

**CARACTERIZACIÓN DE MEZCLA DENSA EN CALIENTE (MDC-25) CON
ADICIÓN DE CALAMINA**

**CAMILO ANDRÉS ORTIZ HURTADO
PEDRO ALEJANDRO PRIETO BAUTISTA**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ.
Octubre 2018**

**CARACTERIZACIÓN DE MEZCLA DENSA EN CALIENTE (MDC-25) CON
ADICIÓN DE CALAMINA**

AUTORES

**CAMILO ANDRÉS ORTIZ HURTADO
PEDRO ALEJANDRO PRIETO BAUTISTA**

PROYECTO DE GRADO OPTAR EL TITULO DE INGENIERO CIVIL

DIRECTOR.

JHONATHAN JAVIER GARCIA GUERRERO

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ.
Octubre 2018**



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

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

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

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

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.

Nota de aceptación

Firma Presidente Jurado

Firma Jurado

Firma Jurado

Bogotá D.C., octubre de 2018

DEDICATORIA

El presente documento es dedicado en primer lugar a Dios quien me dio las fuerzas y la paciencia para culminar la siguiente investigación de manera exitosa. A mi padre Saulo Alfonso Ortiz Díaz y Mercedes Hurtado Díaz, quienes fueron los que me apoyaron a pesar de los errores y problemas que tuve en el transcurso de la carrera, además brindar mi agradecimiento a mi hermano Jonathan Steven Ortiz quien fue el que me ayudo y aconsejo en todo momento de la carrera, a mis compañeros de universidad Wilson León y Fernando reyes, quienes fueron los que me impulsaron en todo momento para la obtención del título.

Camilo Andrés Ortiz Hurtado

Hoy hago mención y reconocimiento al apoyo, a la dedicación, al amor, a la fortaleza, siempre dispuestos a ayudarme y darme la mano en mi formación como persona y como ingeniero, a mi padre Pedro Miguel Prieto Sánchez y a mi Madre Blanca Stella Bautista Pulido, mi hermano Juan David Prieto Bautista. Quienes son merecedores de este título y de orgullo por parte mía a su entero acompañamiento, sin ellos me hubiera sido imposible estudiar y conocer de tantas personas como lo son docentes, quien espero hacer de ese título un orgullo por su formación puesta en mí y a todos los miembros de la universidad católica quien me cobijo en la educación, amigos, como Camilo Andrés Ortiz Hurtado, a quien conozco desde segundo semestre y a quien le confió mi respeto y admiración por haber estado en mi camino y ser parte de mí presente, compañeros de clase, que me ayudaron en el proceso y futuros colegas. Experiencias que han hecho de este pregrado memorable y ocupando un lugar preferente en mi memoria, gracias a todos ellos he conseguido consagrarme en mi última etapa a obtener el título de Ingeniero Civil. Espero y confió en Dios hacer de esta profesión un futuro mejor para Colombia y a brindar siempre mi ayuda a la construcción de una nueva generación de Ingenieros

Pedro Alejandro Prieto Bautista

AGRADECIMIENTOS

Para nosotros es un mérito el dar reconocimiento a las personas que nos aportaron en la formación como profesionales y personas integrales. Es por esto que queremos brindar los agradecimientos a las personas que participaron en el proceso para nuestros estudios de pregrado.

Primero nos gustaría agradecer a Dios que nos brindó las fuerzas necesarias para la obtención del título, haciendo mención a los docentes como lo son, Carlos José Sleby Acevedo quien fue nuestro asesor en anteproyecto, donde aportó el seguimiento y control hasta su permanencia en la institución. Lina Patricia Murcia que fue participe en la incursión de este trabajo de grado. Al Maestro Alexis Castellanos Jiménez del departamento de bienestar universitario en el área de deportes, que quien fue el que me consejo, me brindo todo su apoyo y me acompaño en todo momento. Al docente Edgar Javier Garzón Pascagaza, del departamento de humanidades, quien ha sido un gran amigo y acompañante en mi curso de pregrado, a él, mi admiración y mis deseos de seguir aprendiendo, compartiendo y continuar de mi formación personal y académica.

Y por último queremos brindar nuestra gratitud al Ingeniero Jhonathan Javier García Guerrero quien hizo posible la culminación de nuestro trabajo de grado, dándonos el aporte de sus conocimientos como profesional, la corrección y coordinación al momento de la entrega de este proyecto. Así como también nos sentimos agradecidos con el técnico de laboratorio Hugo Alfonso Rondón Soto quien en sus conocimientos nos colaboró en los ensayos.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	16
1. GENERALIDADES.....	17
2. ANTECEDENTES.....	18
3. JUSTIFICACIÓN.....	21
3.1. Planteamiento y formulación de problema.....	22
4. MARCOS DE REFERENCIA.....	23
4.1. MARCO TEÓRICO.....	23
4.1.1. Diseño del pavimento:.....	23
4.1.2. Evaluación de proyecto:.....	23
4.1.3. Análisis de proyectos:.....	24
4.1.4. Diseño de proyecto:.....	24
4.1.5. Implementación del proyecto:.....	24
4.1.6. ¿Qué es Invías?:.....	25
4.1.7. Ensayos de laboratorio:.....	26
4.1.8. Ensayo de equivalente de arena de suelos y agregados finos I.N.V E 133-13. 26	26
4.1.9. Ensayo por medio de azul de metileno I.N.V E 235–13.	27
4.1.10. Adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos I.N.V. E 774 – 13. 27	27
4.1.11. Determinación de la gravedad específica de los suelos y del llenante mineral I.N.V. E 128 – 13.	27
4.1.12. Ensayo de concentración crítica de llenante en mezcla de concreto asfáltico I.N.V E 745-13.....	27
4.1.13. Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos I.N.V. E 213 – 13. 28	28
4.1.14. Análisis granulométrico por medio del hidrómetro I.N.V. E 124 – 13. 28	28
4.1.15. Resistencia de mezclas asfálticas en caliente empleando el aparato Marshall I.N.V. E 748 – 13.....	28
4.1.16. Caracterización de las mezclas bituminosas abiertas por medio del ensayo cántabro de pérdida por desgaste I.N.V. E 760 – 13.	29

4.1.17.	Determinación de la deformabilidad al flujo plástico y la resistencia de mezclas asfálticas en caliente usando el ensayo de tracción indirecta I.N.V. E 786 –13.	30
4.1.18.	Clasificación de suelos empleando el método de la AASHTON.	30
4.1.19.	Clasificación de los suelos.	31
5.	MARCO CONCEPTUAL.	32
5.1.	Pavimento.	32
5.1.1.	Características que debe reunir un pavimento:	33
5.1.2.	Pavimento flexible:	33
5.1.3.	Mezclas asfálticas:	34
5.1.4.	Mezclas densas en caliente:	34
5.1.5.	Mezcla densa en caliente (MDC-25):	35
5.1.6.	Propiedades principales de una mezcla:	37
5.2.	Mezclas modificadas:	37
5.2.1.	Agregados pétreos:	38
5.2.2.	Cemento asfáltico:	39
5.2.3.	Calamina:	42
6.	MARCO LEGAL.	44
7.	ESTADO DEL ARTE.	46
8.	OBJETIVOS.	53
8.1.	Objetivo general:	53
8.2.	Objetivos específicos:	53
9.	ALCANCES Y LIMITACIONES.	54
9.1.	Alcances.	54
9.2.	Limitaciones.	54
10.	METODOLOGÍA.	55
10.1.	Etapa 1:	56
10.2.	Etapa 2:	56
10.3.	Etapa 3:	56
10.4.	Etapa 4:	56
10.5.	Etapa 5:	56
11.	RESULTADOS.Y ANALISIS DE RESULTADOS	57
11.1.	Diseño mezcla convencional.	57

11.2.	Ensayo Marshall	58
11.3.	Estabilidad, flujo y E/F.	64
11.4.	Porcentaje de vacíos, densidad de Bulk y gravedad específica máxima teórica. 69	
11.5.	Gráfica densidad de Bulk vs porcentaje de cemento asfáltico.....	71
11.6.	Gráfica porcentaje vacíos.	72
11.7.	Ensayo de cántabro mezcla convencional y modifica.	76
11.8.	Ensayo de tracción indirecta.....	78
12.	CONCLUSIONES.	79
	RECOMENDACIONES.....	82
	BIBLIOGRAFIA.....	83
	ANEXOS.....	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Estructura del Pavimento	32
Figura 2:	Pavimento Flexible.....	33
Figura 3:	Especificaciones de Granulometría de MDC-25	35
Figura 4:	Calamina o Cascarilla de Laminación.....	42
Figura 5:	Cantidad de calamina generada.	50
Figura 6:	Diagrama de Metodología.....	55
Figura 7:	Perdida por Impacto MDC-25 Convencional.....	77
Figura 8:	Perdida por Impacto MDC-25 Modificada.	77
Figura 9:	Ensayo Diametral 60 °C.....	78
Figura 10:	Ensayo Diametral 25 °C.....	79
Figura 11:	Formas de Falla Sobre Muestras Asfálticas	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ensayos de bases y subbases.....	26
Tabla 2: Criterios de Diseño Preliminares de la Mezcla Asfáltica en Caliente Mediante el Método Marshall.....	29
Tabla 3: Clasificación de suelos según la AASHTON.....	30
Tabla 4: Clasificación de los Suelos de acuerdo a la AASHTO.	31
Tabla 5: Requisitos Mínimos de CA.....	40
Tabla 6: Requisitos de CA Modificado.....	41
Tabla 7: Propiedades Fisicoquímicas de la Calamina.....	43
Tabla 8: Propiedades Químicas de la Calamina.....	43
Tabla 9: Marco legal.....	44
Tabla 10: Comportamiento de la mezcla modificada y sin modificar.....	48
Tabla 11: Costos de materias primas.....	49
Tabla 12: Costos de materias primas.....	50
Tabla 13: Diseño de Briquetas y Porcentaje de CA 60-70.....	57
Tabla 14: Dosificación de CA y Masa de Briqueta en [gr].....	58
Tabla 15: Diseño Marshall CA 60-70 (4.5%).....	58
Tabla 16: Diseño Marshall CA 60-70 (5.0%).....	59
Tabla 17: Diseño Marshall CA 60-70 (5.5%).....	59
Tabla 18: Diseño Marshall CA 60-70 (6.0%).....	60
Tabla 19: Factor de Corrección de Flujo.....	60
Tabla 20: Ensayo Marshall MDC-25 Corregido.....	60
Tabla 21 Distribución Porcentual de Calamina.....	61
Tabla 22: Dosificación de Calamina y Masa de Briquetas Modificadas [gr].....	61
Tabla 23: Diseño Marshall CA 60-70 con Calamina de 1%.....	62
Tabla 24: Diseño Marshall CA 60-70 con Calamina de 2%.....	62
Tabla 25: Diseño Marshall CA 60-70 con Calamina de 3%.....	63
Tabla 26: Diseño Marshall CA 60-70 con Calamina de 4%.....	63
Tabla 27: Corrección Ensayo Marshall MDC-25 Modificada.....	63
Tabla 28: Porcentaje de Vacíos MDC-25.....	70
Tabla 29: Porcentaje de Vacíos MDC-25 modificada.....	70
Tabla 30: Pérdidas por Desgaste.....	76
Tabla 31: Resultados de Tracción Indirecta.....	78

INDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Estabilidad vs Cemento Asfáltico	64
Gráfica 2: Relación Flujo vs CA	64
Gráfica 3: Relación Estabilidad- Flujo vs CA	65
Gráfica 4: Estabilidad vs Porcentaje de Calamina	65
Gráfica 5: Flujo vs Porcentaje de Calamina	66
Gráfica 6: Estabilidad-Flujo vs Calamina	66
Gráfica 7: Diferencia de Estabilidad-Flujo.....	67
Gráfica 8: Variables Diferencia y Estabilidad	68
Gráfica 9: Densidad de Bulk vs Porcentaje de CA.....	71
Gráfica 10: Densidad de Bulk vs Calamina.....	71
Gráfica 11: Vacíos en Mezcla vs CA.....	72
Gráfica 12: Porcentaje VAM vs Porcentaje de Cemento Asfáltico	72
Gráfica 13: Porcentaje VFA vs Porcentaje de Cemento Asfáltico.....	73
Gráfica 14: Vacíos en Mezcla vs Calamina	73
Gráfica 15: Porcentaje VFA vs Calamina.....	74
Gráfica 16: Porcentaje de VAM vs Calamina.....	74
Gráfica 17: Porcentaje de Desgaste	76

INDICE DE ANEXOS

Anexo A: Porcentaje de Caras Fracturadas MDC-25.	88
Anexo B: Ensayo de Agregados Pétreos y Equivalente de Arena.....	89
Anexo C: Índice de Aplanamiento Y Alargamiento.	90
Anexo D: Granulometría de Agregados Pétreos.....	91
Anexo E: Granulometría Agregados Pétreos Ensayo 213.	92
Anexo F: Ensayo de Granulometría Ensayo 214.....	93
Anexo G: Densidad y Absorción de Agregados Gruesos.	94
Anexo H: Ensayo de Azul de Metileno.....	95
Anexo I: Ensayo Abrasión Microdeval.	96
Anexo J: Densidad y Absorción de Agregado Fino.....	97
Anexo K: Abrasión en Maquina de los Ángeles.	98
Anexo L: Formato Practica de Laboratorio.	100
Anexo M: Ensayo de Laboratorio Marshall.	106
Anexo N: Ensayo de Tracción Indirecta.....	108
Anexo O: Ensayo Cántabro.	109

GLOSARIO

CALAMINA: Calamina o cascarilla de laminación, es subproducto proveniente del proceso de laminación en perfiles de acero a altas temperaturas, constituido principalmente por óxido de hierro.¹

PAVIMENTO: El pavimento se define como un conjunto de capas de un material específico, que permite distribuir las cargas vehiculares o de tránsito a los estratos inferiores de forma disipada.²

PAVIMENTO FLEXIBLE: El pavimento flexible es un tipo de estructura de capas de material bituminoso apoyado generalmente sobre dos capas de material granular; también es denominada como carpeta asfáltica o rodadura.³

EMULSIÓN ASFÁLTICA: Es un material derivado del petróleo crudo en la cual consta de tres elementos básicos asfalto, agua y agente emulsionantes.⁴

TRACCIÓN INDIRECTA: Es un ensayo en el cual somete una probeta de mezclas bituminosas cargas de deformación, con el fin de estudiar la rotura mecánica de la probeta.⁵

ESTABILIDAD MARSHALL: Ensayo que permite determinar la resistencia a las deformaciones plásticas que tiene una probeta de mezcla asfáltica al ser sometido a carga, empleando el aparato Marshall.⁶

ENSAYO MARSHALL Y FLUJO: Consiste en someter briquetas de asfalto a baño maría, a $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 30 a 40 minutos, someter la probeta a cargas monolíticas mediante el ensayo Marshall, evaluación y análisis de la deformación plástica que se pueden presentar antes de la falla.

CÁNTABRO: El ensayo de cántabro o pérdidas por desgaste permite determinar las pérdidas porcentuales de material al ser sometido a fuerzas de impacto y abrasión a revoluciones de 100, 200 o 300 por segundo.⁷

¹ Martín, A., & Pérez F. 'Eliminación de Metales de Efluentes Líquidos', *Revista de Metalurgia Madrid*, 40 (2004), 324–28.

² Argos, 'Esfuerzos Térmicos En Pavimentos De Concreto', *Blog 360° En Concreto*, 2013, 1–5.

³ León, F., Martínez, C., Herrera, M., & Gómez, S. 'Análisis Cualitativo Del Flujo de Agua de Infiltración Para El Control Del Drenaje de Una Estructura de Pavimento Flexible', *Infraestructura Vial*, 1 (2009), 6.

⁴ Asphalt Institute, *Manual Básico de Emulsiones Asfálticas, Composición de Las Emulsiones*, 2001, 1.

⁵ Garrote, E. 'El Ensayo de Tracción Indirecta', *Ensayo de Tracción Directa*, p. 21 <<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3324/55872-9.pdf?sequence=9&isAllowed=y>>.

⁶ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, 'Resistencia de Mezclas Asfálticas En Caliente Empleando El Aparato Marshall', *Instituto Nacional de Vías*, 2007, 1–15.

⁷ Pérez, F., & Miro, R. Nuevos ensayos para la caracterización de ligantes y mezclas asfálticas. Universidad Politécnico de Cataluña. Trabajo de grado, Pág. 4.

PROPIEDADES MECÁNICAS: Las propiedades mecánicas son los esfuerzos exteriores en las cual se somete un elemento, las propiedades mecánicas se caracterizan por determinar componentes como: elasticidad, plasticidad, maleabilidad, ductilidad, dureza, tenacidad y fragilidad.⁸

VIA HÚMEDA: Consiste en agregar el polímero o aditivo a grandes temperaturas para posteriormente ser adicionado con el agregado pétreo, para la conformación de la mezcla asfáltica.⁹

VÍA SECA: Modificación de mezcla por medio de vía seca, consiste en remplazar parte de los agregados finos por un agregado alternativo. El material debe ser adicionado junto con el cemento asfáltico CA a altas temperaturas.¹⁰

CEMENTO ASFÁLTICO 60/70: Cemento asfáltico, es un material aglomerante solido o semisólido de color oscuro, derivado del petróleo que se clasifica según los ensayos de penetración y viscosidad.¹¹

⁸ Educación Tecnológica. Propiedades Mecánicas [En línea]. Educación Tecnológica [16 de octubre 2018]. Disponible en internet: <
http://contenidosdigitales.ulp.edu.ar/exe/educaciontecnologia/propiedades_mecnicas.html>.

⁹ Rondón, H., & Reyes, F. Pavimentos: Materiales, Construcción y Diseño. ECOE Ediciones, Bogotá. 2015. Pg. 2 - 3.

¹⁰ Rondón & Reyes. Op. Cit., Pg. 103 – 104

¹¹ Rondón & Reyes. Op. Cit., Pg. 103 – 104.

INTRODUCCIÓN.

La infraestructura vial tiene muchas ventajas en un país para el mejoramiento socio económico en los sectores productivos como la industria, el comercio, el turismo y el sector agrícola¹², por eso el diseño de una carpeta asfáltica deberá garantizar una resistencia adecuada a las cargas vehiculares y deformaciones presentes, cumpliendo paralelamente criterios tan importantes como el confort y seguridad para el usuario.

La calamina se produce como parte del proceso de fabricación en los aceros laminados en caliente y en algunas ocasiones se desecha por procesos de calidad, este material es la protección que tienen todos los perfiles y láminas de acero con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas ¹³, debido a que algunas industrias siderúrgicas desaprovechan a diario este material se quiere proponer su reutilización en el diseño de una mezcla (MDC-25) como elemento alternativo variando su dosificación en los agregados finos y evaluar sus propiedades de resistencia geotécnico-viales verificando el cumplimiento de las normas establecidas por el instituto nacional de vías (INVÍAS).

Según un artículo publicado por el diario ADN y el instituto de desarrollo urbano (IDU), el 49% de la malla vial de Bogotá se encuentra en mal estado, esta investigación busca implementar la calamina en pavimento flexible haciendo un aporte en el desarrollo de nuevas alternativas en estructuras de pavimento que puedan optimizar el proceso constructivo de una forma eficiente en cuanto materiales se refiere, teniendo en cuenta que la calamina hace una contribución a la sustentabilidad de la estructura en cuestión.

¹²El nacional. La importancia vial [en línea]. Torres José [18 de marzo, 2018]. disponible en internet: <<http://elnacional.com.do/la-importancia-vial/>>

¹³ Línea Cor. La calamina [en línea]. Oxidación vidmetal [18 de marzo, 2018]. disponible en internet: <<http://www.líneacor.com/cas/productos/documentos/info/OXID%20La%20Calamina.pdf>>

1. GENERALIDADES

El siguiente proyecto de investigación tiene como objetivo la reutilización de la calamina o cascarilla de laminación en mezclas MDC-25 modificadas; en la siguiente investigación se propone la implementación de este material y ser reutilizado en mezclas asfálticas, reemplazando los agregados finos en cantidades al 1.0%, 2.0%, 3.0% y 4.0% por vía húmeda, se realizará el remplazo de los agregados finos retenidos por el tamiz 200 de una MDC-25. Posteriormente se cotejará los resultados obtenidos de las mezclas convencionales MDC-25 y la modificada por calamina mediante ensayos de resistencia y deformaciones, usando ensayos de Marshall, cántabro y tracción indirecta.

Según Rodón & Reyes, la modificación de aditivos y polímeros de las mezclas asfálticas se emplean de dos formas, vía seca y vía húmeda, en la cual la vía seca el tiempo de compactación de la probeta es mayor y se deberá incrementar el material modificante.¹⁴ Bajo esta disposición se emplea el método de modificación en vía seca, con el objetivo de mejorar las propiedades mecánicas del diseño de la mezcla a cargas y deformaciones vehiculares. De igual forma se empleará un cemento asfáltico CA 60-70 empleados en vías con una temperatura mayor a 24°C.

De acuerdo con el artículo **“Evaluación de la reducibilidad de la calamina proveniente de una siderúrgica de la región, por reducción con monóxido de carbono”**, Universidad del Valle se contempla que la calamina o cascarilla de laminación, se producen entre 20 y 30 Kg por tonelada de escoria de acero.¹⁵; por consiguiente, se busca la reutilización de este material y reducir de igual manera el impacto ambiental que produce la calamina al ser utilizado en el diseño de mezclas asfálticas modificadas.

¹⁴ Rondón & Reyes. Op. Cit., Pg. 103 – 104.

¹⁵ Esguerra, A., Vanegas, O. & otros. (2009). Evaluación de la reducibilidad de la calamina proveniente de una siderúrgica de la región, por reducción con monóxido de carbono. *Latino Americana de Metalurgia y Materiales*, 3, 1289-1294.

2. ANTECEDENTES.

En Colombia no se ha tecnificado la utilización de la calamina para el mejoramiento de las vías teniendo en cuenta esto, se realizó una consulta bibliográfica de los proyectos viales que hicieron uso de la calamina, caucho y diversos polímeros las cuales se emplearon para la mejora del cemento asfálticos en vías.

