realizar el estudio adicionando diferentes porcentajes de cemento asfáltico para la mezcla MDC-2, menores al estudiado.

5. CONCLUSIONES

- El material que tiene mejor comportamiento con respecto al cumplimiento de las especificaciones técnicas según la norma INVIAS 2013 es la adición de polietileno para el caso de temperaturas altas.
- La aplicación de cera como agente modificador no es recomendable, toda vez que desmejora las características de diseño de las mezclas asfálticas con respecto a las convencionales.
- La aplicación de hidróxido de calcio como agente modificante no es recomendable, teniendo en cuenta, que las mezclas presentan un flujo excesivo lo que puede generar el fenómeno de ahuellamiento en el pavimento.
- La aplicación de fibra de coco no es adecuada teniendo en cuenta que disminuye la capacidad de carga del asfalto.
- Es recomendable realizar investigaciones adicionando diferentes porcentajes de polipropileno como agente modificante, teniendo en cuenta, que las mezclas analizadas con este aditivo, presentan mejoras significativas respecto de la mezcla convencional en cuanto a mayor capacidad de carga monotónica, mejora el comportamiento con respecto al ahuellamiento.
- La aplicación de poliestireno como agregado modificador es ideal para temperaturas altas toda vez que presenta mayor resistencia al ahuellamiento y capacidad de carga.
- La aplicación de PVC como agregado modificador es el material que presenta la mejor estabilidad, rigidez, resistencia al ahuellamiento, a diferentes temperaturas.

- La aplicación de grano caucho reciclado como agente modificador, mejora ante el fenómeno de ahuellamiento y la fisuración superficial en temperaturas altas y de cargas de nivel alto.

6. REFERENCIAS

- (2014). EN D. CALVO, “ESTUDIO MECÁNICO DEL ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMEROS Y CUEROS QUE SON UTILIZADOS EN LA ELABORACIÓN DEL CALZADO”. (PÁGS. 1-14). BOGOTÁ D.C.: UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA.
- ALDANA PERDOMO, J., & ACOSTA VELÁSQUEZ, L. (2014). ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS MEZCLAS GRUESA EN CALIENTE MGC-1, UTILIZANDO ASFALTOS MODIFICADOS CON POLÍMEROS (SBS). BOGOTA D.C.: UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA.
- ARANGUREN CAMPOS, E. R. (2015). CARACTERIZACIÓN DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EMPLEANDO ALQUITRÁN, ESCORIA GRANULADA Y AGREGADO DE CALIZA. BOGOTA D.C.: UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA.
- ASFALTITAS. (S.F.). OBTENIDO DE E-ASPHALT: [HTTP://WWW.E-ASPHALT.COM/ASFALTITAS/ASFALTITAS.HTM](http://www.e-asphalt.com/asfaltitas/asfaltitas.htm)
- BEDOYA LÓPEZ , J. (2012). ASFALTO NATURAL MODIFICADO. BOGOTA D.C.: UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA.
- CARDONA GÓMEZ, J., & LEGUIZAMÓN TARAZONA, R. (2013). ESTUDIO DE LA COHESIÓN INDIRECTA DE ASFALTOS MODIFICADOS CON CERAS EN MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS. BOGOTA D.C.: UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA.
- FIGUEROA INFANTE, A., FONSECA SANTILLANA, E., & REYES LIZCANO, F. (2008). CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA Y MORFOLÓGICA DE ASFALTOS

MODIFICADOS CON MATERIAL RECICLADO. BOGOTA D.C.: UNIVERSIDAD LA SALLE.

FIGUEROA INFANTE, A., REYES LIZCANO, F., HERNANDEZ BARRERA, D., JIMENEZ, C., & BOHORQUEZ, N. (2007). ANÁLISIS DE UN ASFALTO MODIFICADO CON ICOPOR Y SU INCIDENCIA EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA DENSA EN CALIENTE. BOGOTA D.C.: REVISTA INGENIERIA E INVESTIGACION - UNAL.