En Ghana, un país que cuenta con problemas en su infraestructura vial, debido a la cantidad de baches que se encuentran en las carreteras del país, también con una gran cantidad de residuos sólidos muchos de ellos plásticos que pueden ser reutilizados, debido a esto se quiso mejorar la resistencia de la malla vial por medio de la utilizando materiales reciclados. Se realizó un diseño de una mezcla asfáltica con un betún asfáltico AC-20, en diferentes porciones de dosificación de plástico a una temperatura de 160°, se determinó que las características del betún asfáltico mejoro las propiedades de viscosidad y resistencia a las cargas.¹⁶

Una primera investigación es la reutilización de los residuos plásticos a gran escala que se utilizaron en la mejora de la carpeta asfáltica en Arabia Saudita, en la cual se quiso implementar las polímeros y otros materiales plásticos, para el mejoramiento de la malla vial.¹⁷, se pudo observar en el artículo anterior, la mejora de la resistencia a cargas vehiculares en la carpeta asfáltica la cual se dio como resultado favorable un aumento del flujo del 55.19% y 9%.

En segundo lugar, en Ecuador muestra gran deterioro de las principales vías de acceso y avenidas, y la solución que se dio para mejorar la malla vial, la cual se buscó alternativas más eficientes donde se dejarán a un lado las mezclas asfálticas convencionales y concretar investigación para técnicas adecuadas que mejoren las propiedades físico/mecánicas de las mezclas asfálticas. Se quiso mejorar el comportamiento elástico resistencia a la fatiga y resistencia al envejecimiento, con polímero Eva dando una mejora significativa en el módulo dinámico elástico ya que este se incrementa hasta en un 40% con respecto a la mezcla convencional, siendo esta una de las propiedades más importantes en el diseño de pavimentos, generará carpetas asfálticas de menor espesor con la misma capacidad estructural.¹⁸

¹⁶ Sciencedirect. Use of waste plastic materials for road construction in Ghana [in line]. Ghana: Elsevier [citado 31 marzo, 2018]. Disponible en internet: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509516300614>>.

¹⁷ Tandfonline. Performance of recycled plastic waste modified asphalt binder in Saudi Arabia. [citado 31 de marzo, 2018]. Disponible en internet: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10298436.2015.1088150?journalCode=gpav20>>

¹⁸ Paucar, M., Comportamiento de una mezcla asfáltica modificada con polímero etileno vinil acetato (eva)., Quito: Universidad central del Ecuador. Ingeniería civil. Tesis. 2013, pg. 2-3 y 158-159.

En tercer lugar el Universidad Javeriana realizo una investigación “Mejora de una mezcla asfáltica con adición de caucho e icopor” por Rodríguez Karina (2004), En se quiere disminuir la utilización de petróleo en carpetas asfálticas, por lo que en esta tesis se plantea la idea de la reutilización de materiales plásticos y polímeros como modificado en mezclas asfálticas como llenante mineral, por medio de ensayos comparativos y cargas monolíticas; Se determinó que en los resultados de la prueba Marshall de acuerdo a la norma INVÍAS con una calidad de 15 briquetas, variando la dosificación de agentes bituminosos cada 5% empezando desde 5% hasta llegar a 7% ,también se realizaron ensayos de fatiga y ahuellamiento usando caucho y polímero, en otros caso solo se utilizó uno de hechos, pero se obtuvieron resultados positivos ya que en ahuellamiento aumento 50% usando ambos materiales y en la que se empleó solo caucho tuvo un aumento de 10% con respecto a las mezclas convencionales.¹⁹

Se observa en análisis de resultados se realiza un diseño de mezcla para obtención del porcentaje óptimo de asfalto para luego ser comparado mediante esfuerzos con Mapia en estado natural y Mapia con cal al 5%; se concluye que se da un mejoramiento en la resistencia de la Mapia agregando Cal, lo anterior sostenido con los valores obtenidos en el ensayo de Tracción indirecta y Marshall.²⁰

En esta investigación presentada a la Universidad de Nottingham, nos muestra una metodología que da cuenta de las variables de entrada de diseño de pavimento y variaciones debido a la falta de ajuste del diseño modela y evalúa los efectos en el rendimiento del pavimento (fatiga y vida de deformación). La variabilidad se describe mediante términos estadísticos como media y desviación estándar y por su distribución de densidad de probabilidad. El tema de la confiabilidad en el diseño de pavimentos ha impulsado muchas autopistas. Organizaciones de todo el mundo para revisar sus metodologías de diseño para evaluar el efecto de las variaciones en los materiales sobre el rendimiento del pavimento. Esta investigación ha reforzado esta necesidad de considerar los parámetros en el procedimiento de diseño y para concebir un sistema de pavimento en una vía probabilística, similar a los diseños estructurales. Este estudio solo ha considerado pavimentos flexibles.

Los datos de la encuesta de pavimento analizados fueron para el carril 1, el carril más transitado. Secciones de 1 km de largo fueron consideradas donde sea posible.²¹

En la universidad del medio este, con el fin de investigar la resistencia a la fatiga

¹⁹ Rodríguez, K. Mejora de una mezcla asfáltica con adición de caucho e icopor. Bogotá: Pontificia universidad Javeriana. Facultad de ingeniería civil. Tesis de grado, 2005. Pg. 32.

²⁰ Rojas & Ortiz. Op, Cit., Pg. 44-45-83.

²¹ Dalla, P. Reliability in pavement design. United Kingdom. University of Nottingham. Thesis, 2015. Pg. 4-88-49.

térmica de las muestras de concreto asfáltico envejecido naturalmente, se desarrolla una configuración experimental. Las variables de diseño de la mezcla, seleccionadas según el método de diseño de super pavimentar, incluyen contenido de asfalto, tipo de asfalto, tipo de agregado, gradación y modificación. Junto con ello se mide la configuración desarrollada, los coeficientes térmicos y la vida útil de fatiga térmica de las muestras de concreto asfáltico. Según los análisis estadísticos, el tipo de agregado, la gradación, el tipo de asfalto y el contenido de asfalto afectan significativamente el coeficiente térmico del concreto asfáltico. La resistencia a la fatiga térmica se ve afectada significativamente por el tipo de agregado, el contenido de asfalto y el tipo de asfalto. Los resultados de este estudio proporcionan una solución para minimizar el agrietamiento por fatiga térmica en los pavimentos de asfalto de concreto.²²

Si bien el trabajo y la prestación que brinda una vía es de vital importancia analizar factores como el tránsito, el diseño geométrico de una vía y el uso de una carretera, por ello, el documento está preparado para dar a conocer los resultados de ensayos, investigación y experiencia en pavimentos, la sección de diseño es, por necesidad, de naturaleza técnica y probablemente de poco interés aparte de los nombres técnicos. En cambio, la atención se ha limitado a cosas que no son bien conocidas o que la observación indica hay que destacar si la calidad del hormigón Se debe mejorar los pavimentos.²³

Por último, se consultó el repositorio de la Universidad Católica de Colombia, "Caracterización del Mapia y Mapia con una adición de cal al 5%". Mediante esta investigación se quiere utilizar la Mapia como estructura en vías terciarias; la Mapia se considera un material natural y debido a su estructura de arenas finas con impregnación de crudo, lo hace ideal en una como estructura de carpeta asfáltica.²⁴

²² Arabzadeh, A, & Gúler, M., The influence of different mixture design variables on thermal fatigue cracking of asphalt concrete pavements. Ankara. Middle East Technical University. Thesis, 2015. Pg. 6-23-49.

²³ Davidson, J. The design and construction of concrete pavements. Georgia. Georgia School of Technology. Thesis. Pg 21-23-31- 41.

²⁴ Rojas, L, & Ortiz, J., Caracterización del Mapia y Mapia con una adición de cal al 5%. Primera ed. Bogotá. Universidad Católica de Colombia. 2018. Pg. 22-43-44.

3. JUSTIFICACIÓN.

Como criterio de diseño de una construcción vial se destacan aspectos generales para su elaboración, además que deberá cumplir aspectos y requisitos mínimos como los contempla la norma colombiana de vías (INVÍAS).²⁵

La siguiente investigación quiere implementar la reutilización de la calamina para el diseño de una probeta óptima determinada por ensayos de resistencia y desgaste variando la dosificación de los agregados finos, para luego ser comparada con un diseño convencional previamente caracterizado logrando dar una posible alternativa en estructuras de pavimentos para el diseño de carpetas asfálticas.

El uso de las carreteras cuenta con una gran demanda de construcción en Colombia como ejecución de obra y mantenimiento, por esto se debe tener en cuenta aspectos generales que influirán en su diseño como: cargas vehiculares, condiciones de temperatura, desgaste, esfuerzos y deformaciones, siendo así bases preliminares a la hora del diseño de una carpeta asfáltica modificada como es el caso del presente documento.

Contamos también una posible reducción de los sobre costos de diseños de las vías convencionales, así también como reducir la explotación de las canteras reemplazando algunos agregados mediante la dosificación por calamina, mejorar factores socio-económicos, vida útil, resistencia a las cargas provenientes por tránsito y uso, aumentar el confort de los usuarios evitando las deformaciones de la carpeta asfáltica mediante la siguiente investigación.

²⁵ Sánchez, F., & Campagnoli, S. Pavimentos asfálticos de carreteras. Guía práctica para los estudios y diseños. Primera ed. Bogotá. Escuela de ingeniería Julio Garavito. 2016. Pg. 3-4-5.

3.1. Planteamiento y formulación de problema.

En Colombia no se encuentra información suficiente de la implementación de la calamina en pavimentos flexibles esto debido a que, en el país la modificación de mezclas asfálticas con calamina aun ha tenido un desarrollo técnico en este tipo de implementación, por esto se propone la reutilización de la calamina proveniente de desechos industriales e implantarlo en el diseño de mezclas asfálticas, planteando la siguiente pregunta:

¿Se lograría generar una alternativa para una mezcla convencional (MDC-25), sustituyendo los agregados finos por calamina, con el objetivo de aumentar su resistencia?

Lo anterior se realizará con la finalidad de comparar los resultados obtenidos tanto de las mezclas testigo MDC 25 y la sustituida con calamina, con el fin de garantizar un diseño adecuado, de igual forma el proyecto se fundamentará en la realización de una serie de ensayos necesario para este tipo de estructura, que nos mostraran las variaciones adecuadas en la cantidad de material de tal forma que podamos evaluar el desempeño de la mezcla en un hipotético uso en condiciones de servicio. Para responder la pregunta previamente planteada, se deberá realizar una comparación de una mezcla asfáltica modificada y una mezcla convencional Determinando en qué medida la implantación de la calamina es realmente beneficiosa para el diseño de la mezcla asfáltica

4. MARCOS DE REFERENCIA.

4.1. MARCO TEÓRICO.

4.1.1. Diseño del pavimento:

Según el título 23 CFR (Council on Foreign Relations o Consejo de Relaciones Exteriores) 626 establece el siguiente requisito: "Los pavimentos deben estar diseñados para satisfacer las necesidades actuales y previstas de tránsito de manera segura, duradera y rentable"²⁶, así bien, existe la entidad que da criterio y regula el control de estas mismas SHA (State Highway Agency o Agencia Central de Carreteras), el cual usa un procedimiento de diseño que sea apropiado para sus condiciones, diseños descritos en la "Guía AASHTO para el Diseño de Estructuras de Pavimento"²⁷

Adicional a esto, las carreteras en Estados Unidos se dividen en cuatro categorías, siendo:

- Red de Autopistas Interestatales (Interstate Highways), es un sistema de autopistas de libre tráfico, sin peajes, que forma la columna vertebral del sistema de transporte de los Estados Unidos
- Red de Carreteras Federales (U.S. Highways)
- Carreteras Estatales (State Highways), Algunas carreteras estatales con un gran tráfico pesado se han construido según los parámetros de las Autopistas Interestatales; otras tienen tan poco tráfico que son carreteras con mínimos de calidad.

4.1.2. Evaluación de proyecto:

- Obtener información necesaria para evaluar el rendimiento y establecer las condiciones del pavimento en el lugar con respecto a la carga del tráfico, las condiciones ambientales, la resistencia del material y la calidad.
- Identificar los posibles problemas en el pavimento y los factores que causan las dificultades antes de desarrollar alternativas de rehabilitación apropiadas.
- Evaluar en conjunto las alternativas factibles en términos de qué tan bien abordan las causas del deterioro.

²⁶ FHA. Pavement Design Considerations [En línea]. Washington. FHA [1 de abril, 2018]. Disponible en internet: <<https://www.fhwa.dot.gov/pavement/cfr06261.cfm>>

²⁷ FHA. Pavement Design Considerations [En línea]. Washington. FHA [1 de abril, 2018]. Disponible en internet: <<https://www.fhwa.dot.gov/pavement/cfr06261.cfm>>

4.1.3. **Análisis de proyectos:**

- se realiza un análisis de ingeniería y realizar estrategias adecuadas, para esto se debe considerar las cargas de tráfico, el clima, los materiales, las prácticas de construcción y el rendimiento esperado y para el análisis económico, debe basarse en los costos del ciclo de vida y considerar la vida útil, los costos de mantenimiento.
- Seleccione la alternativa de rehabilitación que mejor satisfaga las necesidades de un proyecto en particular teniendo en cuenta la economía, las limitaciones presupuestarias, el servicio de tráfico, el clima y el criterio de la ingeniería.

4.1.4. **Diseño de proyecto:**

- Se lleva cabo pruebas suficientes, tanto destructivas como no destructivas, para verificar las suposiciones hechas durante la fase de evaluación alternativa.
- Se revisan factores tales como la capacidad estructural, el soporte de la subrasante, las características de drenaje superficial y subsuperficial deben ser considerados y contemplados en el diseño final.

4.1.5. **Implementación del proyecto:**

- Documentar la intención del diseño en los planes y especificaciones del proyecto para proporcionar al contratista y al personal de ingeniería de la construcción una propuesta de proyecto clara y concisa. Además, mantenga una comunicación adecuada entre los ingenieros de diseño, construcción y mantenimiento. Esto reforzará la intención del diseño y proporcionará retroalimentación sobre la capacidad de construcción, mantenibilidad y desempeño del proyecto para ayudar a la evaluación oportuna de la alternativa de rehabilitación seleccionada.
- La información de rendimiento también se debe incluir como parte del PMS de SHA. La falta de buenos datos sobre la rehabilitación del pavimento y las técnicas de mantenimiento preventivo es uno de los puntos más débiles en el proceso de gestión del pavimento. Se debe hacer mayor hincapié en el desarrollo de datos básicos de construcción, monitoreo del desempeño y costo de mantenimiento en técnicas de rehabilitación donde estos datos no están disponibles actualmente.²⁸

²⁸ FHA. Pavement Design Considerations [En línea]. Washington. FHA [1 de abril, 2018]. Disponible en internet: <<https://www.fhwa.dot.gov/pavement/cfr06261.cfm>>

4.1.6. ¿Qué es Invías?:

Según el Instituto Nacional de Vías (**INVÍAS**), tendrá como objeto la ejecución de las políticas, estrategias, planes, programas y proyectos de la infraestructura no concesionada de la Red Vial Nacional de carreteras primarias y terciarias, férrea, fluvial y de la infraestructura marítima, de acuerdo con los lineamientos dados por el Ministerio de Transporte.²⁹

¿Qué hacen?

- Ejecutar la política del Gobierno Nacional en relación con la infraestructura de su competencia, de conformidad con los lineamientos establecidos por el Ministro de Transporte.
- Elaborar junto con el Ministerio de Transporte los planes, programas y proyectos tendientes a la construcción, reconstrucción, mejoramiento, rehabilitación, conservación, atención de emergencias, y demás obras que requiera la infraestructura de su competencia.
- Coordinar con el Ministerio de Transporte la ejecución de los planes y programas de su competencia.³⁰

²⁹ INVÍAS. Objetivos [En línea]. Bogotá. Invías [24 de abril, 2018]. Disponible en internet:< <https://www.Invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/objetivos-y-funciones>>

³⁰ INVÍAS. ¿Qué hacemos? [En línea]. Bogotá. Invías [24 de abril, 2018]. Disponible en internet: < <https://www.Invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/objetivos-y-funciones> >

4.1.7. Ensayos de laboratorio:

Las entidades públicas recomiendan una cantidad mínima de ensayos de laboratorios, para el diseño de capas de rodadura y bases, cumpliendo los requisitos de seguridad exigidos por el instituto nacional de vías.

Tabla 1: Ensayos de bases y subbases.

Ensayo		Norma de Ensayo	Clase de Base Granular		
			BG_C	BG_B	BG_A
Petrografía					
Análisis petrográfico		ASTM C-295	Reportar	Reportar	Reportar
Dureza					
Desgaste Los Angeles (Gradación A)	- En seco, 500 revoluciones, % máximo	INV E-218	35	30	30
	- En seco, 100 revoluciones, % máximo		7 (RO)	6 (RO)	6 (RO)
	- Después de 48 horas de inmersión, 500 revoluciones, % máximo (1)		55 (RO)	50 (RO)	45
	- Relación húmedo/seco, 500 revoluciones, máximo		2 (RO)	2 (RO)	2
Micro Deval, % máximo	- Agregado Grueso (FT)	ASTM D-6928	30	25	20
10% de finos	- Valor en seco, kN mínimo - Relación húmedo/seco, % mínimo	BS 812 PART 111	60 (RO) 75 (RO)	75 (RO) 75 (RO)	100 75
Durabilidad					
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, % máximo	- Sulfato de Magnesio	INV E-220	18	18	18
Limpieza					
Límite Líquido, % máximo		INV E-125	25	25	25
Índice de Plasticidad, % máximo		INV E-126	3	No plástico	No plástico
Equivalente de Arena, % mínimo		INV E-133	25	25	25
Valor de Azul de Metileno, máximo		EN-933-9	8	8	8
Terrones de arcilla y partículas deleznable, % máximo		INV E-211	2	2	2
Geometría de las Partículas					
Partículas Fracturadas Mecánicamente, % mínimo	- 1 cara	INVE-227	60	85	85
	- 2 caras		40	60	60
Índice de Aplanamiento, % máximo (2)		INV E-230	35	35	35
Índice de Alargamiento, % máximo (3)		INV E-230	35	35	35
Angularidad del Agregado Fino, % mínimo (RO)		AASHTO T-304	35	35	35
Capacidad de Soporte					
CBR, % mínimo - Referido al 100 % de la densidad seca máxima, según el ensayo INV E-142 (AASHTO T 180), método D, después de 4 días de inmersión.		INV E-148	80	100	100

Fuente: Instituto Nacional de Vías, 2012.

4.1.8. Ensayo de equivalente de arena de suelos y agregados finos I.N.V E 133-13.

Esta norma tiene como objetivo principal evaluar la cantidad relativa de agentes nocivos en los agregados finos y material arcilloso, con el fin de garantizar factores de seguridad en el diseño de bases y subbases.³¹

³¹ INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Ensayo de equivalente de arena de suelos y agregados finos. INV E-133-13. Bogotá: INVÍAS, 2013. P.1

4.1.9. **Ensayo por medio de azul de metileno I.N.V E 235–13.**

La norma tiene como objetivo principal determinar la cantidad de material potencialmente dañino incluyendo material arcilloso y orgánico presentes en una fracción de agregado, esto mediante la determinación del ensayo químico de azul de metileno y papel filtrante.³²

Se debe aclarar que este ensayo debe cumplir con las normas de seguridad y equipo de protección, debido a que se empleara compuestos químicos perjudiciales para la salud.

4.1.10. **Adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos I.N.V. E 774 – 13.**

Esta norma permite determinar la adherencia de ligantes asfálticos a los agregados finos por medio de método Ridell-Weber, en materiales naturales, arenas y/o triturados para mezclas, al ser sometido por acción de carbonato de sodio.³³

Este método se puede aplicar a todo tipo de ligantes bituminosos contando con mezclas modificadas.

4.1.11. **Determinación de la gravedad específica de los suelos y del llenante mineral I.N.V. E 128 – 13.**

Esta norma refiere a la determinación de la gravedad específica de los suelos y de la llenante mineral, el método exige materiales granulares mayores a 4.75 mm o mayores al tamiz (No. 4).

Se deberá tener en cuantos ensayos previos norma INV E 222- 13 (**GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS**) y ensayo 223-13 (**GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS**).

4.1.12. **Ensayo de concentración crítica de llenante en mezcla de concreto asfáltico I.N.V E 745-13.**

El método consiste en determinar el porcentaje crítico de llenante mineral en mezclas asfálticas, la concentración de llenante mineral permitirá evaluar la fragilidad de la mezcla asfáltica. Se recomienda que resultado de ser mayor a la concentración real del volumen de llenante, evitando rigidez en el diseño.³⁴

³² INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Ensayo de azul de metileno en agregados finos y en llenante minerales. INV E-235-13. Bogotá: INVÍAS, 2013. P.1

³³ Ibid., Pg.1

³⁴ INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Ensayo concentración crítica de llenante mineral en mezclas de concreto asfáltico. INV E-745-13. Bogotá: INVÍAS, 2013. P.1

4.1.13. Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos I.N.V. E 213 – 13.

Este método permitirá la distribución de los tamaños de los agregados gruesos y finos de un material, el ensayo se realizará por medio de tamices de apertura cuadrada de manera decreciente. Este método no se empleará para agregados recuperados de mezcla asfáltica.³⁵

4.1.14. Análisis granulométrico por medio del hidrómetro I.N.V. E 124 – 13.

Consiste clasificar el tamaño de las partículas de fracción finas de los agregados, se deberá tener en cuenta la distribución de las partículas mayores al tamiz (No. 200), por medio de sedimentación implementado el uso de hidrómetro.³⁶

4.1.15. Resistencia de mezclas asfálticas en caliente empleando el aparato Marshall I.N.V. E 748 – 13.

Indica el procedimiento adecuado para la deformación de la resistencia a la deformación de las cargas vehiculares de especímenes cilíndricos, empleando el aparato Marshall, este método permitirá evaluar la dosificación óptima de emulsión asfáltica para mezclas convencionales y modificadas.³⁷ Se deberá tener en cuenta un tamaño mayor o igual a 25,4 mm de los agregados pétreos.

En la tabla [2], tomada del artículo 450-12 tabla [10] del Instituto Nacional de Vías **INVÍAS** se clasifica la categoría de tránsito de acuerdo con los resultados establecidos por el ensayo Marshall.

³⁵ INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Análisis de granulométrico de agregados gruesos y finos. INV E 213-13. Bogotá: INVÍAS, 2013. P.1

³⁶ INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Análisis de granulométrico por medio de hidrómetro. INV E 124-13. Bogotá: INVÍAS, 2013. P.1

³⁷ INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Resistencia de mezcla asfáltica en caliente empleando el aparato Marshall I.N.V. E 748-13. Bogotá: INVÍAS, 2013. P.1

**Tabla 2: Criterios de Diseño Preliminares de la Mezcla Asfáltica en Caliente
Mediante 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 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				

Fuente: Tomado del Instituto Nacional de Vías, 2012.

4.1.16. Caracterización de las mezclas bituminosas abiertas por medio del ensayo cántabro de pérdida por desgaste I.N.V. E 760 – 13.

Esta norma describe el procedimiento adecuado para la determinación de valor de las pérdidas por desgaste en mezclas asfálticas empleando la máquina de los Ángeles. El ensayo se aplica a las mezclas fabricadas en caliente y granulometría abierta, este deberá tener en cuenta un diámetro de 25mm en granulometría.³⁸

³⁸ INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Caracterización de las mezclas bituminosas abiertas por medio del ensayo cántabro de pérdidas de desgaste. Bogotá: INVÍAS, 2013. P.1

4.1.17. Determinación de la deformabilidad al flujo plástico y la resistencia de mezclas asfálticas en caliente usando el ensayo de tracción indirecta I.N.V. E 786 –13.

Determinación de la deformación de la deformación plástica en probetas de material asfáltico, aplicando fuerzas axiales a diferentes momentos, la resistencia a la tracción indirecta empleando la relación de Poisson de mezclas asfálticas en caliente.

4.1.18. Clasificación de suelos empleando el método de la AASHTON.

Clasifica los suelos según su granulometría y plasticidad que tiene todo material granular, se debe aclarar que el material debe estar previamente lavado de acuerdo con la norma exigida por la AASHTO o INVÍAS. Se clasificará de acuerdo con el tamiz retenido subdivide en 7 grupos (A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6 Y A-7).³⁹
 A1=gravas, A2=cascajos y arenas limosas o arcillosas, A3= arenas finas, A4 - A5=suelos limosos y A6- A7=suelos arcillosos

Tabla 3: Clasificación de suelos según la AASHTON.

DIVISIÓN GENERAL	Materiales Granulares (pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)							Materiales Limo-arcillosos (más del 35% por el tamiz ASTM #200)					
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7		
GRUPO	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6	
Subgrupo													
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (% que pasa por cada tamiz)													
Serie ASTM	#10	≤ 50											
	#40	≤ 30	≤ 50	≥ 51									
	#200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36	
ESTADO DE CONSISTENCIA (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)													
Limite líquido			NP	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41
Índice de plasticidad	≤ 6			≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≥ 11	≥ 11
ÍNDICE DE GRUPO	0	0	0	≤ 4		≤ 8	≤ 12	≤ 20	≤ 20				
TIPOLOGÍA	Fragmentos de piedra, grava y arena		Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos			
CALIDAD	EXCELENTE A BUENA						ACEPTABLE A MALA						

Fuente: Tomato American Association of State Highway and Transportation Officials.

³⁹ WIKIVIA. Clasificación granulométrica AASHTON [en línea]. WIKIVIA [Citado 25 abril, 2018]. Disponible en internet: < http://www.wikivia.org/wikivia/index.php/Clasificaci%C3%B3n_AASHTO>

4.1.19. Clasificación de los suelos.

Sistema unificado de clasificación de suelos y sistema AASHTO, donde clasificara el material o suelo implementado según sus propiedades, es el método más utilizado para identificar el tipo de material granulas. La tabla número [3] identifica de manera clara el tipo de suelo.

Tabla 4: Clasificación de los Suelos de acuerdo a la AASHTO.

IDENTIFICACION EN EL CAMPO		SIMBOLO DEL GRUPO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIOS DE CLASIFICACION EN EL LABORATORIO			
SUELOS DE GRANO GRUESO - MÁS DE LA MITAD DEL MATERIAL ES RETENIDO POR EL TAMIZ # 200	ARENAS - MÁS DE LA MITAD DE LA FRACCIÓN GRUESA ES RETENIDA POR EL TAMIZ # 4	AMPLIA GAMA DE TAMAÑOS Y CANTIDADES APRECIABLES DE TODOS LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS	GW	GRAVA BIEN GRADUADA, MEZCLA DE GRAVA Y ARENA CON POCOS FINOS O SIN ELLOS	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ MAYOR DE 4 ; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ ENTRE 1 Y 3 NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS GRANULOMETRICOS DE LAS GW		
		PREDOMINIO DE UN TAMAÑO O UN TIPO DE TAMAÑO, CON AUSENCIA DE ALGUNOS TAMAÑOS INTERMEDIOS	GP	GRAVAS MAL GRADUADAS, MEZCLAS DE ARENA Y GRAVA CON POCOS FINOS O SIN ELLOS			
	GRAVAS CON POCOS FINOS (CON POCOS FINOS O SIN ELLOS)	FRACCIÓN FINA NO PLÁSTICA (PARA LA IDENTIFICACION VER EL GRUPO ML MAS ABAJO)	GM	GRAVAS LIMOSAS, MEZCLAS MAL GRADUADAS DE GRAVA, ARENA Y LIMO	LIMITES DE ATTERBERG POR DEBAJO DE LA LINEA "A" O I_p MENOR QUE 4 POR ENCIMA DE LA LINEA "A", CON I_p ENTRE 4 Y 7; CASOS LIMITE QUE REQUIEREN EL USO DE SIMBOLOS DOBLES		
		FINOS PLÁSTICOS (PARA IDENTIFICARLOS VER EL GRUPO CL MAS ABAJO)	GC	GRAVAS ARCILLOSAS, MEZCLAS MAL GRADUADAS DE GRAVA, ARENA Y ARCILLA			
	ARENAS - MÁS DE LA MITAD DE LA FRACCIÓN GRUESA PASA POR EL TAMIZ # 4	AMPLIA GAMA DE TAMAÑOS Y CANTIDADES APRECIABLES DE TODOS LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS	SW	ARENAS BIEN GRADUADAS, ARENAS CON GRAVA, CON POCOS FINOS O SIN ELLOS	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ MAYOR DE 6 ; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ ENTRE 1 Y 3 NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS GRANULOMETRICOS DE LAS SW		
		PREDOMINIO DE UN TAMAÑO O UN TIPO DE TAMAÑO, CON AUSENCIA DE ALGUNOS TAMAÑOS INTERMEDIOS	SP	ARENAS MAL GRADUADAS, ARENAS CON GRAVA, CON POCOS FINOS O SIN ELLOS			
	ARENAS CON FINO (CON POCOS FINOS O SIN ELLOS)	FINOS NO PLÁSTICOS (PARA IDENTIFICACION VER EL GRUPO ML MAS ABAJO)	SM	ARENAS LIMOSAS, MEZCLAS DE ARENA Y LIMO MAL GRADUADAS	LIMITES DE ATTERBERG POR DEBAJO DE LA LINEA "A" O I_p MENOR QUE 4 POR ENCIMA DE LA LINEA "A", CON I_p ENTRE 4 Y 7; CASOS LIMITE QUE REQUIEREN EL USO DE SIMBOLOS DOBLES		
		FINOS PLÁSTICOS (PARA IDENTIFICACION VER EL GRUPO CL MAS ABAJO)	SC	ARENAS ARCILLOSAS, MEZCLAS MAL GRADUADAS DE ARENAS O ARCILLAS			
	MÉTODOS DE IDENTIFICACION PARA LA FRACCIÓN QUE PASA POR EL TAMIZ # 40						
	SUELOS DE GRANO FINO - MÁS DE LA MITAD DEL MATERIAL PASA POR EL TAMIZ # 200	LIMOS Y ARCILLAS CON LIMITE LIQUIDO MENOR DE 50	RESISTENCIA EN ESTADO SECO (A LA DISREGACION)	DILATANCIA (REACCION A LA AGITACION)	TENACIDAD (CONSISTENCIA CERCA DEL LIMITE PLASTICO)	UTILICESE LA CURVA GRANULOMETRICA PARA IDENTIFICAR LAS FRACCIONES DE SUELO INDICADAS EN LA COLUMNA DE IDENTIFICACION EN EL CAMPO DETERMINESE LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA A PARTIR DE LA CURVA GRANULOMETRICA PARA IDENTIFICAR LOS SUELOS GRUESOS SE CLASIFICAN COMO SIGUE: GW, GP, SW, SP GM, GC, SM, SC CASOS LIMITE QUE REQUIEREN EL EMPLEO DE SIMBOLOS DOBLES MENOS DEL 5% MAS DEL 12% 5% AL 12%	
NULA A LIGERA			RAPIDA A LENTA	NULA	ML		LIMOS INORGANICOS Y ARENAS MUY FINAS, POLVO DE ROCA, ARENAS FINAS LIMOSAS O ARCILLAS CON LIGERA PLASTICIDAD
MEDIA A ALTA			NULA A MUY LENTA	MEDIA	CL		ARCILLAS INORGANICAS DE PLASTICIDAD BAJA A MEDIA, ARCILLAS CON GRAVA, ARCILLAS ARENOSAS, ARCILLAS LIMOSAS, ARCILLAS MAGRAS
LIGERA A MEDIA			LENTA	LIGERA	OL		LIMOS ORGANICOS Y ARCILLAS LIMOSAS ORGANICAS DE BAJA PLASTICIDAD
LIMOS Y ARCILLAS CON LIMITE LIQUIDO MAYOR DE 50		LIGERA A MEDIA	LENTA A NULA	LIGERA A MEDIA	MH	LIMOS INORGANICOS, SUELOS LIMOSOS O ARENOSOS FINOS MICACEOS O CON DIATOMEAS, LIMOS ELASTICOS	
		ALTA A MUY ALTA	NULA	ALTA	CH	ARCILLAS INORGANICAS DE PLASTICIDAD ELEVADA, ARCILLAS GRASAS	
		MEDIA A ALTA	NULA A MUY LENTA	LIGERA A MEDIA	OH	ARCILLAS ORGANICAS DE PLASTICIDAD MEDIA A ALTA	
		SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS		FACILMENTE IDENTIFICABLES POR SU COLOR, OLOR, SENSACION ESPONJOSA Y FRECUENTEMENTE POR SU TEXTURA FIBROSA		Pt	TURBA Y OTROS SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS

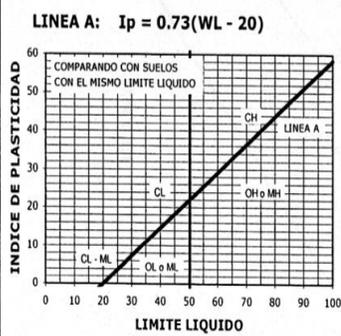


GRAFICO DE PLASTICIDAD PARA LA CLASIFICACION EN LABORATORIO DE SUELOS DE GRANO FINO

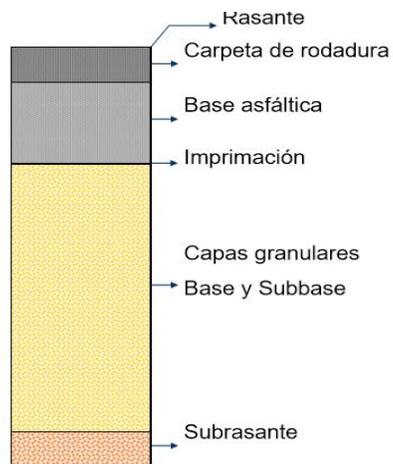
Fuente: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS).

5. MARCO CONCEPTUAL.

5.1. Pavimento.

El pavimento es la capa o base que constituye el suelo de una construcción o de una superficie no natural. Un pavimento se define como una estructura vial compuesta por diferentes capas las cuales están conformadas por diversos materiales, dispuestos a soportar las cargas que imponen el parque automotor y la acción del medio ambiente, adicionalmente distribuye las cargas hacia la subrasante en magnitudes tolerables a esta.⁴⁰

Figura 1: Estructura del Pavimento



Fuente: Rondón, H., & Reyes, F. (2015). Pavimentos: Materiales, Construcción y Diseño. Bogotá: ECOE Ediciones.

⁴⁰ Rondón, H., & Reyes, F. Pavimentos: Materiales, Construcción y Diseño. ECOE Ediciones, Bogotá. 2015.

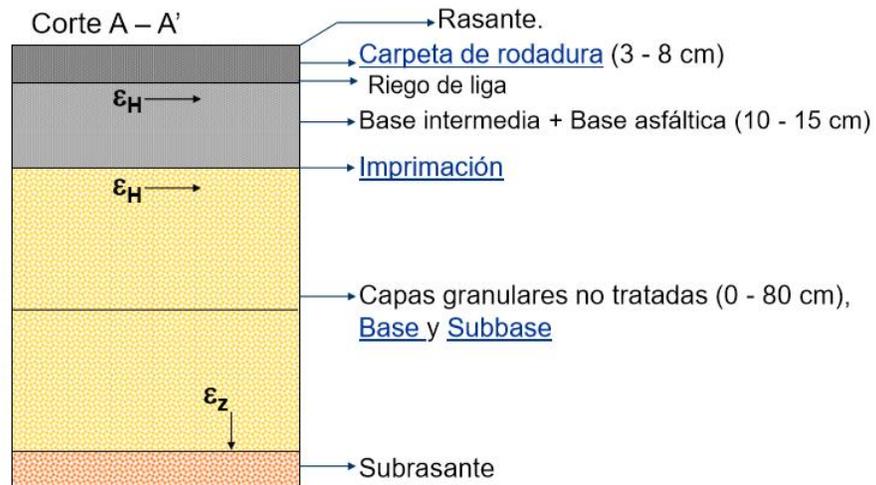
5.1.1. Características que debe reunir un pavimento:

- Resistencia a las cargas impuestas por el tránsito.
- Resistencia al deslizamiento y al desgaste.
- Presentar adecuada regularidad superficial (horizontal y vertical).
- Ser durable, económico, cómodo y seguro.
- Presentar condiciones adecuadas de drenaje.
- El ruido de rodadura debe ser moderado.⁴¹

5.1.2. Pavimento flexible:

Formados por una carpeta asfáltica soportada por una o varias capas de gran flexibilidad (materiales granulares no ligados). Los esfuerzos se transmiten al terreno de fundición mediante un mecanismo de disipación de tensiones, las cuales van disminuyendo paulatinamente con la profundidad.⁴²

Figura 2: Pavimento Flexible.



Fuente: Rondón, H., & Reyes, F. (2015). Pavimentos: Materiales, Construcción y Diseño. Bogotá: ECOE Ediciones.

⁴¹ Rondón, H., & Reyes, F. Pavimentos: Materiales, Construcción y Diseño. ECOE Ediciones, Bogotá. 2015.

⁴² Rondón, H., & Reyes, F. Pavimentos: Materiales, Construcción y Diseño. ECOE Ediciones, Bogotá. 2015.

5.1.3. Mezclas asfálticas:

La mezcla asfáltica, es la combinación entre un ligante asfáltico y un agregado pétreo que se pueden clasificar ya sea en mezclas abiertas o densas, mezclas calientes o frías. Estas mezclas se elaboran normalmente en plantas mezcladoras y pueden darse en algunos casos, efectuarse en el sitio.⁴³

5.1.4. Mezclas densas en caliente:

Es la combinación de agregados uniformes, mezclados y cubierto de asfalto, donde el agregado se calienta (entre 140°C a unos 180 °C) para su secado, de esta manera se elimina el agua de sus poros. Son mezclas de alta calidad utilizadas en la construcción de carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales, entre otros. Además de esto pueden conformar subcapas dentro de la capa asfáltica (rodadura, base intermedia y/o base asfáltica), se caracterizan por presentar un bajo contenido de vacíos con aire en volumen (entre 3% a 9% por lo general), las mezclas totalmente diferentes a las MAF, presentan agregados pétreos naturales con granulometría bien gradada y con tamaños de partículas sólidas diferentes (gravas, arenas, finos, llenante mineral), Son mezclas de alta calidad, las cuales pueden ser utilizadas para conformar cualquier subcapa dentro de la capa asfáltica (rodadura, base intermedia y/o base asfáltica). El agregado pétreo natural utilizado para la elaboración de mezclas de concreto asfáltico debe satisfacer los requisitos de granulometría y calidad del agregado grueso.⁴⁴

Las principales ventajas de utilizar este tipo de mezclas son las siguientes:

- Soportan las cargas de tránsito y atenúa los esfuerzos sobre las capas granulares y la subrasante del pavimento.
- Buena textura superficial, mejorando la fricción neumática – pavimento.
- Disminuyen el ruido de la rodadura.

De igual manera, como desventajas de utilizar estas mezclas se pueden mencionan las siguientes:

- Por su alta porosidad son de baja rigidez y resistencia mecánica.
- Durante su proceso de fabricación impactan negativamente el medio ambiente ya que se fabrican a temperaturas superiores a 140 °C.

⁴³ Rondón, Hugo & Reyes, Fredy. Pavimentos: Materiales, Construcción y Diseño. ECOE Ediciones, Bogotá. 2015.

⁴⁴ Rondón, Hugo & Reyes, Fredy. Pavimentos: Materiales, Construcción y Diseño. ECOE Ediciones, Bogotá. 2015.

- El asfalto dentro de la mezcla se oxida y envejece rápidamente debido a la fácil entrada y posterior evaporación del agua
- Dificultad de construcción al ser extendidas y compactadas a alta temperatura.⁴⁵

5.1.5. Mezcla densa en caliente (MDC-25):

Mezcla densa en caliente de gradación continua, con agregado de tamaño máximo 25 mm, que se usa generalmente para construir capas de rodadura en vías con tráfico medio y alto.⁴⁶ En la figura [3] se observa la especificación de granulometría de la mezcla MDC-25.

Figura 3: Especificaciones de Granulometría de MDC-25

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 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 80	No. 200
		% PASA									
DENSA	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
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: Tomado del Instituto Nacional de Vías, 2012.

⁴⁵ Rondón, H., & Reyes, F. Pavimentos: Materiales, Construcción y Diseño. ECOE Ediciones, Bogotá. 2015.

⁴⁶ CTU. Tipos de mezclas [En línea]. Chía. CTU [26 de marzo, 2018]. Disponible en internet: < C/>

Características de las mezclas asfálticas

- **Estabilidad:**
Es la capacidad de resistir desplazamientos y deformación bajo las cargas del tránsito, depende principalmente de la fricción interna y de la cohesión. Un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos, ondulaciones, fisuraciones, fatiga y otras señales que indican cambios en la mezcla, por el contrario, un pavimento estable es capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas.
- **Durabilidad:**
Indica la habilidad de un pavimento para resistir la acción de los factores climáticos y del tránsito que generan cambios en las propiedades del asfalto, desintegración del agregado y separación de las partículas de asfalto.
- **Impermeabilidad:**
Es la resistencia de un pavimento al paso de agua y aire hacia su interior.
- **Trabajabilidad:**
Es la facilidad con que una mezcla de pavimentación puede ser colocada y compactada.
- **Flexibilidad:**
Capacidad de un pavimento asfáltico para adaptarse a los movimientos y asentamientos de la base y subrasante sin agrietarse. (Rodríguez, 2008).
- **Resistencia a la fatiga:**
Es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito; es decir, es la capacidad de un pavimento para resistir esfuerzos provocados por el tránsito repetidamente sin fracturarse.
- **Resistencia al deslizamiento:**
Capacidad de proveer suficiente fricción para minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie está mojada.⁴⁷

⁴⁷ Construaaprende. Características de la mezcla asfáltica [En línea]. Construaaprende [26 de marzo, 2018]. Disponible en internet: <http://construaaprendiendo.blogspot.com.co/2015/09/caracteristicas-de-la-mezcla-asfaltica_29.html>

5.1.6. **Propiedades principales de una mezcla:**

- Resistencia bajo carga monofónica a tracción (estabilidad).
- Resistencia a las deformaciones permanentes.
- Resistencia a fatiga.
- Resistencia al deslizamiento. Impermeabilidad.
- Resistencia al envejecimiento. Durabilidad.
- Resistencia a las condiciones ambientales. Trabajabilidad
- Economía.

5.2. **Mezclas modificadas:**

Los asfaltos modificados son el producto de la disolución o incorporación de un aditivo modificador (polímero o no polímero), que son sustancias estables en el tiempo y a cambios de temperatura que se le añaden al material asfáltico para modificar sus propiedades como: susceptibilidad a la temperatura, intervalo de plasticidad, cohesión, respuesta elástica, resistencia al agua y al envejecimiento. Los modificadores aumentan la resistencia de las mezclas asfálticas a la deformación y a los esfuerzos de tensión repetidos como la fatiga; reducen el agrietamiento, la susceptibilidad de las capas asfálticas a las variaciones de la temperatura. Estos modificadores son adicionados al asfalto antes de mezclarlos con el material pétreo.⁴⁸

Muchas de las mezclas modificadas que se han hecho y aplicadas al territorio de Colombia, han sido modificadas con Polímeros.

Las mezclas asfálticas modificadas con polímeros se utilizan como capa de rodadura en pavimentos de alto desempeño, teniendo como función principal brindar mayor vida útil al pavimento, alta resistencia al tránsito y confort a los usuarios de la vía.⁴⁹

Ventajas:

- Reduce los problemas de deformación permanente (ahuellamientos) de las mezclas que componen las capas o superficie de rodadura, aumentando la rigidez.
- Disminuye la fisura miento por fatiga y gradiente térmico.

⁴⁸ Forigua, J., & Pedraza, E. Diseño de mezclas asfálticas modificadas mediante la adición de desperdicios plásticos. Bogotá: Universidad católica de Colombia. Facultad de ingeniería civil. Presencial. 2014. Pg. 16.

⁴⁹ TDM Colombia. Mezclas asfálticas modificadas con polímeros [En línea]. TDM. [24 de abril 2018]. Disponible en internet: <<http://www.tdmcolombia.co/soluciones-pavimentacion-mezclas-asfálticas-modificadas.php>>

- Disminuye la susceptibilidad térmica.⁵⁰

La adición de materiales plásticos al bitumen puede crear tres efectos que dependen de la naturaleza química, de la talla y de las características físicas del material plástico.

- El efecto sobre el ligante: la disolución verdadera o la dispersión del estado fundido de material plástico en la mezcla hace aumentar la viscosidad del ligante.
- El efecto de estructura: las fibras o tiras plásticas crean entre los granos del granular uniones.
- El efecto bloqueante: las tiras plásticas en los granos pueden llenar los vacíos del esqueleto granulométrico a la hora de compactar.