FIGUEROA INFANTE, A., SANCHEZ CASTILLO, A., & REYES LIZCANO, F. (2007). CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE UN ASFALTO MODIFICADO CON POLIESTIRENO Y LLANTA TRITURADA. BOGOTA D.C.: UNIVERSIDAD LA SALLE.

FORIGUA ORJUELA, J., & PEDRAZA DÍAZ, E. (2014). DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS MEDIANTE LA ADICIÓN DE DESPERDICIOS PLÁSTICOS. BOGOTA D.C.: UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA.

FRANCO LOZANO, M., LEON ZAMBRANO, H., & RUIZ RUIZ, J. (2015). ESTUDIO DE LA INCIDENCIA DEL ELVALOY EN LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DEL CONCRETO ASFÁLTICO Y DEL ASFALTO DE LA PLANTA DE BARRANCABERMEJA. BOGOTA D.C.: UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA.

GONZALEZ GONZALEZ, T., & BELEÑO DURAN, M. (2015). REOLOGIA DE ASFALTOS 60/70 MODIFICADOS CON RESIDUO DE CERAMICA. BOGOTA D.C.: CORPORACION UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA.

GUTIÉRREZ GUTIÉRREZ , D., & HERNÁNDEZ ARDILA , I. (2016). ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO MECÁNICO DEL MEZCLA ASFÁLTICA TIPO

MDC-19 CON ADICIÓN DE POLISOMBRA. BOGOTA D.C.: UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA.

HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ, P. (2014). EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS UTILIZANDO PAVIMENTO RECICLADO, LIGANTES HIDRÁULICOS Y EMULSIONES ASFÁLTICAS. BOGOTA D.C.: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.

INVIAS. (2012). RECICLADO DEL PAVIMENTO, UNA TÉCNICA VIABLE Y ECONÓMICA PARA LAS VÍAS. BOGOTA D.C.

J.L., O. A., & ORTIZ, D. J. (2011). COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DEL INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO CON ADICIÓN DE PAVIMENTO RECICLADO. BOGOTÁ: FACULTAD DE INGENIERÍA. UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA. .

LOPERA PALACIO, C. (2011). DISEÑO Y PRODUCCIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS, A PARTIR DE LA MEZCLA DE ASFALTO Y ACEITE CRUDO DE PALMA (ELAEIS GUINEENSIS). BOGOTA D.C.: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.

MAXIL COYOPOTL, R., & SALINAS HERNÁNDEZ, M. (2006). VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE POLIMEROS EN EL ASFALTO. OBTENIDO DE UNIVERSIDAD DE LAS AMERICAS PUEBLA: [HTTP://CATARINA.UDLAP.MX/U_DL_A/TALES/DOCUMENTOS /LIC/MAXIL_C_R/CAPITULO2.PDF](http://CATARINA.UDLAP.MX/U_DL_A/TALES/DOCUMENTOS/LIC/MAXIL_C_R/CAPITULO2.PDF)

MUÑOZ RODRIGUEZ, H. (2012). ANÁLISIS DE PAVIMENTACIÓN (MDC-3) MEJORADAS CON ESCORIAS (NO FERROSAS) DE FUNDICIÓN DE COBRE

(ENSAYO MARSHALL INV-E 748-07). BOGOTA D.C.: UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA.

PATINO- BOYACÁ, N., & REYES-O, O. (2014). COMPORTAMIENTO A FATIGA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COLOMBIANAS CON ADICIÓN DE PAVIMENTO RECICLADO AL 100%. OBTENIDO DE UNIMILITAR: [HTTP://WWW.SCIELO.ORG.CO/SCIELO.PHP?SCRIPT=SCI_ARTTEXT&PID=S0123-921X2015000100006&LANG=ES](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-921X2015000100006&lang=es)

PÉREZ CASTRO, M. R., POSSO AREVALO, O. G., & VIVAS LOPEZ, G. M. (2013). RECUPERADO EL 15 DE 09 DE 2016, DE UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA:

[HTTP://REPOSITORY.UNIMILITAR.EDU.CO/BITSTREAM/10654/11061/2/EL%20ESTADO%20DEL%20ARTE%20DE%20LA%20EDUCACI%C3%93N%20DEL%20INGENIERO%20CIVIL%20EN%20COLOMBIA.PDF](http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/11061/2/el%20estado%20del%20arte%20de%20la%20educaci%C3%93n%20del%20ingeniero%20civil%20en%20colombia.pdf)

PINEDA RODRIGUEZ, Y., & REY MORENO, F. (2012). MEZCLAS ASFALTICAS DRENANTE MODIFICADAS CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO. BOGOTA D.C.: CORPORACION UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA.