Estos tres efectos solos o juntos producen los siguientes resultados:

- Susceptibilidad térmica, que es uno de los inconvenientes más importantes en los betunes bituminosos, esto lo mejora.
- Aumento de la compactación.
- Aumento de la resistencia de la capa.
- Disminución del consumo de energía por la fabricación de la mezcla bituminosa.⁵¹

5.2.1. Agregados pétreos:

La denominación técnica —agregados pétreos en pavimentos se refiere a un conglomerado de partículas inertes de gravas, arenas, finos (naturales o triturados), utilizados ya sea para la fabricación de mezclas asfálticas, concretos hidráulicos y materiales estabilizados o para la construcción de capas de terraplén, afirmado, subbase y/o base granular.

Dentro de una estructura de pavimento con capa asfáltica, los agregados pétreos más exigentes, en cuanto a durabilidad, textura y resistencia mecánica se refieren, son aquellos que conforman las mezclas asfálticas. En estos últimos materiales los agregados pétreos conforman entre el 88% y el 96% de la masa y más del 75% del volumen. Dentro de las mezclas asfálticas, son los

⁵⁰ TDM Colombia. Mezclas asfálticas modificadas con polímeros [En línea]. TDM. [24 de abril 2018]. Disponible en internet: < <http://www.tdmcolombia.co/products-asfaltos-asfaltos-modificados.php>>

⁵¹ Forigua, José E, & Pedraza, Orjuela E. Op. Cit., P. 17-18.

encargados de soportar las cargas impuestas por el parque automotor y transmitirla en menores proporciones a las capas subyacentes. Los agregados pétreos deben poseer una granulometría adecuada y requisitos mínimos de calidad para conformar mezclas asfálticas.⁵²

5.2.2. **Cemento asfáltico:**

El cemento asfáltico se designa por las letras CA o AC (Asphalt Cement en un país anglosajón) y se clasifican por lo general de acuerdo con su consistencia evaluada a través de dos ensayos: penetración y viscosidad.

Otra forma de clasificación, utilizada principalmente en países desarrollados, se realiza a través del grado de funcionamiento (PG por sus siglas en inglés).

En Colombia, los CA se clasifican de acuerdo con su penetración. Físicamente, los resultados de este ensayo pueden ser entendidos como la resistencia que experimenta el cemento asfáltico cuando se permite penetrar en él una aguja normalizada de 100 g de masa durante cinco segundos a una temperatura estándar (25 °C). Es decir, de manera directa mide la consistencia del CA y de manera indirecta evalúa su rigidez, entendiéndose que, bajo las mismas condiciones de ensayo, el CA más rígido será aquel en el cual la aguja penetre menos.⁵³ En la tabla número [5] tomada en IDU, especificaciones técnicas generales de materiales y construcción artículo 200-11, determina los requisitos mínimos que debe tener el cemento asfáltico, de acuerdo con los ensayos de viscosidad y penetración.

⁵² Rondón, H., & Reyes, F. Pavimentos: Materiales, Construcción y Diseño. ECOE Ediciones, Bogotá. 2015.

⁵³ Rondón, H., & Reyes, F. Pavimentos: Materiales, Construcción y Diseño. ECOE Ediciones, Bogotá. 2015.

Tabla 5: Requisitos Mínimos de CA.

Característica	Unidad	Norma de ensayo	40-50		60-70		80-100	
			Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Asfalto original								
Penetración	0.1 mm	INV E-706-07	40	50	60	70	80	100
Índice de penetración	-	-	-1.0	+1.0	-1.0	+1.0	-1.0	+1.0
Viscosidad a 60°C	Pa-s	ASTM D-4402	200	400	150	300	100	200
Viscosidad a 135°C	Pa-s	ASTM D-4402	0.27	0.65	0.22	0.45	0.15	0.40
Punto de ablandamiento	°C	INV E-712-07	49	59	45	55	42	52
Ductilidad (25 °C, 5 cm/min)	cm	INV E-702-07	100	-	100	-	100	-
Solubilidad en tricloroetileno	%	INV E-713-07	99	-	99	--	99	-
Punto de ignición mediante copa abierta de Cleveland	°C	INV E-709-07	232	-	232	-	232	-
Pruebas al residuo (Ensayo del Horno de lámina asfáltica delgada en movimiento INV E-720-07)								
Pérdida por calentamiento	%	INV E-720-07	-	1.0	-	1.0	-	1.0
Penetración del residuo como % de la penetración original	0.1 mm	INV E-721-07	58	-	54	-	50	-
Incremento del punto de ablandamiento	°C	INV E-712-07	-	9	-	9	-	9
viscosidad a 60°C del residuo / viscosidad a 60°C del asfalto original	-	INV E-716-07	-	5	-	5	-	5
Contenido de ceras			Máximo 3%					

Fuente: Tomado de las Especificaciones técnicas IDU, 2011

En la tabla [6] tomada del instituto nacional de vías **INVÍAS** artículo 414-13, se observa los criterios mínimos de diseño que se deberán tener en cuenta en un cemento asfáltico CA. Modificado.

Tabla 6: Requisitos de CA Modificado

CARACTERÍSTICA	Norma de ensayo INV	TIPO I	TIPO IIa	TIPO IIb	TIPO III	TIPO IV	TIPO V
Asfalto original							
Penetración (25° C, 100 g, 5 s), 0.1 mm	E-706	55 a 70	40 a 70	55 a 70	55 a 70	80 a 130	15 a 40
Punto de ablandamiento, °C, mínimo	E-712	58	58	58	65	60	65
Ductilidad (5° C, 5cm/min), cm, mínimo	E-702	-	15	15	15	30	-
Recuperación elástica por torsión a 25° C, %, mínimo	E-727	15	40	40	70	70	15
Estabilidad al almacenamiento (Nota 1) - Diferencia en el punto de ablandamiento, ° C, máximo	E-726 y E-712	5	5	5	5	5	5
Contenido de agua, %, máximo	E-704	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Punto de ignición mediante la copa abierta Cleveland, ° C, mínimo	E-709	230	230	230	230	230	230
Residuo del ensayo de pérdida por calentamiento en película delgada rotatoria, norma de ensayo (INV E-720)							
Pérdida de masa, %, máximo	E-720	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8
Penetración del residuo, en % de la penetración original, mínimo	E-706	65	50	65	65	60	70
Incremento en el punto de ablandamiento, ° C, máximo	E-712	10	10	10	10	10	10
Ductilidad (5° C, 5cm/min), cm, mínimo	E-702	-	8	8	8	15	-

Fuente: Tomada del Instituto Nacional de Vías, artículo 414, 2012.

5.2.3. Calamina:

La calamina es un residuo o escoria proveniente de la etapa de laminación del acero, sometido a altas temperatura. Esta es una capa grisácea azulada característica de los perfiles estructurales que protege al acero de corrosión que con el tiempo sea inestable y se vaya desprendiendo de las láminas.⁵⁴ Se caracteriza por ser un mineral después de proceso de calcinación a una temperatura por encima del punto crítico superior, contiene un pH de 6, humedad de 0.63% de contenido y posee características de impermeabilización.⁵⁵

Figura 4: Calamina o Cascarilla de Laminación



Fuente: Autor.

En la tabla número [7] y número [8], tomado de proyecto de investigación de **“Elaboración de bloques de mortero tipo estructural mediante secado natural empleando la calamina procedente de tenaris tubocaribe s.a. como aditivo”**, se observa las propiedades físicas y químicas.⁵⁶

⁵⁴ Patologías construcción. ¿Qué es la Calamina? el enemigo oculto del acero [En línea]. Fernández, Carlos S. [citado el 27 de marzo 2018]. Disponible en internet: <<https://www.patologiasconstruccion.net/2016/02/calamina-acero/>>

⁵⁵ TENARIS TUBOCARIBES S.A. Análisis de laboratorio de la calamina. Consultado en septiembre de 2011.

⁵⁶ Ordoñez, K., & Villanueva, L. Elaboración de bloques de mortero tipo estructural mediante secado natural empleando la calamina procedente de Tenaris Tubocaribe S.A. como aditivo. Cartagena. Universidad de San Buenaventura. Facultad de ingeniería Química. Trabajo de grado 2012, Pg. 39-40.

Tabla 7: Propiedades Fisicoquímicas de la Calamina

PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADO	METODO ANALITICO
Textura	N/A	Frágil y poco flexible	Visual
Color	NA	Gris azulado	Visual
Humedad	%	0,63	Gravimétrica
pH	Unidades	6,00	Potenciómetro
Grasas y aceites	mg/L	462.90	Extracción soxhlet
Corrosividad	-	No corrosivo	Potenciómetro
Densidad	g/ml	2.12	m/v

Fuente: Ordoñez & Villanueva, 2012.

Tabla 8: Propiedades Químicas de la Calamina.

Parámetro	Unidades	Resultados	Nivel máximo permisible en el lixiviado (mg/l) Dec, 4741/05
Hierro total	mg/L	7,75	Sin norma
Arsénico	mg/L	<0,006	5
Bario	mg/L	<0,2	100
Cadmio	mg/L	<0,07	1
Cromo total	mg/L	<0,02	5
Níquel	mg/L	<0,3	Sin norma
Plata	mg/L	<0,06	5
Selenio	mg/L	<0,005	1
Mercurio	mg/L	<0,002	0,2
Plomo	mg/L	<0,40	5
Oxido Férrico	mg/L	7,8	Sin norma
Oxido Ferroso	mg/L	1,4	Sin norma

Fuente: Ordoñez & Villanueva, 2012.

Composición química:

El óxido (de color rojo amarillento a marrón negruzco si es amorfo y de color rojo oscuro a negro brillante si es cristalino) se usa en galvanotecnia, como catalizador (hidrogenación y síntesis de metano), en la fabricación de esmaltes y en sinterización.

- El hidróxido (incoloro) se usa en galvanotecnia y en la fabricación de electrodos negativos de baterías de níquel-cadmio.
- El cloruro (incoloro) se utiliza en galvanotecnia, fotografía, tintorería y absorbente de H₂S.
- El sulfuro se usa como pigmento amarillo. El estearato de cadmio se emplea en la mejora de la estabilidad de los materiales de PVC frente a la luz y los agentes atmosféricos.

6. MARCO LEGAL.

En la tabla número [9] se describirá las normas y criterios básicos para tener en cuenta para la ejecución de diseños de carpetas asfálticas, materiales, para volúmenes de tráfico de baja, media y alto flujo de vehículos.

Tabla 9: Marco legal.

LEY	DESCRIPCION
RESOLUCION 803 DEL 6 DE MARZO DEL 2009	Esta resolución describe la calidad de los materiales para la ejecución de cualquier proyecto de infraestructura vial. ⁵⁷
RESOLUCION 743 DEL 4 DE MARZO DEL 2009	La resolución 743 considera dos puntos importantes para tener en cuenta para la ejecución de diseño de carpetas asfálticas. 1. Los criterios básicos para el diseño carpetas asfálticas de carreteras. 2. Estudios técnicos para ejecución de planes, programación y formulación de propuestas. ⁵⁸
RESOLUCION 2857 Del 6 de julio de 1999 de INVÍAS	Manual de diseño y criterios para la ejecución, construcción de carreteras de medio y alto volúmenes de tránsito. ⁵⁹
RESOLUCION 3482 DEL 29 DE AGOSTO DEL 2007	Diseño de pavimentos asfálticos en vías de bajo flujo vehicular, donde se toma aspectos importantes en el diseño y construcción de mezclas asfálticas. Metodologías y mejoramiento de materiales de construcción para carreteras ⁶⁰
RESOLUCION 3290 15 DE AGOSTO DEL 2007	La resolución 3290 del 15 de agosto del 2007, donde describe la importancia de la actualización de los ensayos de laboratorio para materiales. ⁶¹
INVÍAS ENSAYO I.N.V E 222-07 GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE AGREGADOS FINOS	Se remitirá a esta norma como ensayo complementario, a la norma de la gravedad específica de los suelos y de la llenante mineral I.N.V. E – 128 – 07. Que constara de la terminación de gravedad específica de Bulk y gravedad aparente.

⁵⁷ INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Resolución número 000803 de 25 feb. 2005. Bogotá: INVÍAS, 2005. Pg. 1-2.

⁵⁸ REPUBLICA DE COLOMBIA MINISTERIO DE TRANSPORTE. Resolución número 000743 del 4 de mar. 2009. Bogotá: Ministerio de transporte 2009. Pg. 1-2.

⁵⁹ MINISTERIO DE TRANSPORTE INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Resolución 2857 de 1999, Op. Cit, Pg. 2-3

⁶⁰ INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Resolución número 0003482 del 29 de agosto del 2013. Op, Cit, Pg. 1-2-3.

⁶¹ INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Resolución 04071 del 6 jun. Del 2017. Op, Cit. Pg. 1-2-3.

<p>INVÍAS ENSAYO I.N.V E 223-07 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS</p>	<p>Se deberá tener en cuenta ensayos complementarios para la ejecución de normas posteriores. Esta norma determinara la gravedad especifica de Bulk, Bulk saturada superficial seca y aparente, en agregados gruesos y finos para diseño de mezclas asfálticas.</p>
<p>DECRETO 2770 DE 1953 OCTUBRE 23</p>	<p>Seguridad y anchura de vías públicas por la cual consta el instituto nacional de vías (INVÍAS), como requisitos mínimos de diseño.</p>

Fuente: Autor.

7. ESTADO DEL ARTE.

Para la ejecución del estado del arte se realizaron investigaciones de modificaciones de la carpeta asfáltica y llenantes minerales como calamina y agregados fino no convencionales, se encontró los siguientes resultados.

Primero se da pie a la investigación con un artículo científico titulado “Propuesta para la elaboración de baldosas artesanales tipo cerámica adicionando calamina, por la empresa ALMASA S.A.”, la cual busca minimizar los impactos ambientales con los desechos sólidos consiguiendo disminuir costos en tratamiento de residuos, y una eficiencia al aumentar la rentabilidad en la compañía ALMASA S.A. Con la metodología del trabajo se buscan encontrar variables cuantitativas al realizar diferentes pruebas de resistencia a la flexión o módulo de rotura, variables dependientes, que permitan estimar la influencia del porcentaje de calamina, variable independiente, al mezclarla con arcilla para fabricar baldosas de cerámica.⁶²

Se encuentra que al adicionar el porcentaje de calamina en un intervalo del 3% al 7% en la mezcla de elaboración de las baldosas artesanales cerámicas, esta aumentará proporcionalmente a la resistencia de flexión o módulo de rotura y no genera un valor agregado a las propiedades fisicoquímicas de la baldosa.

Un artículo de investigación por Mauricio Sánchez (2014), llevada por título “Estado del arte sobre las escorias negras de horno de arco eléctrico y sus aplicaciones en pavimentos”, la cual se establece una cantidad de escoria negra de 0.1 a 0.3 toneladas por cada tonelada de acero laminado, siendo esta un gran contaminante y producción de CO₂.⁶³

La investigación da entender el uso de la escorias de acero para la mejora de pavimento flexible, bases y sub bases granulares en Colombia, los resultados a remplazar cantidad significativa de los agregados minerales en las bases dio una mejora en la resistencia de la misma la cual se pudo establecer por los valores del CBR la cuales fueron un aumento a las cargas del 0.8% y 8.7%⁶⁴, una dosificación óptima de escoria de alto horno del 18% para sub bases en las cuales se fueron retenidos en el tamiz N°10, dado lo anterior se puede afirmar que al remplazar los agregados finos retenidos por el tamiz N°10 y el tamiz N°200, se esperarían una

⁶² Lizarazo, L., & Muñoz, Y. Propuesta para la elaboración de baldosas artesanales tipo cerámica adicionando calamina, en la empresa alambre y mallas s.a.-almasa. Primera ed. Bogotá. Universidad distrital Francisco José de Caldas. 2017. Pg. 64-65-69-88

⁶³ SÁNCHEZ, M.,. Estado del arte sobre las escorias negras de horno de arco eléctrico y sus aplicaciones en pavimentos. Tunja: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Facultad de ingeniería civil y ciencias de los materiales. Proyecto de investigación. 2012.Pag. 2-3.

⁶⁴ REYES, O., & CAMACHO, J., Efecto del desperdicio de una siderúrgica en bases y subbases granulares. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada

mejora a la resistencia de las cargas monolíticas o cargas a las cuales se puede someter un material modificado.

Otra fuente investigativa es el comportamiento de concreto hidráulico modificada por escoria de alto horno, las cuales se le dio como fuente investigación por las estudiantes Lina María Parra y Diana Pilar Sánchez en su tesis “Análisis de la valorización de escorias negras como material agregado para concreto en el marco de la gestión ambiental de la siderúrgica Diaco”⁶⁵, en la cual se dio como objetivo principal mejorar la resistencia a las cargas por medio de desechos de acero, en la investigación se realizó una mejora porcentual del 0%, 25%, 50%, 75% y 100% de los agregados gruesos, se tuvo como resultado en la presente investigación una mejora de las propiedades mecánicas, menor desgaste y la valoración favorable a las resistencia a la cargas de compresión o biaxial.

Dada la conclusión por el artículo “Estado del arte sobre las escorias negras de horno de arco eléctrico y sus aplicaciones en pavimentos” por Mauricio Sánchez, afirma que la escoria negras tienen propiedades expansivas las cuales pueden alterar de manera negativa los vacíos en el ligante bituminoso.⁶⁶

La tesis de grado de la universidad distrital que toma como tema “Modificación del concreto asfáltico (MDC-19) con la sustitución del llenante mineral por calamina y la incorporación del aditivo Husil.” En la cual se realizará una modificación de un concreto asfáltico con calamina por vía húmeda, suministrando aditivo al 1% de Husil con el fin de evaluar la resistencia y deformaciones al ser sometidos a cargas monolíticas.

La fuente de investigación a la cual se hizo una recolección de los criterios y aspectos básicos de diseño, seguido de la obtención y caracterización de la calamina, diseño de mezcla MDC-19 para el óptimo de agente bituminoso por medio del ensayo Marshall a una temperatura de 150° C, para el ensayo de Marshall se utilizó un asfalto de 60-70 con un total de 16 briquetas variando la dosificación de asfalto cada 5% empezando con un 4% hasta 6.5% como lo describe la norma de INVÍAS, obteniendo como resultado un suministro de betún asfáltico del 5.5%, luego se procedió a repetir el ensayo Marshall a diferencia que se reemplazó los llenantes minerales de los agregados pétreos por escoria de cero (calamina) a una porción de 0.20 mm y adicionando aditivo Husil al 1% empleando un concreto asfáltico

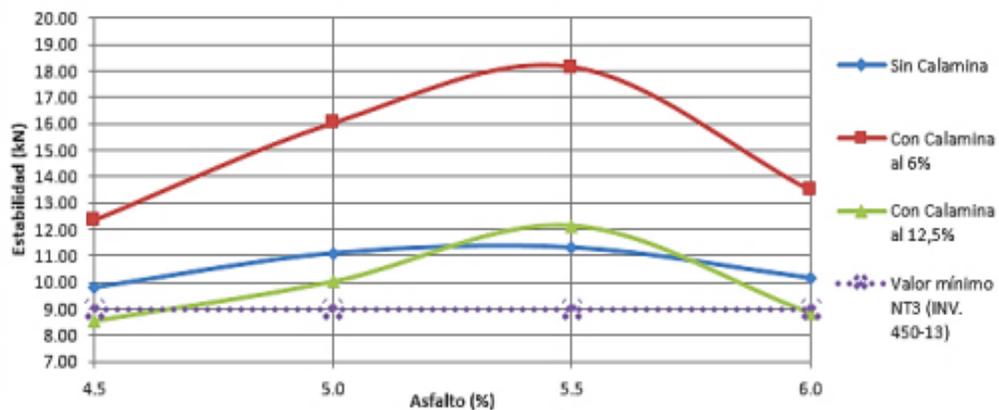
⁶⁵ PARRA A., SANCHEZ P., análisis de la valorización de escorias negras como material agregado para concreto en el marco de la gestión ambiental de la siderúrgica Diaco. Municipio de Tuta Boyacá. Tesis pregrado. Bogotá: Universidad De La Salle. Departamento de ingeniería Civil, 2010. Pag 118.

⁶⁶ Sánchez M., Op. Cit., Pg 12.

(MDC-19), con resultados favorable de 161.61 Kg de resistencia a diferencia de la mezcla convencional que tuvo una resistencia menor.⁶⁷

Otra tesis de investigación de la universidad Distrital titulada “Modificación de un concreto asfáltico MDC-19 mediante la sustitución del llenante mineral natural por calamina”. En la que se opta la utilización de la calamina en estado natural como llenante mineral en una mezcla asfáltica, con el fin de aumentar la resistencia de una carpeta asfáltica (MDC-19) modificada, donde se realizara briquetas por medio del ensayo de Marshall soportada por la norma (I.N.V E-748) que consiste en obtener el óptimo de betún asfáltica variando su dosificación en 5% empezando con el 4% hasta 6.5%, según los resultados obtenidos se determinó un 6% de agente bituminoso y un óptimo de calamina del 12.5% de calamina del peso total de la probeta, también se determinó un incremento de resistencia de 2,55 kN al 6.82 kN con respecto a una mezcla convencional.⁶⁸

Tabla 10: Comportamiento de la mezcla modificada y sin modificar.



FUENTE: Tomado de “Modificación de un concreto asfáltico MDC-19 mediante la sustitución de la llenante mineral natural por calamina”. De Amézquita, J. & Gantiva, C., Bogotá, (2017).

⁶⁷ Rincón, J. & Sanabria, Y. Modificación del concreto asfáltico (MDC-19) con la sustitución de llenante mineral por calamina y la incorporación del aditivo “Husil”, Bogotá: Universidad distrital francisco José de caldas. Ingeniería topográfica.

⁶⁸ Amézquita, J. & Gantiva, C. Modificación de un concreto asfáltico MDC-19 mediante la sustitución de la llenante mineral natural por calamina. Bogotá: Universidad Distrital francisco José de caldas. Ingeniería Topográfica. Tesis, 2017. Pg. 5-8-28 y 34.

Debido a que la explotación del petróleo es muy importante para construcción de capas de rodadura flexible y el mejoramiento de los recursos socio-económicos de un país, pero debido al gran aumento de la extracción del petróleo se aumenta la contaminación de fuentes hídricas y cuerpos de agua con consecuencias ambientales.

Mediante la cascarilla de laminación, también conocida como calamina, es un residuo aprovechable que se ha venido usando a nivel mundial en el sector de la construcción. Las adiciones y nuevos agregados en la elaboración de morteros y concretos son empleados cada día en una mayor proporción con el fin de reducir los impactos ambientales causados por los materiales convencionales, se ha ido observando una tendencia a la construcción sustentable, también conocida como “construcción verde”, la cual promueve el uso de materia prima proveniente de residuos o subproductos de fábricas industriales, como sustituto de los componentes del concreto.

Se estima que en los procesos de fabricación del hierro y el acero se generan alrededor de 500 kg/ton de residuos sólidos de diferente naturaleza Según información suministrada por la empresa GERDAU DIACO S.A., empresa líder en el sector siderúrgico en Colombia, la cascarilla de laminación generada en sus principales instalaciones es de 800 toneladas mensuales. En la ciudad de Medellín solo se producen alrededor de 0.5 toneladas al mes que salen de la unidad de corte y doblaje de su empresa ubicada en el municipio de la Estrella.⁶⁹

Tabla 11: Costos de materias primas.

Material	Costo (Pesos colombianos)			
	Antioquia	Boyacá	Valle del Cauca	Cundinamarca
Cemento (\$/kg)	\$550	\$570	\$550	\$570
Agua (\$/L)	\$16	\$16	\$16	\$16
Grava (\$/m ³)	\$48,720	\$52,200	\$81,895	\$52,200
Arena lavada e río (\$/m ³)	\$128,000	\$128,000	\$128,000	\$128,000
Cascarilla (\$/m ³)	\$43,820	\$43,820	\$43,820	\$43,820

Fuente: Tomado de “Evaluación del uso de cascarilla de laminación como agregado fino en la elaboración de concreto convencional”. De Rojas, H. & Restrepo, S., Medellín, (2016).

⁶⁹ Rojas, L., & Restrepo, S. Evaluación del uso de cascarilla de laminación como agregado fino en la elaboración de concreto convencional. Primera ed. Bogotá. Universidad EAFIT. 2016. Pg. 12-66-67

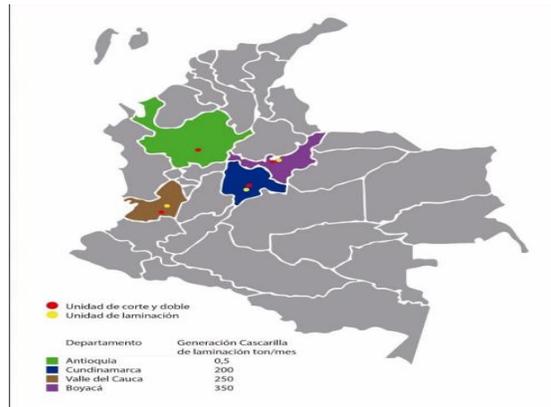
Tabla 12: Costos de materias primas.

Mezcla	Costo m ³ de concreto (Pesos Colombianos)			
	Antioquia	Boyacá	Valle del Cauca	Cundinamarca
Concreto general 0% Cascarilla	\$331,232	\$341,831	\$350,113	\$341,831
Concreto general 30% Cascarilla	\$325,252	\$335,842	\$344,053	\$335,842
Ahorro por m³	\$5,980	\$5,988	\$6,059	\$5,988
% ahorro	1.81%	1.75%	1.73%	1.75%

Fuente: Tomado de “Evaluación del uso de cascarilla de laminación como agregado fino en la elaboración de concreto convencional”. De Rojas, H. & Restrepo, S., Medellín, (2016).

Se puede evidenciar que es más económico elaborar concreto con cascarilla de laminación que concreto convencional sin presencia de este residuo en las cuatro zonas del país donde hay generación de esta, además todas presentan un ahorro muy parecido. Si se tiene en cuenta que normalmente se transporta el concreto en camiones de 7m³, el ahorro promedio por viaje es de \$42.028 pesos colombianos.

Figura 5: Cantidad de calamina generada.



Fuente: Tomado de “Evaluación del uso de cascarilla de laminación como agregado fino en la elaboración de concreto convencional”. De Rojas, H. & Restrepo, S., Medellín, (2016).

La investigación de la “Mejoramiento de la carpeta asfáltica a base de escoria siderúrgica para pavimentos flexibles” la cual se tomó como párrafo informativo la mejora de las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica la cual se añade escoria de acero.⁷⁰

⁷⁰ González, A. (2017). Mejoramiento de la carpeta asfáltica a base de escoria siderúrgica para pavimentos flexibles (mezcla asfáltica). Recuperado desde: <<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14565/1/UPS%20-%20ST003209.pdf>>

“La escoria en una mezcla asfáltica posee excelentes propiedades de afinidad con el cemento asfáltico, lo cual significa muy poca abrasión y erosión de la mezcla, ante los efectos del clima y tráfico. La escoria tiene la capacidad de retener el calor en períodos de tiempo más largos que los agregados naturales tradicionales, es una característica ventajosa en las mezclas asfálticas, ya que conservará la temperatura por mayor tiempo.”⁷¹

Como ventajas que tiene la escoria de acero o calamina, es que produce una estabilidad y flujo que ubica a la mezcla dentro de las especificaciones y normativas de diseño, reduciendo en gran parte ahuellamientos y canalización en la superficie en el pavimento asfáltico.

Según estudios realizados por la Universidad Militar Nueva Granada en Zipaquirá, revelan que el uso de calamina en mezclas asfálticas brinda a los pavimentos características de mayor desempeño con respecto a los elaborados con agregados tradicionales como son: alta resistencia al deslizamiento a lo largo de su vida de servicio.

Estudiantes de la universidad del Tolima, se realizó una investigación de las propiedades mecánicas de la calamina o monóxido de carbono al ser sometidos a altas temperaturas “siderúrgica de la región, por reducción con monóxido de carbono”.⁷² En la investigación se tomó la calamina proveniente de una empresa laminados de la región del Tolima, la cual posteriormente fue molida hasta obtener una reducción de material al ser sometido a temperaturas del 820 y 900°C a diferentes estancias de tiempo.

En la investigación se observó que la calamina tiende a disminuir sus partículas en cuanto se incrementa la temperatura, los autores afirman que durante de 2 horas con una temperatura constante de 900°C se presenta una disminución del 10% de su tamaño inicial y por otro lado la calamina a someterse a temperaturas de calcinación produce una gran cantidad de gases como CO y N₂.

Dado a lo anterior se puede observar un aumento del volumen de la calamina como modificante en mezclas asfálticas, la cual puede alterar la adherencia de los ligantes bituminosos y agregados finos remplazados en la presente investigación, se deberá tener en cuenta también el comportamiento que se puede presentar en la relación de vacíos al momento de realizar las especificaciones de la norma para el diseño Marshall.

⁷¹ Ibid., Pg 22.

⁷² Esguerra Adriana, et al. Siderúrgica de la región, por reducción con monóxido de carbono. Ingeniería de materiales. Tolima Universidad del Tolima. Ingeniería. Proyecto de investigación, 2009. Pg. 1289 – 1294.

El ingeniero civil y ambiental Fereidoon. Moghadas (2012) Irán, junto a profesionales en la área de ingeniería civil, estudiaron el daño por humedad en una mezcla asfáltica “Influence of using nonmaterial to reduce the moisture susceptibility of hot mix asphalt”⁷³, en la cual se revisa el comportamiento de las propiedades mecánicas del asfalto a ser modificado, estima la propiedades de adherencia y cohesión del concreto asfáltico mejorado con aditivo zycosoil, la cual bajo estos estudios se aumentó las propiedades mecánicas de diseño y una disminución de la fatiga debido al contenido de piedra caliza o minerales.

H. Zhang & otros autores (2015), realizan una investigación del envejecimiento del asfáltico modificado con oxido de nano zinc⁷⁴, La cual son sometidos diferentes agentes bituminosos por nano zinc, en la cual se sometió a envejecimiento UV, obteniendo como resultados la alteración de la estructura de ligante bituminoso modificados con oxido de nano zinc (calamina pulverizada).

Por otro lado, la investigación se muestra una mejora de la resistencia del envejecimiento UV, lo que también se indica un aumento de la viscosidad de agente bituminoso alterado y la alteración del óxido de nano zinc, como agentes de nucleación en ligantes asfálticos, es decir que contribuyen a la cristalización de la adherencia de ligante y agregados minerales, siendo este un factor importante en las pérdidas por desgaste en mezclas asfálticas.

⁷³ Moghadas F., et al. Influence of using nonmaterial to reduce the moisture susceptibility of hot mix asphalt. Universidad Amirkabir of technology. Irán. Departamento de ingeniería civil. Proyecto de investigación. 2012. Pg. 385-388.

⁷⁴ Zhang H., et al. Effect of Nano-zinc Oxide on the Morphology and Ultraviolet Aging Properties of Various Bitumens. Universidad de Hunan. Chagsha – China. Facultad de ingeniería civil. Proyecto de investigación. 2015. Pg. 1110-1116.

8. OBJETIVOS.

8.1. Objetivo general:

Realizar una caracterización para mezcla asfáltica (MDC-25) agregando calamina por vía húmeda.

8.2. Objetivos específicos:

- Determinar la caracterización tanto para los agregados de una mezcla (MDC-25), al igual que la mezcla modificada por (calamina).
- Realizar el diseño de una mezcla (MDC-25) convencional, con el fin de determinar el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica.
- Establecer la cantidad óptima de calamina realizando variación porcentual de la calamina por vía húmeda.
- Comparar y analizar las características mecánicas obtenidas por medio de ensayos de laboratorio entre una mezcla convencional y la modificada con calamina.

9. ALCANCES Y LIMITACIONES.

9.1. Alcances.

La trascendencia del trabajo de investigación radica en:

- Realizar ensayos de caracterización y comparación para una mezcla asfáltica (MDC-25) agregándole calamina como agregado fino.
- Determinar la resistencia óptima de una mezcla asfáltica modificada y cotejar los resultados obtenidos con un concreto asfáltico convencional.
- Llegar a un óptimo adecuado de dosificación para la resistencia máxima del diseño.
- Realizar ensayos para la mezcla (MDC-25) modificada implementadas por la norma del instituto nacional de vías (INVÍAS), para garantizar un análisis adecuada de la resistencia de las cargas vehiculares.

9.2. Limitaciones.

- Falta de equipos completos para analizar la resistencia de las probetas y la caracterización de los materiales granulares, debido a que la universidad no cuenta con todos los equipos necesaria para algunos ensayos.
- Tiempo de ejecución de los ensayos ya que pueden variar según la especificación de la norma y no se lograría debido a que pueden durar varios días, y se podría lograr los resultados adecuados.

10. METODOLOGÍA.

Para la ejecución de este proyecto de investigación, se dividirá en 5 etapas con el fin de resolver y analizar la problemática mencionada previamente.

Figura 6: Diagrama de Metodología



Fuente: Autor.

10.1. **Etapa 1:**

En esta primera etapa se quiere hacer una recolección de datos previos y requisitos al diseño.

Se realizará la caracterización de los materiales granulares, por medio de los siguientes ensayos:

- Ensayo de equivalente de arena de suelos y agregados finos **I.N.V E 133-13**
- Ensayo por medio de azul de metileno **I.N.V E 235-13**
- Densidad específica **I.N.V E 128-13**

10.2. **Etapa 2:**

En esta etapa se realizará la granulometría de los agregados para el diseño de la mezcla.

- Ensayo de granulometría **I.N.V E 123-13**

10.3. **Etapa 3:**

Realizar un diseño de mezcla asfáltica convencional y determinar el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica.

Se repetirá el mismo procedimiento para la calamina variando su dosificación del 1% al 4% del peso total por briqueta.

- Resistencia de mezclas asfálticas en caliente empleando el aparato Marshall **I.N.V. E 748-12**

Se estima para los ensayos un número de 28 probetas, la cuales se distribuyen:

- Diseño de mezcla convencional 12 Und.
- Diseño de mezcla modificada 12 Und.
- Cántabro 2 y 2 Und. de tracción indirecta.

10.4. **Etapa 4:**

Realizar ensayos complementarios para determinar las propiedades mecánicas en las dos mezclas, por medio de los siguientes ensayos:

- Cántabro de pérdida por desgaste ensayo **I.N.V E 760-13**
- Ensayo de tracción indirecta de cilindros **I.N.V. E 786-13**

Para los siguientes ensayos se estima una cantidad de probetas divididas en 3 por cada ensayo.

10.5. **Etapa 5:**

Se analizan los datos obtenidos en las etapas anteriores, con el fin de obtener el diseño adecuado.

11. RESULTADOS.Y ANALISIS DE RESULTADOS

11.1. Diseño mezcla convencional.

En la primera estancia se da los parámetros iniciales y caracterización de los materiales para la preparación de 12 probetas convencionales con cemento asfáltico CA 60-70, hasta obtener una temperatura aproximada de 150 °C y una cantidad de número de golpes de 75 por capa, con una temperatura de compactación de 135 °C a 140 °C.

En la tabla [13] se observa una cantidad de 12 briquetas y una dosificación porcentual de CA 4.5%,5.0%,5.5% y 60%, la cual se fallarán por medio del ensayo Marshall para el diseño óptimo de cemento asfáltico y la comparación de una mezcla convencional.

Tabla 13: Diseño de Briquetas y Porcentaje de CA 60-70.

TEMPERTURA DE MEZCLA	150°C					
TEMPERTURA DE COMPACTACIÓN	135°C - 140°C					
No. DE GOLPES POR CAPA	75					
PROCEDENCIA AGREGADOS PETREOS	CONCRESCOL					
TIPO DE CEMENTO ASFALTICO	CA 60-70					
					Gs. A. PETREOS	2,64 - 2,52
					Gs. ASFALTO	1,012

Briqueta No.	1	2	3	4	5	6
Tipo de Mezcla	DMC-25	DMC-25	DMC-25	DMC-25	DMC-25	DMC-25
% Asfalto	4,5%	4,5%	4,5%	5,0%	5,0%	5,0%
Altura Briqueta (cm)	6,5	6,5	6,5	6,5	6,4	6,5

Briqueta No.	7	8	9	10	11	12
Tipo de Mezcla	DMC-25	DMC-25	DMC-25	DMC-25	DMC-25	DMC-25
% Asfalto	5,5%	5,5%	5,5%	6,0%	6,0%	6,0%
Altura Briqueta (cm)	6,4	6,3	6,4	6,4	6,4	6,4

Fuente: Autor.

En la tabla [14] se dan los resultados de la masa de las briquetas de acuerdo con su porcentaje de dosificación CA, en la cual se empleará posteriormente para el diseño de Marshall de la mezcla MDC-25 convencional. La tabla [14] ilustra los resultados establecidos por el peso en aire, peso superficial seco y peso de la briqueta sumergida, de mezclas convencionales.

Tabla 14: Dosificación de CA y Masa de Briqueta en [gr].

Briqueta No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
% Asfalto	4,5%	4,5%	4,5%	5,0%	5,0%	5,0%	5,5%	5,5%	5,5%	6,0%	6,0%	6,0%
Peso briqueta en aire Seca (gr)	1196	1194	1190	1189	1195	1199	1191	1194	1195	1189	1190	1191
Peso briqueta en aire SS (gr)	1199	1198	1194	1192	1198	1202	1193	1195	1197	1190	1191	1192
Peso briqueta en agua (gr)	677	674	673	677	680	681	679	681	683	673	672	674

Fuente: Autor.

11.2. Ensayo Marshall

Mediante los siguientes resultados se presenta los datos y los cálculos obtenidos de una mezcla asfáltica convencional MDC-25 mediante el ensayo Marshall **I.N.V. E 748-13**, en la cual se analizó el comportamiento de las muestras sometidas a cargas monolíticas con una dosificación de cemento asfáltico CA 60-70 del 4.5%,5%,5.5% y 6%, a una temperatura en baño maría de $60^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{C}$ con una duración de 30 minutos. Posteriormente se sometieron a esfuerzos, para determinar los resultados de estabilidad y de flujo los cuales se tendrán en cuenta para el diseño óptimo de cemento asfáltico.

De acuerdo con los resultados obtenidos, en la tabla [15] se observa los resultados Marshall de una mezcla MDC-25 convencional con un 4.5% de CA; en la cual se tiene un promedio de lectura de estabilidad de 12.2[kN], y un promedio de flujo de 3.81 [mm] y una relación estabilidad flujo de 3.2[kN/mm].

Tabla 15: Diseño Marshall CA 60-70 (4.5%)

CA 60-70 (4.5%)				
Estabilidad [kN]	Estabilidad [kgf]	Flujo [in/100]	Flujo [mm]	E/F [kN/mm]
12.06	1230.15	150	3.81	3.17
12.47	1271.15	150	3.81	3.27
12.06	1230.15	150	3.81	3.17
12.20	1243.82	150.00	3.81	3.20

Fuente: Autor.

En la tabla [16] se establece los resultados correspondientes al ensayo Marshall, con una dosificación del 5.0% de CA, se puede escatimar un promedio de estabilidad de 12.80[kN], un flujo de 3.73[mm] y una relación (Estabilidad/Flujo) de 3.44[kN/mm], en las que se establecerá posteriormente para el óptimo de CA y el diseño de mezcla modificada.

Tabla 16: Diseño Marshall CA 60-70 (5.0%)

CA 60-70 (5.0%)				
Estabilidad [kN]	Estabilidad [kgf]	Flujo [inch/100]	Flujo [mm]	E/F [kN/mm]
12.87	1312.16	145	3.68	3.49
12.67	1291.65	145	3.68	3.44
12.87	1312.16	150	3.81	3.38
12.80	1305.32	146.67	3.73	3.44

Fuente: Autor.

La tabla [17] presenta los datos de laboratorio del ensayo Marshall, en el cual se ilustra la dosificación de CA 5.5% del peso total de una briqueta de asfalto convencional, donde se contempla un promedio estabilidad de 13.27[kN], un flujo de 3.60[mm] en el momento de la falla, relación Estabilidad-Flujo promedio de un valor de 3.69[kN/mm].

Tabla 17: Diseño Marshall CA 60-70 (5.5%)

CA 60-70 (5.5%)				
Estabilidad [kN]	Estabilidad [kgf]	Flujo [inch/100]	Flujo [mm]	E/F [kN/mm]
13.47	1373.66	140	3.56	3.79
13.07	1332.66	145	3.68	3.55
13.27	1353.16	140	3.56	3.73
13.27	1353.16	141.67	3.60	3.69

Fuente: Autor.

Por último, en la tabla [18] se presentan los resultados para un cemento asfáltico 60-70 con una dosificación del 6.0% respecto al peso de una probeta convencional, en la cual se emplea en la norma **I.N.V. E 748-13** ensayo Marshall, la cual muestra una estabilidad media de 11.39[kN], un flujo medio de 3.94 y una relación E/F de 2.89[kN/mm].

Tabla 18: Diseño Marshall CA 60-70 (6.0%)

CA 60-70 (6.0%)				
Estabilidad [kN]	Estabilidad [kg]	Flujo [inch/100]	Flujo [mm]	E/F [kN/mm]
11.66	1189.14	155	3.94	2.96
11.26	1148.14	155	3.94	2.86
11.26	1148.14	155	3.94	2.86
11.39	1161.81	155.00	3.94	2.89

Fuente: Autor.

En la tabla [19] se observa la corrección de estabilidad según la altura promedio de la briqueta y la dosificación de CA, y en la tabla [20] ilustra el resumen promedio de cada una de las briquetas según dosificación de cemento asfáltico CA correspondientes.

Para la obtención de factor de corrección se deberá aplicar la altura promedio de cada una de las briquetas de acuerdo con su dosificación de ligante asfáltico, empleando la tabla 1 factores de corrección para la estabilidad del instituto nacional de vías “**Resistencia de mezclas asfálticas en caliente empleando el aparato Marshall I.N.V.E 748-12**”, con el fin de garantizar un diseño adecuado se efectúa la corrección para cada una de las dosificaciones.

Tabla 19: Factor de Corrección de Flujo.

Briqueta No.	% CA	Altura Promedio Briqueta [mm].	Factor de Corrección
1-2-3	4.50%	65.0	0.963
4-5-6	5.00%	64.7	0.970
7-8-9	5.50%	63.7	0.995
10-11-12	6.00%	64.0	0.998

Fuente: Autor.

Tabla 20: Ensayo Marshall MDC-25 Corregido.

Resumen ensayo Marshall MDC-25 Convencional Corregido.					
CA [%]	Estabilidad [kN]	E/F [kN/mm]	Estabilidad [kN]	E/F [kN/mm]	Flujo [mm]
4.5	12.20	3.20	11.75	3.08	3.81
5.0	12.80	3.44	12.42	3.33	3.73
5.5	13.27	3.69	13.20	3.67	3.60
6.0	11.39	2.89	11.26	2.86	3.94

Fuente: Autor.

Posteriormente de los resultados corregidos en el diseño de la mezcla por medio del ensayo Marshall con una dosificación de CA de 4.5% 5.0% 5.5% y 6.0%, se puede determinar que, al realizar el ensayo de Marshall para cada uno de los porcentajes, el óptimo de ligante toma un valor de 5.5%, dado que la carga máxima es de 13.20[kN], deformación mínima de un valor de 3.60[mm] y una Estabilidad / Flujo 3.67[kN/mm] superior a las demás briquetas.

En complemento se puede analizar el diseño de las mezclas convencionales deberá tener un contenido del 5.5% de CA, a la cual se le atribuye una mayor resistencia y menor deformación ante la falla, garantizando así una disminución de la relación de vacíos de agregados ligante.

Posteriormente para realizar la comparación de resultados se realiza el ensayo Marshall para una mezcla MDC-25 modificada con calamina con una cantidad de 12 probetas, las cuales se le agrega una dosificación porcentual del 1.0%, 2.0%, 3.0% y 4.0% calamina mediante vía húmeda, la cual se resume su distribución de cemento asfáltico y altura de briquetas mediante la tabla [21].

Tabla 21 Distribución Porcentual de Calamina

Briqueta No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tipo de Mezcla	DMC-25											
% Calamina	1%	1%	1%	2%	2%	2%	3%	3%	3%	4%	4%	4%
% Asfalto	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%
Altura Briqueta (cm)	6,6	6,6	6,5	6,5	6,5	6,5	6,3	6,4	6,2	6,3	6,4	6,2

Fuente: Autor.