PIRAGAUTA PANTOJA, A., & BACCA PRIETO, I. (2015). ANÁLISIS DINÁMICO DE UNA MEZCLA DENSA EN CALIENTE TIPO 2 (MDC-19) MODIFICADA CON DESECHOS DE CAUCHO-CUERO PROVENIENTES DE UNA REMONTADORA DE CALZADO - CEMENTO ASFALTICO 60-70 Y AGREGADO DE PEÑA. BOGOTA D.C.: UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA.

RAMIREZ ROMERO, E. (S.F.). RECUPERADO EL 01 DE 10 DE 2016, DE SOCIEDAD GEOGRAFICA DE COLOMBIA: [HTTP://WWW.SOGECOL.EDU.CO/DOCUMENTOS/COL_INF_DES_NAL.PDF](http://www.sogecol.edu.co/documentos/col_inf_des_nal.pdf)

REVOLLO, A. A. (2015). EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL USO DE PAVIMENTO ASFÁLTICO RECICLADO (RAP) EN VÍAS COLOMBIANAS. OBTENIDO DE UNIMILITAR: [HTTP://REPOSITORY.UNIMILITAR.EDU.CO/BITSTREAM/10654/13208/1/EVALUACI%C3%93N%20T%C3%89CNICA%20Y%20ECON%C3%93MICA%20DEL%20USO%20DE%20PAVIMENTO%20ASF%C3%81LTICO%20RECICLADO%20\(RAP\)%20EN%20V%C3%8DAS%20COLOMBIANAS.PDF](http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/13208/1/EVALUACI%C3%93N%20T%C3%89CNICA%20Y%20ECON%C3%93MICA%20DEL%20USO%20DE%20PAVIMENTO%20ASF%C3%81LTICO%20RECICLADO%20(RAP)%20EN%20V%C3%8DAS%20COLOMBIANAS.PDF)

REYES ORTÍZ, O., FUENTES PUMAREJO, L., & MORENO-TORRES, O. (2013). COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS FABRICADAS CON ASFALTOS MODIFICADOS CON CERAS. OBTENIDO DE SCIELO: [HTTP://WWW.SCIELO.ORG.CO/PDF/INDE/V31N1/V31N1A09.PDF](http://www.scielo.org.co/pdf/inde/v31n1/v31n1a09.pdf)

REYES-ORTIZ, O. B. (2012). EVALUATION OF HOT MIX ASPHALT MIXTURES WITH REPLACEMENT OF AGGREGATES BY RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT (RAP) MATERIAL. ROCEDIA - SOCIAL AND BEHAVIORAL SCIENCES.

RONDÓN QUINTANA, H., FERNÁNDEZ GÓMEZ, W., & CASTRO LÓPEZ, W. (2010). EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UNA MEZCLA DENSA EN CALIENTE MODIFICADA CON UN DESECHO DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD (PEBD). OBTENIDO DE SCIELO: [HTTP://WWW.SCIELO.CL/SCIELO.PHP?SCRIPT=SCI_ARTTEXT&PID=S0718-50732010000100004](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732010000100004)