En la tabla [22] se puede apreciar los resultados de peso en aire, peso en agua y peso superficialmente seco, con una dosificación de cemento asfáltico de 5.5% y una distribución porcentual de calamina del 1.0% al 4.0%, en las cuales se usarán posteriormente para la obtención de los porcentajes de vacíos y densidad de Bulk, los cuales se utilizarán para la comparación de las dos muestras.

Tabla 22: Dosificación de Calamina y Masa de Briquetas Modificadas [gr]

Briqueta No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
% Calamina	1%	1%	1%	2%	2%	2%	3%	3%	3%	4%	4%	4%
Peso briqueta en aire Seca (gr)	1201	1194	1198	1197	1205	1196	1201	1156	1199	1191	1205	1198
Peso briqueta en aire SSS (gr)	1204	1199	1200	1199	1208	1199	1202	1198	1200	1192	1208	1198
Peso briqueta en agua (gr)	685	682	685	687	688	684	691	690	694	690	696	693

Fuente: Autor.

Se realiza el mismo procedimiento del diseño de la mezcla convencional para la mezcla modificada MDC-25 mediante el ensayo Marshall establecido por el Instituto Nacional de Vías; estableciendo un porcentaje óptimo de cemento asfáltico de 5.5% variando su dosificación de calamina en vía húmeda, a una temperatura de mezcla que deberá estar en un valor de 150 °C, y un número de golpes por capas de 75, temperatura de compactación de 135 a 140 °C, gravedad específica de los agregados pétreos del 2.64 a 2.52 y una gravedad específica del asfalto de 1.012[gr/cm³].

Los resultados en la tabla [23] determinara la resistencia de las briquetas 1, 2 y 3, con una dosificación de calamina del 1.0%; las cuales arroja un valor promedio 15.43[kN], deformación 130.33[mm] y relación estabilidad flujo de 4.66[kN/mm].

Tabla 23: Diseño Marshall CA 60-70 con Calamina de 1%

CA 60-70 CALAMINA 1%				
Estabilidad [kN]	Estabilidad [kg]	Flujo [inch/100]	Flujo [mm]	E/F [kN/mm]
15,69	1599,91	128	3,25	4,83
15,54	1584,61	133	3,38	4,60
15,05	1534,65	130	3,30	4,56
15,43	1573,06	130,33	3,31	4,66

Fuente: Autor.

Dando continuidad al diseño de una mezcla modificada al 2.0% de calamina; se ilustra en la tabla [24] los resultados promedio de las briquetas al ser sometido a carga, en la se arroja un valor de estabilidad 19.29[kN], un flujo 3.12[mm] y una rigidez ante la falla de 6.19[kN/mm].

Tabla 24: Diseño Marshall CA 60-70 con Calamina de 2%

CA 60-70 CALAMINA 2%				
Estabilidad [kN]	Estabilidad [kg]	Flujo [inch/100]	Flujo [mm]	E/F [kN/mm]
15,68	1598,89	125	3,18	4,94
26,23	2674,67	123	3,12	8,40
15,97	1628,46	120	3,05	5,24
19,29	1967,34	122,67	3,12	6,19

Fuente: Autor.

Según los resultados de laboratorio en la tabla [25] se consignan los resultados promedio del diseño Marshall de una mezcla modificada con calamina al 3.0%, al

someter 3 probetas a cargas, estableciendo las caracterizas de la misma ante de la producción de la falla. Estabilidad Promedio: 19.65[kN], flujo Promedio 3.05[mm] antes de la falla de la briqueta y por último la estabilidad / Flujo promedio 6.45[kN/mm], la cual se empleará posteriormente en análisis y comparación en un concreto asfáltico convencional.

Tabla 25: Diseño Marshall CA 60-70 con Calamina de 3%

CA 60-70 CALAMINA 3%				
Estabilidad [kN]	Estabilidad [kg]	Flujo [inch/100]	Flujo [mm]	E/F [kN/mm]
20,83	2124,04	118	3,00	6,95
19,19	1956,80	123	3,12	6,14
18,94	1931,31	119	3,02	6,27
19,65	2004,05	120,00	3,05	6,45

Fuente: Autor

Para él una variación de calamina del 4.0%, se emplea una cantidad de 3 probetas con un porcentaje de cemento asfáltico del orden de 5.5% La tabla [26] garantiza el promedio de resistencia ensayo Marshall, la cual se observa un flujo promedio de 3.77[mm], la estabilidad presente al momento de su ruptura toma un valor de 17.48[kN] dando relación de estos dos valores E/F se estimó un valor de rigidez de 4.64[kN/mm]. Por último se realiza la corrección de cada una de las muestras tabla [27], la cual especifica el porcentaje óptimo de calamina.

Tabla 26: Diseño Marshall CA 60-70 con Calamina de 4%

CA 60-70 CALAMINA 4%				
Estabilidad [kN]	Estabilidad [kg]	Flujo [inch/100]	Flujo [mm]	E/F [kN/mm]
17,76	1810,99	150	3,81	4,66
17,49	1783,46	145	3,68	4,75
17,18	1751,84	150	3,81	4,51
17,48	1782,10	148,33	3,77	4,64

Fuente: Autor.

Tabla 27: Corrección Ensayo Marshall MDC-25 Modificada.

Ensayo Marshall MDC-25 Modificada Corregido					
Calamina [%]	Estabilidad [kN]	E/F [kN/mm]	Estabilidad [kN]	E/F [kN/mm]	Flujo [mm]
1,0	15,43	4,66	14,64	4,49	3,31
2,0	19,29	6,19	18,58	6,00	3,12
3,0	19,65	6,45	19,91	6,42	3,05
4,0	17,48	4,64	17,71	4,58	3,77

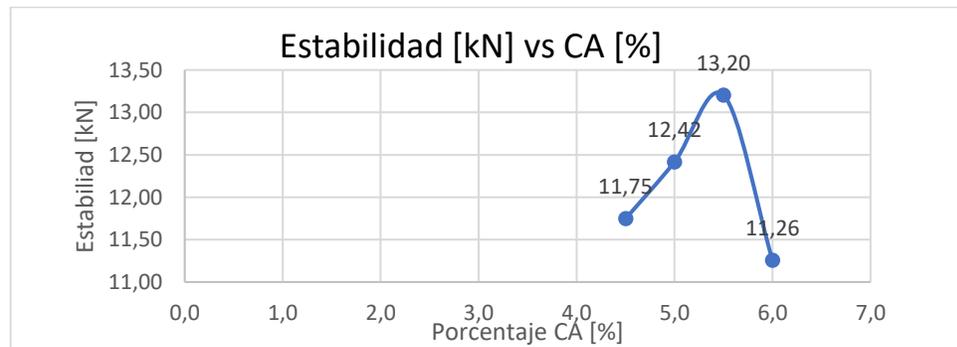
Fuente: Autor.

11.3. Estabilidad, flujo y E/F.

En la gráfica [1] se realiza la estabilidad antes de la falla y el porcentaje de cemento asfáltico CA, en la cual se observa el máximo valor de 13.20 [kN] y un porcentaje de ligante asfáltico del 5.5%, la cual se toma como porcentaje óptimo del diseño de la mezcla modifica.

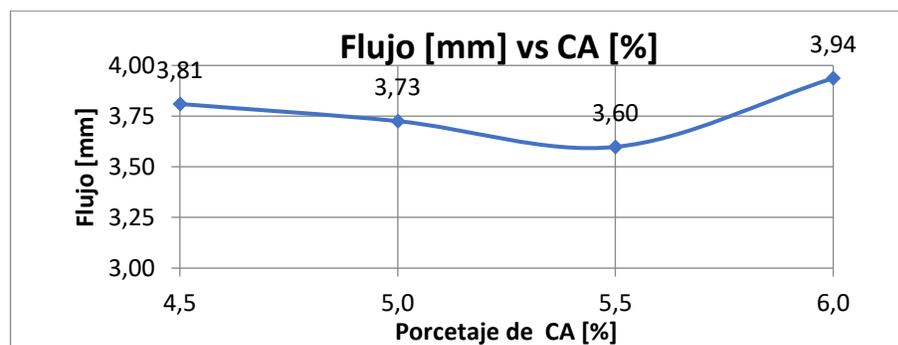
Se puede observar mediante la gráfica [2] la deformación en milímetros antes de la falla, donde el valor mínimo de flujo es 3.6[mm] correspondiente a una dosificación de cemento asfáltico CA 60-70 del 5.5%, estableciendo así una deformación exigua ante las cargas monolíticas.

Gráfica 1: Estabilidad vs Cemento Asfáltico



Fuente: Autor.

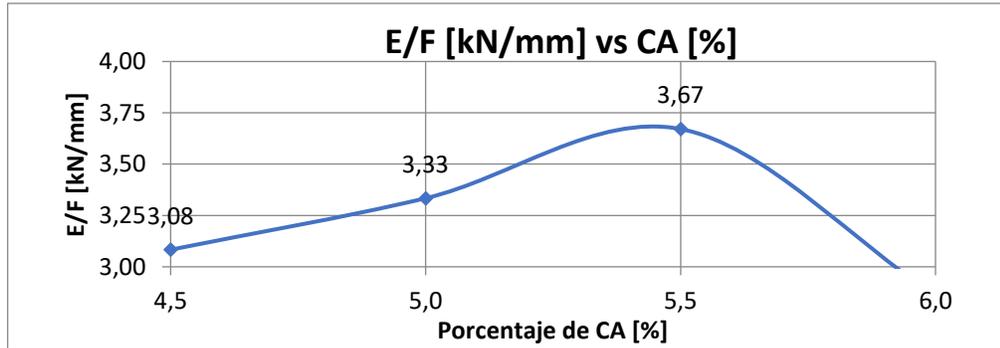
Gráfica 2: Relación Flujo vs CA



Fuente: Autor.

Con base a los resultados anteriormente se realiza la relación de la estabilidad y flujo, con el fin establecer el óptimo de CA, se observa en la gráfica número [3] la relación E/F vs porcentaje de cemento asfáltico, en la cual se analiza crítico de 3.67[kN/mm], encontrándose en un porcentaje de CA 5.5%.

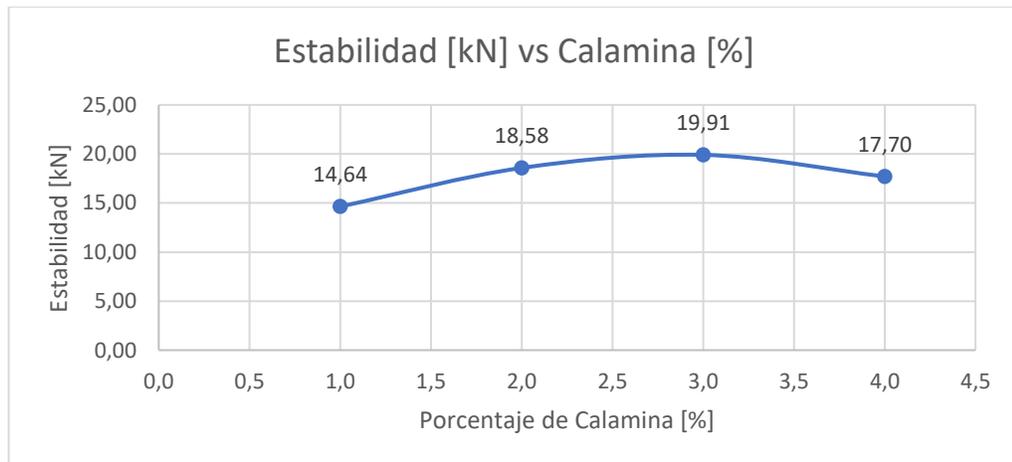
Gráfica 3: Relación Estabilidad- Flujo vs CA



Fuente: Autor.

Dado los resultados obtenidos del ensayo Marshall, se realiza representando gráficamente la estabilidad vs el porcentaje de calamina, en la cual se muestra punto crítico de flujo 19.91[kN] a un valor del 3.0% de calamina, véase en la gráfica [4].

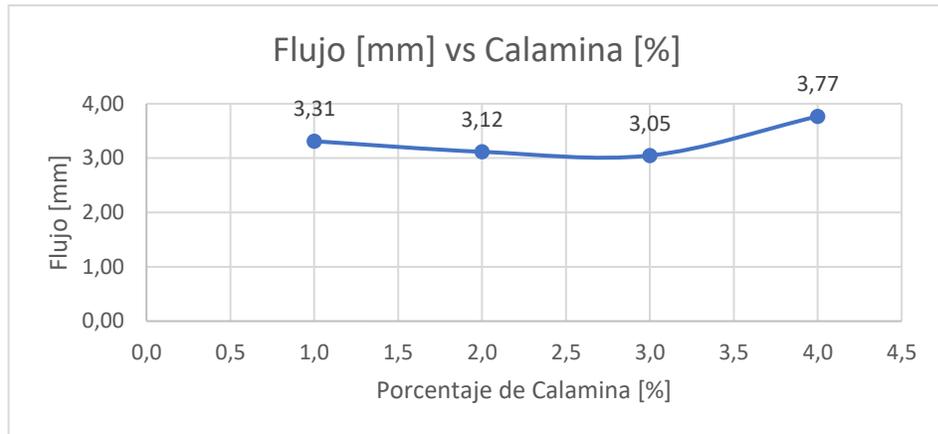
Gráfica 4: Estabilidad vs Porcentaje de Calamina



Fuente: Autor.

En la gráfica número [5] se hace representación del punto mínimo de deformación a la cual fue sometida cada una de las briquetas, tomado un valor de flujo de 3.05[mm] correspondiente al 3.0% de calamina.

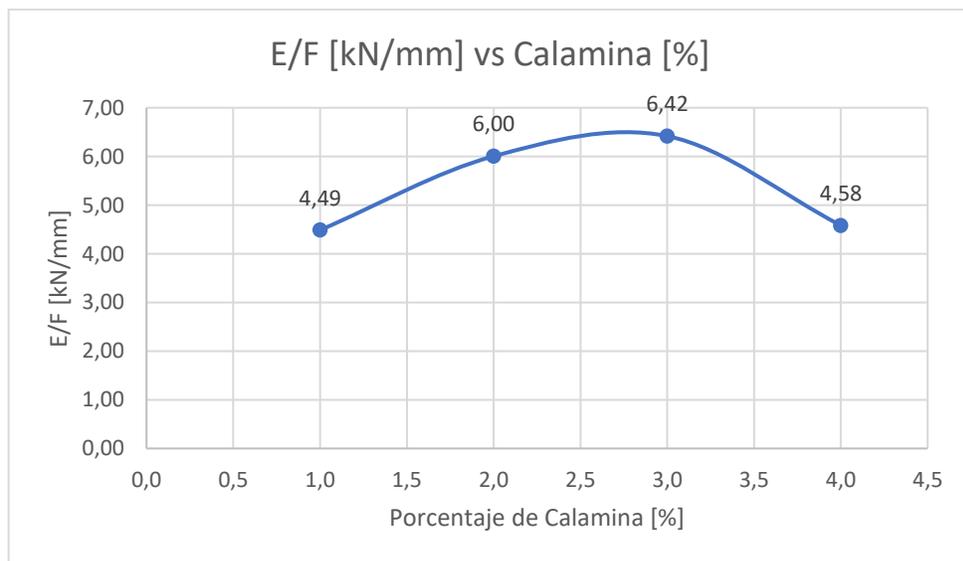
Gráfica 5: Flujo vs Porcentaje de Calamina



Fuente: Autor.

Y por último se determina la relación de estabilidad-flujo para una mezcla modificada, la cual se puede determinar un valor del 6.42[kN/mm] en su estancia máxima, según la gráfica [6] el punto de deflexión determina el porcentaje de dosificación de calamina, la cual corresponde a un 3.0%.

Gráfica 6: Estabilidad-Flujo vs Calamina

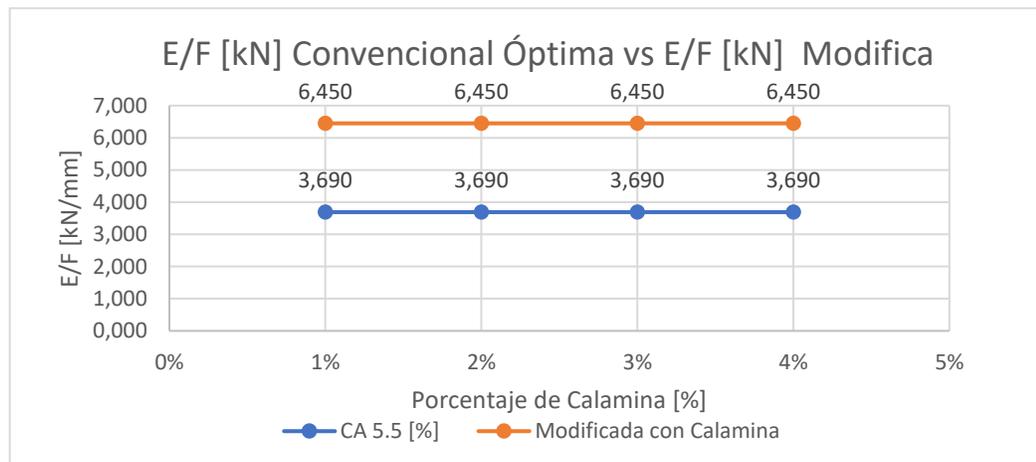


Fuente: Autor.

Mediante el análisis establecido en la tabla número [20], se puede determinar que la probeta con una dosificación de 5.5% de CA y una modificación porcentual del 3.0% de calamina, estabilidad toma un valor máximo de 19.61[kN], un flujo ante la falla de 3.05 [mm] y una relación de estabilidad – flujo crítica de 6.54[kN/mm], debido a estos resultados se concluye que las propiedades mecánicas que presenta la briqueta modifica al 3.0% de calamina, se consideraría la más óptima para el diseño en Marshall.

De acuerdo a lo establecido por el ensayo Marshall, se determinó un porcentaje óptimo de cemento asfáltico del 5.5%, obtenido de los valores críticos determinados relación estabilidad-flujo de 3.67[kN/mm]. Así como también para el material sugerido para esta investigación se obtuvo un crítico 6.42[kN/mm] correspondientes al 3% de calamina tabla [27], mediante la gráfica [7], se puede determinar la diferencia de la relación de estabilidad 6.450 [kN/mm] con un aumento del 74.8%. Analizando el artículo 450-tabla 10, se determina que la relación flujo de la mezcla modificada se encuentra en el rango para ser tomada como un tránsito NT2.

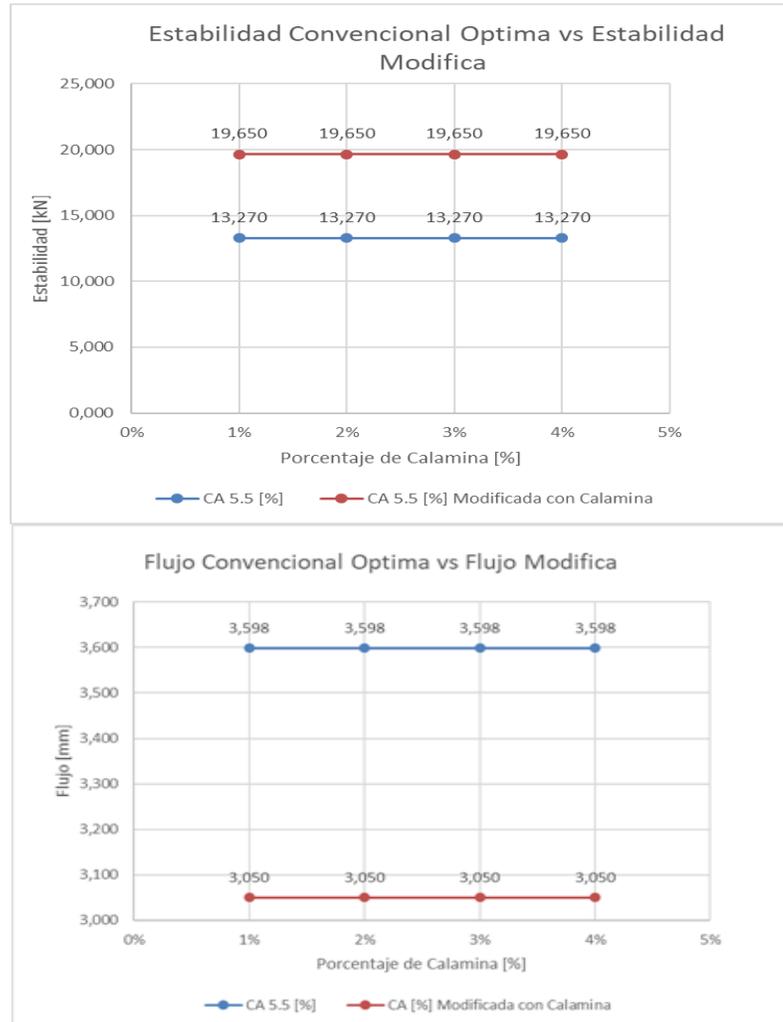
Gráfica 7: Diferencia de Estabilidad-Flujo



Fuente: Autor.

Evaluando los resultados obtenidos en el ensayo de flujo se observa que la mezcla modificada tiene una mayor tolerancia a la deformación en comparación con la mezcla convencional, la cual tiene una diferencia de 0.548[mm] y una reducción de 15.24%, se percibe de igual manera que en la variable de estabilidad la mezcla modificada tiene una mayor resistencia ante la carga sometida adquiriendo un valor diferencial de 6.38[kN], cuantificados mediante las siguientes gráficas.

Gráfica 8: Variables Diferencia y Estabilidad



Fuente: Autor.

De acuerdo el artículo 410-10, se determina el nivel de tránsito de acuerdo con su capacidad de carga, la cual se determina mediante la resistencia de estabilidad ante la falla, en la cual se observa que para la mezcla convencional se obtiene una clasificación de tránsito NT3 a comparación con la mezcla modificada se adquiere para diseño de pavimento para alto modulado.

Haciendo una comparación de las dos mezclas se observa que la mezcla modificada al 3% con calamina posee una menor deformación a las cargas, obteniendo como resultado 3.050 [mm] flujo a diferencia de la convencional que presenta un aumento de su deformación de flujo de 3.598 [mm], siendo esta la más desfavorable en un diseño de mezcla.