- RONDÓN QUINTANA, H., MOLANO MORA, Y., & TENJO LANCHEROS, A. (2012). INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DE COMPACTACIÓN SOBRE LA RESISTENCIA BAJO CARGA MONOTÓNICA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO DE LLANTAS. OBTENIDO DE SCIELO: [HTTP://WWW.SCIELO.ORG.CO/SCIELO.PHP?SCRIPT=SCI_ARTTEXT&PID=S0123-77992012000200002](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-77992012000200002)
- RONDON QUINTANA, H., REYES LIZCANO, F., & OJEDA MARTINEZ, B. (2008). COMPORTAMIENTO DE UNA MEZCLA DENSA DE ASFALTO CALIENTE MODIFICADA CON DESECHO DE POLICLORURO DE VINILO (PVC). BOGOTA D.C.: UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA.
- RONDÓN QUINTANA, H., RODRÍGUEZ RINCÓN, E., & MORENO ANSEMI, L. (2007). RESISTENCIA MECÁNICA EVALUADA EN EL ENSAYO MARSHALL DE MEZCLAS DENSAS EN CALIENTE ELABORADAS CON ASFALTOS MODIFICADOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO (PVC), POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (PEAD) Y POLIESTIRENO (PS). BOGOTA D.C.: REVISTA UNIVERSIDAD DE MEDELLIN.
- RONDÓN QUINTANA, I. H. (2008). ESTADO DEL CONOCIMIENTO DEL ESTUDIO SOBRE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS EN COLOMBIA. BOGOTÁ D.C.
- SENIOR ARRIETA, V. (2013). DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DRENANTES TIBIAS, A PARTIR DE LA MEZCLA DE CEMENTO ASFÁLTICO AC 60-70 CON LICOMONT BS-100 PARA DIFERENTES NIVELES DE PRECIPITACIÓN. BOGOTA D.C.: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.

STATE-OF-THE-PRACTICE FOR USE OF RECYCLED ASPHALT PAVEMENT (RAP) IN HOT-MIX ASPHALT,. (S.F.). RECUPERADO EL 22 DE 05 DE 2015, DE DECKER, D. : [HTTP://AFTRE.NSSGA.ORG/SYMPIOSIUM/1998-](http://aftre.nssga.org/symposium/1998-)

TACHA VELASQUEZ, C., HUERTAS PASIVE, L., & AREVALO BERRIO, Y. (2014). DISEÑO DE UNA MEZCLA DE ASFALTO EN CALIENTE MSC-25 RECICLADA MODIFICADA CON ZEOLITA SINTETICA. BOGOTA D.C.: UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA.

TOVAR MORENO, D., & LANDINEZ SAURITH, A. (2015). MEZCLAS DENSAS EN CALIENTE A PARTIR DE ASFALTO NATURAL CON ADICIÓN DE FIBRA DE COCO. BOGOTA D.C.: CORPORACION UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA.

ULLOA PEÑA, C., & RAMIREZ OSPINA, A. (2012). COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFALTICAS FABRICADAS CON ADICION DE CERAS NATURALES. BOGOTA D.C.: UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA.

VELASQUEZ CASTAÑEDA, T. (2007). MODIFICACION DE MEZCLAS ASFALTICAS CON FIBRAS DE POLIPROPILENO. OBTENIDO DE UNIVERSIDAD LOS ANDES: [HTTPS://BIBLIOTECA.UNIANDES.EDU.CO/VISOR_DE_TESIS/WEB/?SESSIONID=L1RlC2LzXzIwMDDfChJpBwVYx3NLBwVzDhJllZawMDAYMTMwLNBKzG%3D%3D](https://biblioteca.uniandes.edu.co/visor_de_tesis/web/?sessionid=L1RlC2LzXzIwMDDfChJpBwVYx3NLBwVzDhJllZawMDAYMTMwLNBKzG%3D%3D)

WAN YUNG VARGAS, Y. (2013). CARACTERIZACIÓN, DISEÑO Y VERIFICACIÓN DE UNA MEZCLA ASFALTICA DRENANTE EN CALIENTE MODIFICADA CON GRANO DE LLANTA TRITURADO Y FIBRA KALTEX. BOGOTA D.C.: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.

ZEOLITAS. (S.F.). OBTENIDO DE ZEOLITAS DE COLOMBIA:

[HTTP://WWW.ZECOL.COM/CONTENIDO-INDEX-ID-3-T-ZEOLITAS](http://www.zecol.com/contenido-index-id-3-t-zeolitas)