11.4. Porcentaje de vacíos, densidad de Bulk y gravedad específica máxima teórica.

Para calcular el porcentaje de vacíos llenos con ligante asfáltico (**VFA**) y el porcentaje de vacíos con agregados (**VAM**), se deberá calcular previamente la gravedad máxima teórica (**Gmm**), teniendo en cuenta el peso específico del cemento asfáltico CA 60 -70 y peso específico del agregado pétreo AP con valores del 1.012 y 2.577 respectivamente, se emplea la siguiente ecuación.

$$Gmm = \frac{100}{\left[\left(\frac{100 - \% \text{ Asfalto}}{AP} \right) + \left(\frac{\% \text{ Asfalto}}{CA} \right) \right]}$$

ECUACIÓN 1: Gravedad Especifica Máxima Teórica.

Posteriormente se determinó la densidad de Bulk [gr/cm³] **I.N.V. E 733–13** en la cual se deberá tener en cuenta la masa en aire, masa de briqueta sumergida en agua y la masa superficial seca en gramos, de cada una de las probetas; para el cálculo se emplea la siguiente ecuación 2.

$$Densidad \ de \ Bulk = \frac{Masa \ en \ aire}{Masa \ superficial \ seca - Masa \ en \ agua}$$

ECUACION 2: Densidad de Bulk.

Una vez obtenidos los resultados de la gravedad máxima teórica y la densidad de Bulk, se da continuación de los cálculos correspondientes al porcentaje de vacíos de cada una de las muestras de acuerdo con el ensayo **I.N.V. E 736–13 “Porcentaje de vacíos de aire en mezclas asfálticas compactadas densas y abiertas”**, la que nos permitirá determinar la selección de proporción de la mezcla de concreto asfáltico.

De acuerdo con la tabla [28] se establece el porcentaje de vacíos de cada una de la muestra para un diseño de MDC-25 convencional, así como la densidad de Bulk y la gravedad específica máxima teórica, en la cual se instruye el porcentaje de **VAM** y **VFA**.

Tabla 28: Porcentaje de Vacíos MDC-25

RESUMEN DE DISEÑO MDC-25 CONVENCIONAL				
CA [%]	Densidad Bulk [g/cm³]	Vacíos [%]	VAM [%]	VFA [%]
4,5	2,285	5,18	15,33	66,26
5,0	2,306	3,61	15,00	75,94
5,5	2,322	2,25	14,86	84,90
6,0	2,297	2,58	16,20	84,07

Fuente: Autor.

Empleando los cálculos previamente establecidos ecuación [1] y la ecuación [2], se obtiene los resultados de gravedad específica máxima teórica y densidad de Bulk, en la cual se obtiene los siguientes resultados para la mezcla modificada tabla [29].

Tabla 29: Porcentaje de Vacíos MDC-25 modificada

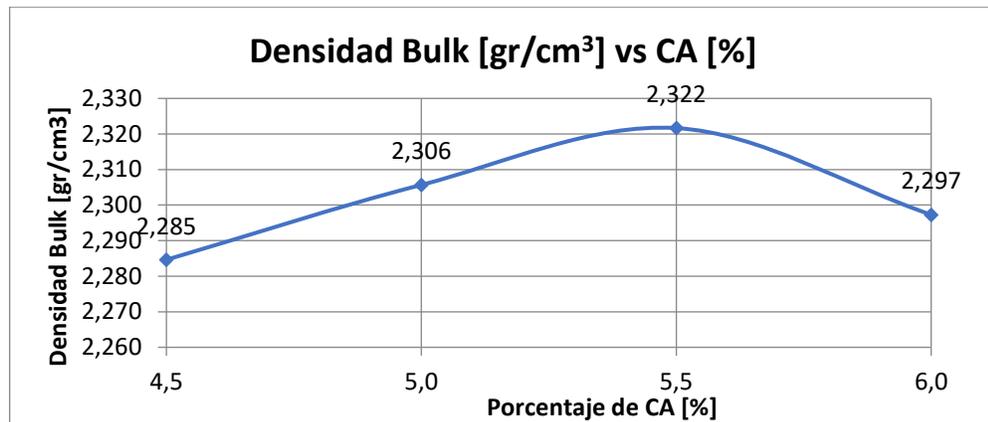
RESUMEN DE DISEÑO MDC-25 MODIFICADA					
CALAMINA [%]	CA [%]	Densidad Bulk [g/cm³]	Vacíos [%]	VMA [%]	VFA [%]
1,0	5,5	2,32	2,46	15,05	83,69
2,0	5,5	2,33	2,07	14,71	85,98
3,0	5,5	2,33	1,82	14,49	88,48
4,0	5,5	2,37	0,37	13,23	97,24

Fuente: Autor.

11.5. Gráfica densidad de Bulk vs porcentaje de cemento asfáltico.

Con los datos presentes en la gráfica [9], se determina que el valor máximo de densidad es de 2.322 [gr/cm³] constituido por la briqueta, con un porcentaje de CA del 5.5%, una dispersión no tan amplia frente a los demás datos.

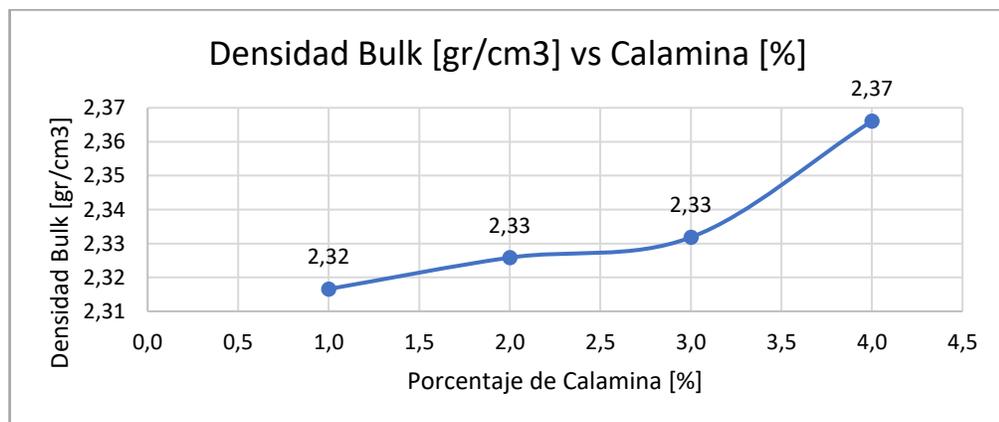
Gráfica 9: Densidad de Bulk vs Porcentaje de CA



Fuente: Autor.

En la gráfica [10] se observa un aumento proporcional de la densidad al ser aumentado la dosificación de calamina, debido a que las propiedades físicas de la calamina aumentan su peso respecto a su volumen; en este caso se observa un punto de inflexión superior de 2,37[gr/cm³].

Gráfica 10: Densidad de Bulk vs Calamina

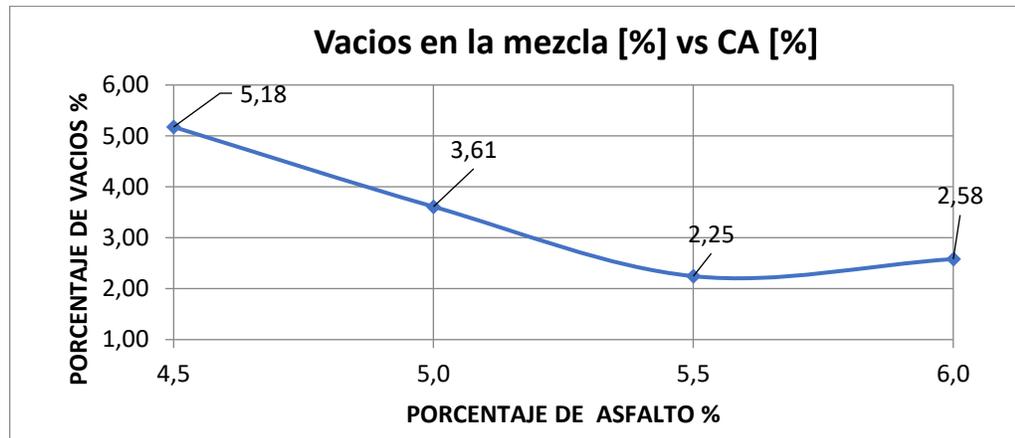


Fuente: Autor.

11.6. Gráfica porcentaje vacíos.

Los resultados en la gráfica [11] determina el porcentaje de vacíos en la mezcla de acuerdo con su dosificación de cemento asfáltico CA 60-70, la cual da como representación los espacios de aire que están en la mezcla una vez finalizada su compactación; según los datos obtenidos se observa que valor mínimo es de 2.25%.

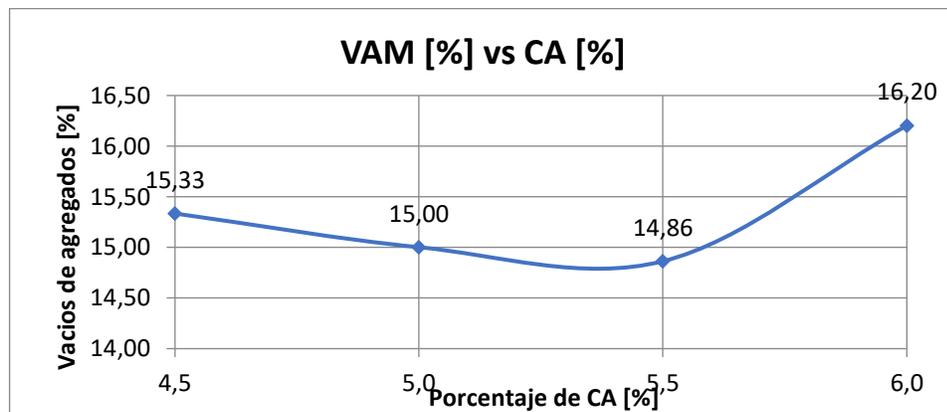
Gráfica 11: Vacíos en Mezcla vs CA



Fuente: Autor

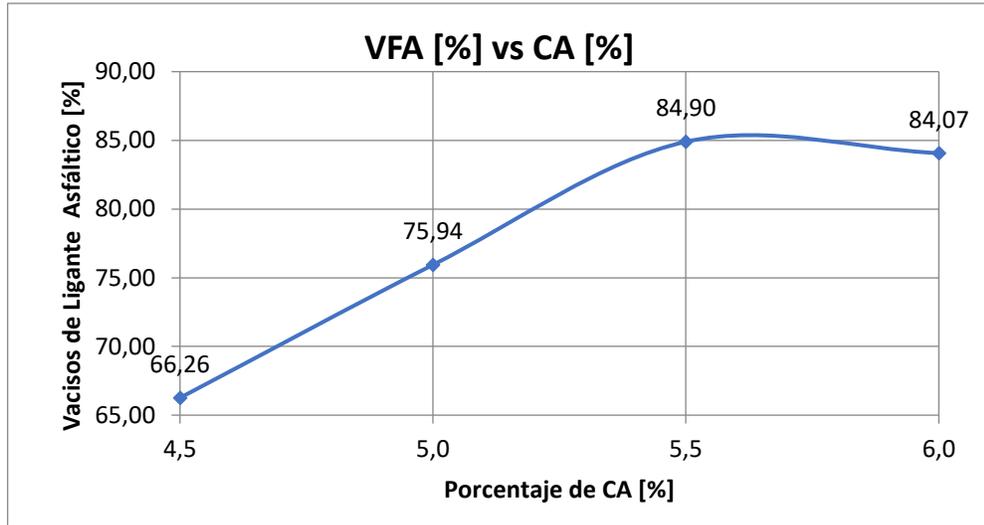
Se puede representar en la gráfica [12] y [13] el porcentaje de vacíos en agregados y vacíos de ligantes asfálticos respectivamente, en la cual se muestra un porcentaje de vacíos de agregados del 14.86% y un porcentaje de vacíos ligante asfáltico 84.90% para un porcentaje óptimo de ligante del 5.5%.

Gráfica 12: Porcentaje VAM vs Porcentaje de Cemento Asfáltico



Fuente: Autor.

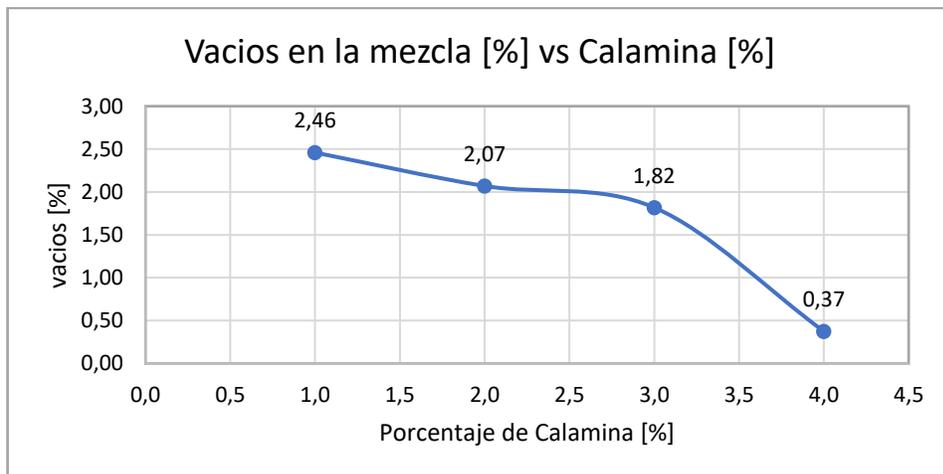
Gráfica 13: Porcentaje VFA vs Porcentaje de Cemento Asfáltico



Fuente: Autor.

Con el análisis de esta gráfica [14] determinamos el porcentaje de vacíos que se puede encontrar en cada una de las dosificaciones, en la cual tenemos un valor mínimo de 0.37% correspondiente a una dosificación al 4.0%, en la cual se puede determinar una pérdida de los vacíos siendo está más compacta.

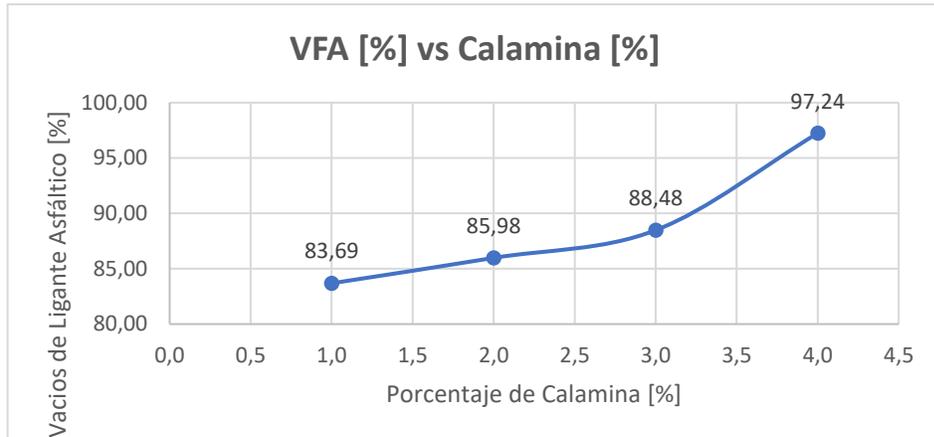
Gráfica 14: Vacíos en Mezcla vs Calamina



FUENTE: Autor

En cuanto a las gráficas [15] y [16], observa el porcentaje de vacíos llenante ligante (VFA) y el porcentaje de vacíos en agregados (VAM), siendo el de vacíos llenante ligante, aumenta hasta un valor 97.24% con una dosificación de calamina al 4.0%

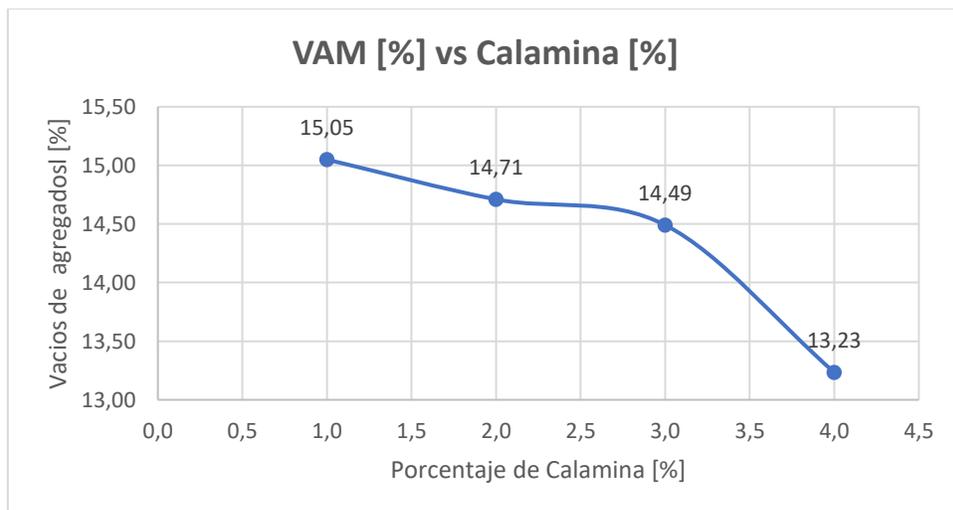
Gráfica 15: Porcentaje VFA vs Calamina



FUENTE: Autor.

Por último, en la gráfica [16] el porcentaje de vacíos en los agregados minerales tiende a decrecer al aumentar la dosificación de calamina, siendo esta inversamente proporcional a la dosificación, se estableció un porcentaje del 13.23% correspondiente al 4.0%, se puede concluir en esta sección que al ir aumentando la dosificación la mezcla tiende a perder los vacíos en los agregados minerales.

Gráfica 16: Porcentaje de VAM vs Calamina



Fuente: Autor

En este aporte de análisis se determina los porcentajes de vacíos obtenido en mezcla convencional como también en la propuesta a mejorar el diseño de mezcla con calamina, en la cual se observa la diferencia porcentual de las dos muestras analizada en el presente documento.

De acuerdo a los resultados obtenido de la mezcla convencional con una dosificación de CA del 5.5% y una mezcla modificada con calamina por vía húmeda al 3.0%, se puede afirmar que la mezcla modificada tiene una mayor densidad de Bulk, esto debido a que la calamina tiene un alto contenido de metales y minerales que componen su estructura, además que se presenta una disminución del porcentaje de los vacíos en aire en la probeta teniendo una diferencia porcentual del 23.5%, garantizando una mejor compactación de la mezcla y reducción de los vacíos.

Complementando lo anterior podemos observar que la mezcla dosificada al 3.0% de calamina, teniendo un aumento porcentual de los llenantes ligantes del 4.0% y una reducción de volumen en los agregados 2.6%, lo cual se puede afirmar que la mezcla con calamina tiene una mejor compactación reduciendo las posibles deformaciones en su estructura.

11.7. Ensayo de cántabro mezcla convencional y modifica.

Mediante el ensayo I.N.V. E 760-13 “**Caracterización de las mezclas bituminosas abiertas por medio del ensayo cántabro de pérdida por desgaste**”, en la cual se determina el porcentaje de deterioro que se presentó en la muestra óptima modificada y sin modificar, las cuales tiene un porcentaje de CA al 5.5% y en la modificada una adición de calamina al 3.0%.

Para determinar el porcentaje por desgaste empleando la máquina de los ángeles (Anexo O), la cual tiene una velocidad promedio de 30 rpm y una cantidad de 300 vueltas; se deberá tener en cuenta la masa inicial (P1) y final (P2) de cada una de las briquetas, lo anterior se afirma con la siguiente ecuación.

$$P = \frac{P1 - P2}{P1} * 100\%$$

Fuente: Recuperada de INVÍAS, Norma 760-13, (2013).

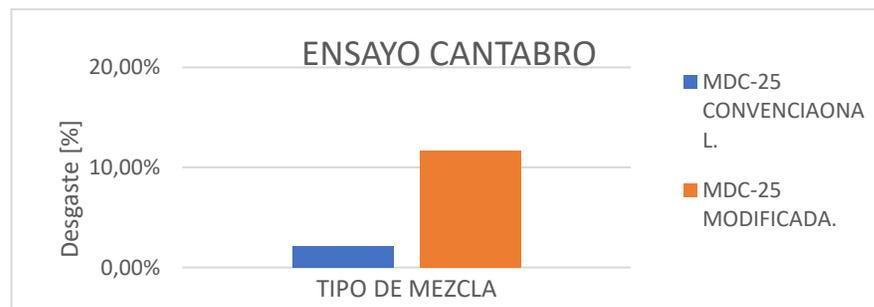
En la tabla [30] se observa los resultados de pérdidas, así como masa inicial y final; en la cual se observa una pérdida del 2.08% del material en la mezcla convencional y en el caso de la modificada se observó un aumento significativo de pérdida del 11.74% y una diferencia porcentual de 9.66%, obsérvese en la gráfica [17].

Tabla 30: Pérdidas por Desgaste

ENSAYO CANTABRO			
Tipo de mezcla	Peso Inicial [gr]	Peso Final [gr]	Desgaste [%]
MDC-25 CONVENCIONAL.	1201,6	1176,6	2,08%
MDC-25 MODIFICADA.	1209,1	1067,2	11,74%

Fuente: Autor.

Gráfica 17: Porcentaje de Desgaste



Fuente: Autor.

Como se puede evidenciar en los valores consignados en la tabla [30], se determina que mezcla con más desgaste es la probeta de calamina con el 3% debido a que este material no tiene adherencia con el bitumen, haciendo que esta probeta tenga un desgaste por impacto del 11,74% frente el 2.08% de desgaste en la briqueta convencional. Dando en evidencia una diferencia del 9.66% lo que implica que la calamina hace que la mezcla no tenga una buena consistencia y puede hacer que la carpeta asfáltica sufra de fisuras y desprendimiento de los agregados minerales.

Dado a las propiedades de la calamina y los resultados establecidos por el porcentaje de vacíos en la mezcla, se puede afirmar que las mezclas modificadas con calamina, garantiza una resistencia a la fatiga y ahuellamiento, pero también se deberá tener en cuenta el comportamiento que presenta este material en la adherencia en los agentes bituminosos; dado a fuentes externas e investigaciones antes mencionadas, la calamina pulverizada al sometida a un aumento de temperatura constante, produce una variación de cristalización de la estructura de la mezcla modificada con calamina, siendo esto un factor negativo en la compasión de las mezclas modificadas al ser sometidos a cargas de impacto.

En la figura [7] y [8], se observa el desgaste que presenta cada una de las muestras mediante el ensayo de cántabro, la cual se puede observar que la adherencia de los agregados y el CA altera drásticamente la composición de la estructura de la mezcla. Dado a esto se recomienda hacer ensayos de microscopia para dar a dar a entender la composición de la estructura y adherencia de los ligantes en la mezcla.

Figura 7: Perdida por Impacto MDC-25 Convencional



Fuente: Autor.

Figura 8: Perdida por Impacto MDC-25 Modificada.



Fuente: Autor.

11.8. Ensayo de tracción indirecta.

Con base en **INV E 786-13**, se realizó el procedimiento para determinar la resistencia de la probeta con un porcentaje de calamina del 3%, Para obtener la resistencia a la tracción se deben seguir los pasos recomendados para la preparación de la muestra como lo indica la norma, una vez está preparada la muestra se debe aplicar una carga que incrementa porcentualmente después de ser sumergida en agua a diferentes temperaturas [25°C y 60°C respectivamente] hasta presentar el punto de falla.

Tabla 31: Resultados de Tracción Indirecta

TRACCION INDIRECTA		
CALAMINA [%]	TEMPERATURA [°C]	RESISTENCIA A TRACCION [kN]
3	25	14.17
3	60	13.17

Fuente: Autor.

En la tabla anterior se puede observar que, al incrementar la temperatura del agua de 25°C a 60°C, se presente un punto de falla a 13.17[kN], esto se debe que al incrementar la temperatura la mezcla se vuelve más plástica y obtiene esta condición y sabiendo que la calamina no tiene una buena adherencia con los materiales bituminosa presente en el diseño a una reducción en la resistencia a la tracción cuando la mezcla está sometida a temperaturas altas.

Por otra parte, el tipo de falla que se presenta en las dos muestras de calamina a una temperatura de 25 °C y 60°C, se clasificar según el tipo de falla que se presenta, a los cuales se pueden observar en figura [9], figura [10] y figura [11].

Figura 9: Ensayo Diametral 60 °C



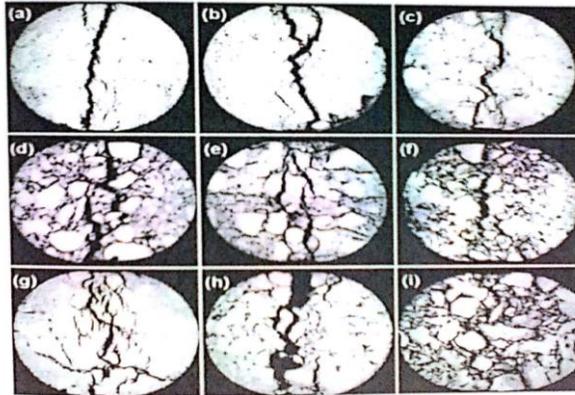
Fuente: Autor.

Figura 10: Ensayo Diametral 25 °C



Fuente: Autor.

Figura 11: Formas de Falla Sobre Muestras Asfálticas



Fuente: Hatman *et al.*, (2001)

Hartman *et al.* (2001), representa nueve ejemplos de falla que se presenta en los ensayos de tracción indirecta en mezclas asfálticas, en la cual en comparación de la presente investigación se observar que la muestra de mezclas modificada a una temperatura de 60°C, toma un tipo de falla de tipo C (doble fisura) y en la muestra sometida a una tempera de 25 °C toma un tipo de falla A (falla ideal). Esto quiere decir que, al someter las muestras modificadas con calamina a altas temperaturas, el diseño tiende a disminuir su resistencia a las cargas cíclicas y fatiga, esto debido a que la calamina no presenta una buena adherencia de los agregados junto a los agentes bituminosos a ser sometidos a cambios de temperatura.

12. CONCLUSIONES.

- Mediante el ensayo Marshall se realiza la comparación de estabilidad ante la falla de ambos diseños. En la mezcla convencional se tiene como resultados una dosificación de ligante asfáltico de 5.5%, y para la mezcla modificada con adición con calamina por vía húmeda, se obtuvo una dosificación óptima de 3.0%, teniendo como resultado un aumento del 78.8% en la relación de estabilidad-flujo.
- Por otra parte, en la obtención de la relación de vacíos en la mezcla convencional con una dosificación de CA del 5.5% y una mezcla modificada con calamina por vía húmeda al 3.0%, se puede afirmar que la mezcla modificada, se tiene un menor porcentaje de vacíos en su estructura, esto debido a que la calamina aumenta la densidad y compactación de la mezcla. Además de estos se afirma una diferencia porcentual del 23.5% en la mezcla modificada, garantizando una mejor resistencia en el ensayo Marshall.
- Concluyendo la comparación de las dos muestras mediante el ensayo de cántabro o de desgaste, se afirma una clara desventaja de la mezcla modificada por calamina debido a que su porcentaje de desgaste es de 11.74% y el de la mezcla convencional produce una pérdida de 2.08%, siendo esta una desventaja en la adherencia de los agentes bituminosos y los agregados. Con base a los resultados obtenidos, se afirma que las mezclas modificadas por calamina tienen ventajas frente a las mezclas convencionales en cuando se somete a cargas monolíticas y de tracción indirecta, y una desventaja por desgaste, esto debido a las propiedades de cristalización que afecta la cascarilla en los agentes bituminosos
- Realizando el análisis de resultados se puede observar que el agregado propuesto para la investigación “la calamina” cumple con un aporte a la mezcla MDC 25 para el mejoramiento de las características geotécnicas dando un incremento capacidad a resistir cargas.
- Debido a que la calamina es la escoria resultante cuando se trata el metal en las siderúrgicas, le proporciona a la mezcla un comportamiento puzolánico por ende se puede observar que proporciona un mejor comportamiento frente a la resistencia de cargas que una mezcla convencional.

- Una desventaja de la calamina es la falta de adherencia a la emulsión asfáltica debido a que es un fino polvo y con característica de ser un material muy poroso y de forma regular como se puede observar en la relación de vacíos de VAF (Vacíos llenos de asfalto).
- Con la anterior conclusión podemos observar que al tener un VAF alto el material como se había mencionada tiene más capacidad de soportar cargas, pero esta mezcla sufre más de fracturas.
- Como se analizó la mezcla MDC 25 con un porcentaje de calamina del 3% cumple con los requerimientos mínimos propuesto por INVÍAS especificaciones 450-10 donde se determina los valores mínimos para ser considerada como una mezcla de alto modulado.

RECOMENDACIONES.

- Se debe realizar el diseño con varios porcentajes ya sea de cemento asfáltico como la cantidad de agregados a investigar, para que el diseño tenga un cumplimiento óptimo.
- Se tener en cuenta una cantidad mínima de 4 dosificaciones para determinar las cantidades óptimas debido a que si llega a sobre dosificar este pierde las propiedades mecánicas necesarias para el cumplimiento de las normas por ende es recomendable dar varios porcentajes para lograr un diseño óptimo de cualquier tipo de mezcla a investigar.
- Se recomienda realizar los ensayos a temperatura ambiente, para no alterar los resultados por las propiedades físicas de la cascarilla de laminación.
- Es recomendable utilizar este tipo de mezcla con calamina para uso en vías con un tránsito alto dado que la característica cumple con el requisito para ser utilizado en pavimento de alto modulado.
- La escoria no solo se puede utilizar añadiéndola en la mezcla, sino que esta puede ser utilizada como mejoramiento de bases en carreteras con un tránsito de NT1, se recomienda realizar un estudio aparte para observar los resultados como una posible implementación.
- Es recomendable el uso de la calamina en regiones con climas que su temperatura no sea superior a 40°C debido a que la calamina no tiene adherencia con la emulsión asfáltica.
- Puesto que los ensayos de cántabro no son favorables para la investigación se propone realizar ensayos complementarios como adhesividad de los ligante bituminoso y los agregados finos modificados I.N.V E 774-13, ensayo de concentración crítica de llenantes I.V.V E 745-13 y granulometría por hidrómetro.

BIBLIOGRAFIA.

1. **TORRES, J.** El nacional. [En línea] 24 de Febrero de 2015. [Citado el: 18 de Marzo de 2018.] elnacional.com.do/la-importancia-vial/.
2. **VIDMETAL, Oxidacion.** Linea COR. [En línea] [Citado el: 18 de Marzo de 2018.] <http://www.lineacor.com/cas/productos/documentos/info/OXID%20La%20Calamina.pdf>.
3. **KWABENA APPIAH, Johnson.** ScienceDirect. [En línea] Elsevier, 10 de Octubre de 2016. [Citado el: 31 de Marzo de 2018.] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509516300614>.
4. **DALHAT, MA y WAHHAB, Al Abdul.** Taylor & Francis Online. [En línea] International Journal Of Pavement Engineering, 28 de Septiembre de 2015. [Citado el: 2018 de Marzo de 31.] <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10298436.2015.1088150?journalCode=gpav20>.
5. **SANCHEZ S., et al.** *Pavimentos Asfálticos de Carreteras guía practica para los estudios y diseños.* Bogotá : Escuela Colombiana de ingeniería, 2016.
7. Federal Highway Administration. [En línea] U.S Department of transportation, 8 de Abril de 1999. [Citado el: 2018 de Abril de 1 .] <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/cfr06261.cfm>.
8. **GLENN Rowe.** AASHTO. [En línea] AASHTO, 2017. [Citado el: 1 de Abril de 2018.] <https://traffic.transportation.org/technical-teams/>.
9. **AASHTO.** [En línea] 28 de Septiembre de 2017. [Citado el: 1 de Abril de 2018.] <https://www.transportation.org/home/organization>.
10. **ASTM INTERNATIONAL.** [En línea] ASTM. [Citado el: 1 de Abril de 2018.] https://www.astm.org/ABOUT/full_overview.html.
11. **RONDON, Hugo y REYES LIZCANO, Fredy .** *Pavimentos: Materiales, Construcción y Diseño.* Bogotá : ECOE, 2015.
12. **IDRD.** [En línea] IDR. [Citado el: 26 de Marzo de 2018.] https://www.idrd.gov.co/especificaciones/index.php?option=com_content&view=article&id=2519&Itemid=1906.
13. **IDRD.** [En línea] IDR. [Citado el: 26 de Marzo de 2018.] https://www.idrd.gov.co/especificaciones/index.php?option=com_content&view=article&id=2212&Itemid=1905.
14. **IDRD.** [En línea] IDR. [Citado el: 26 de Marzo de 2018.] https://www.idrd.gov.co/especificaciones/index.php?option=com_content&view=article&id=2211&Itemid=1904.
15. Compañía de trabajos urbano s.a. [En línea] Compañía de trabajos urbano s.a. [Citado el: 26 de Marzo de 2018.] <http://ctu.com.co/mezclas-tipo-invias-mdc-25>.
16. **CONSTRUAPRENDE.** [En línea] CONSTRUAPRENDE, 2013. [Citado el: 26 de Marzo de 2018.] http://construaprendiendo.blogspot.com.co/2015/09/caracteristicas-de-la-mezcla-asfaltica_29.html.

17. **FERNANDEZ, C.** Patologiasconstruccion. [En línea] [Citado el: 27 de Marzo de 2018.] <https://www.patologiasconstruccion.net/2016/02/calamina-acero/>>.
18. **Instituto Nacional de Vías.** Resolución 000803. Bogotá : INVIAS, 2005. 000803.
19. **Ministerio de transporte.** Resolución 000743. Bogota : Ministerio de transporte, 2009. 000743.
20. **Instituto Nacional de Vías.** Resolución 2857. Bogotá : INVIAS, 1999. 2857.
21. —. **Resolución 0003482.** Bogotá : INVIAS, 2007. 0003482.
22. —. **Resolución 04071.** Bogotá : INVIAS, 2017. 04071.
23. **Pérez, F. Y Miro, R.** Univerisdad Politécnica de Cataluña . [En línea] 2002. [Citado el: 22 de Marzo de 2018.] https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/2853/miro_carreteras_6.pdf.
24. **Educación Tecnológica.** [En línea] [Citado el: 16 de Octubre de 2018.] http://contenidosdigitales.ulp.edu.ar/exe/educaciontecnologia/propiedades_mecnicas.html.
25. **El nacional.** [En línea] [Citado el: 18 de Marzo de 2018.] <http://elnacional.com.do/la-importancia-vial/>>.
26. **Línea Cor. Línea Cor.** [En línea] [Citado el: 18 de Marzo de 2018.] <http://www.lineacor.com/cas/productos/documentos/info/OXID%20La%20Calamina.pdf>.
27. **Esguerra, A. y Vanegas, O.** Univerisdad del Valle. [En línea] 2009. [Citado el: 22 de Marzo de 2018.] <http://www.rlmm.org/archives.php?f=/archivos/S01/N3/RLMMArt-09S01N3-p1289.pdf>.
28. **Maila, M.** Univerisdad central de Quito. [En línea] 2013. [Citado el: 22 de Octubre de 2018.] <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/742/1/T-UCE-0011-31.pdf>.
29. **Sánchez, F. y Campagnoli, X.** *Pavimentos asfálticos de carreteras. Guía práctica para los estudios y diseños.* Bogotá : Escuela Colombiana de Ingeniería, 2016.
30. **FHA.** [En línea] [Citado el: 01 de Abril de 2018.] <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/cfr06261.cfm>.
31. **Instituto Nacional de Vías. INVÍAS.** [En línea] [Citado el: 24 de Abril de 2018.] <https://www.Invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/objetivos-y-funciones>.
32. **WIKIVIA. WIKIVIA.** [En línea] [Citado el: 25 de Abril de 2018.] http://www.wikivia.org/wikivia/index.php/Clasificaci%C3%B3n_AASHTO.
33. **Construaprende. Construaprende.** [En línea] [Citado el: 26 de Marzo de 2018.] http://construaprendiendo.blogspot.com.co/2015/09/caracteristicas-de-la-mezcla-asfáltica_29.html>.
34. **Forigua, J. y Pedraza, E.** Univerisdad Católica de Colombia. [En línea] 2014. <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2575/1/Diseño-mezclas-asfálticas-modificadas-adición-desperdicios-plásticos.pdf>.

35. **TDM Colombia.** [En línea] [Citado el: 24 de Abril de 2018.] <http://www.tdmcolombia.co/soluciones-pavimentacion-mezclas-asfalticas-modificadas.php>.
36. **Patologías construcción.** [En línea] [Citado el: 27 de Marzo de 2018.] <https://www.patologiasconstruccion.net/2016/02/calamina-acero/>.
37. **Ordoñez, K. y Villanueva, L.** Universidad de San Buenaventura. [En línea] 2012. http://bibliotecadigital.usb.edu.co:8080/bitstream/10819/1597/1/Elaboración%20de%20bloques%20de%20mortero_Kelly%20Johanna%20Ordoñez%20Mejía_USBC_TG_2012.pdf.
38. **Propiedades de la calamina.** [En línea] http://www.xtec.cat/~gjimene2/llicencia/students/bscw.gmd.de_bscw_bscw.cgi_d40324826-2_____PROPIEDADES.html.
39. **Rincón, J. y Sabrina, Y.** Univerisdad distrital Fransico José de Caldas. [En línea] 2017. [Citado el: 22 de Octubre de 2018.] <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/5384/1/MODIFICACIÓN%20DEL%20CONCRETO%20ASFÁLTICO%20%28MDC-19%29%20CON%20LA%20SUSTITUCIÓN%20DEL%20LLENANTE%20MINERAL%20POR%20CALAMINA%20Y%20LA%20INCORPORACIÓN%20DEL%20ADITIVO%20HUSIL.pdf>.
40. **Amézquita, J. y Gantiva, C.** Univerisdad distrital Francisco José de Caldas. [En línea] Febrero de 2017. <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/5381/1/AmezquitaAndradeJesusDavid2017.pdf>.
41. **Rogriguez, K.** Pontificia univerisdad Javeriana. [En línea] 2005. [Citado el: 22 de Octubre de 2018.] <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/7017>.
42. **Rojas, L. y Ortiz, J.** Univerisdad Católica de Colombia. [En línea] 02 de Mayo de 2018. <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/16518/1/CARACTERIZACION%20DEL%20MAPIA%20Y%20MAPIA%20CON%20ADICION%20DE%20CAL%20AL%205%25.pdf>.
43. **Rojas, L., y Restrepo, S.** Univerisdad EAFIT. [En línea] 2016. https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/12229/RojasHenao_LinaMariana_SierraRestrepo_Simon_2016.pdf?sequence=2.
44. **Lizarazo, L., Muñoz, F.** Universidad distrital Francisco José de Caldas. [En línea] 2017. <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/8317/7/MuñozYessicaArciniegasEimmy2017.pdf>.
45. **Matín, A y Perez, F.** *Eliminación de Metales de Efluentes Líquidos.* Madrid : s.n., 2004.
46. **Argos.** Esfuerzos Térmicos En Pavimentos De Concreto. [En línea] 2013. [Citado el: 22 de Abril de 2018.] <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/esfuerzos-termicos-en-pavimentos-de-concreto>.

47. **León, F. y Martínez, C.** ResearchGate. [En línea] 2009. [Citado el: 20 de Abril de 2018.] https://www.researchgate.net/publication/277070286_Analisis_cualitativo_del_flujo_de_agua_de_infiltracion_para_el_control_del_drenaje_de_una_estructura_de_pavimento_flexible_en_la_ciudad_de_Bogota_DC.
48. **ASPALHT INSTITUTE.** Manual Básico de Emulsiones Asfálticas. [En línea] 2001. [Citado el: 25 de Mayo de 2018.] <https://drive.google.com/file/d/0B0G-9shtdrCUN09MM29rb2M1VVk/edit>.
49. **Garrote, E.** El ensayo de tracción indirecta. [En línea] [Citado el: 25 de Mayo de 2018.] <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3324/55872-9.pdf?sequence=9&isAllowed=y>.
50. **INVÍAS.** Coursehero. [En línea] 2007. [Citado el: 26 de Mayo de 2018.] <https://www.coursehero.com/file/29404560/Norma-INV-E-748-07pdf/>.
51. **Paucar, M.** Universidad Central del Ecuador. [En línea] 2013. [Citado el: 17 de Noviembre de 2018.] <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/742/1/T-UC-0011-31.pdf>.
52. **Dalla, P.** The University of Nottingham. [En línea] June de 2015. [Citado el: 18 de Noviembre de 2018.] http://eprints.nottingham.ac.uk/28999/1/Thesis%20report_final%20issue.pdf.
53. **Rodriguez, K.** Pontificia Universidad Javeriana. [En línea] 2005. [Citado el: 17 de Noviembre de 2018.] <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/7017>.
54. **Arabzadeh, Ali y Güler, Murat. ReseachGate.** [En línea] 2015. [Citado el: 18 de Noviembre de 2018.] https://www.researchgate.net/publication/265165101_Influence_of_Mixture_Design_Variables_on_Thermal_Coefficient_of_Asphalt_Concrete.
55. **Davidson, J.** Georgia Tech. [En línea] Agosto de 1932. [Citado el: 18 de Noviembre de 2018.] <https://smartech.gatech.edu/handle/1853/36220>.
56. **Tenaris Tubocaribes S.A. TuboCaribes.** [En línea] Septiembre de 2011. [Citado el: 04 de Junio de 2018.] http://bibliotecadigital.usb.edu.co:8080/bitstream/10819/1597/1/Elaboración%20de%20bloques%20de%20mortero_Kelly%20Johanna%20Ordoñez%20Mejía_USBC_TG_2012.pdf.
57. **Sánchez, H.** Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia . [En línea] 04 de Julio de 2014. [Citado el: 17 de Noviembre de 2018.] <http://www.ustatunja.edu.co/cong-civil/images/Articulos/-ESTADO%20DEL%20ARTE%20SOBRE%20LAS%20ESCORIAS%20NEGRAS%20DE%20HORNO%20DE%20ARCO%20ELECTRICO%20Y%20SUS%20APLICACIONES%20EN%20PAVIMENTOS.pdf>.
58. Reyes, Oscar y Camacho, Javier. Universidad Militar Nueva Granada. [En línea] 2003. [Citado el: 17 de Noviembrer de 2018.] <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rcin/article/view/1322>.
59. **Parra, L., Sánchez, D.** Universidad de la Salle. [En línea] 2010. [Citado el: 17 de Noviembre de 2018.] <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/15030/T41.10%20P247a.pdf?sequence=1>.

60. **González, A.** Universidad Politécnica Salesiana. [En línea] Noviembre de 2008. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/145>.
61. **Zhang, H.** Petroleum Science and Technology. [En línea] 2015. [Citado el: 17 de Noviembre de 2018.] https://www.researchgate.net/publication/282513300_Effect_of_Nano-zinc_Oxide_on_the_Morphology_and_Ultraviolet_Aging_Properties_of_Various_Bitumens.
62. **Moghadas, F.** ScienceDirect. [En línea] Junio de 2012. [Citado el: 17 de Noviembre de 2018.] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095006181200027X>.

ANEXOS.

Anexo A: Porcentaje de Caras Fracturadas MDC-25.

A continuación, se representa los ensayos preliminares para la caracterización de una mezcla densa en caliente.

	ENSAYO AGREGADOS PETREOS PORCENTAJE CARAS FRACTURADAS NORMA INV E-227
--	--

Descripción COMBINACION AGREGADOS Fecha de muestra MARZO DE 2018
 Fuente CONCRESCOL Fecha de ensayo MARZO DE 2018

COMBINACION AGREGADO GRUESO 3/4"

Tamices		Peso Material	Peso Partículas	% Partículas	% Retenido	Caras
Pasa	Retiene	fracción (A).	fracturadas (B).	fracturadas (C).	original (D).	Fracturadas E=(C*D).
1 1/2"	1"					
1"	3/4"	1140,0	1020,0	89,5	47,7	4268
3/4"	1/2"	1174,0	1075,0	91,6	50,4	4615
1/2"	3/8"	0,0	0,0	0,0	0,0	0
TOTALES :				181,0	98,1	8883
TOTAL PONDERADO =						91%

COMBINACION AGREGADO GRUESO 1/2"

Tamices		Peso Material	Peso Partículas	% Partículas	% Material	Caras
Pasa	Retiene	fracción A.	fracturadas B.	fracturadas C.	retenido D.	Fracturadas E=C*D.
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	1239,0	1161,0	93,7	7,5	702,8
1/2"	3/8"	374,0	299,0	79,9	19,4	1551,0
TOTALES :				173,7	26,9	2253,7
TOTAL PONDERADO =						84%

Observaciones : Ensayos correspondientes a las muestras entregadas en el laboratorio.

EJECUTO

PINZ LAB
 LABORATORIOS - ING. CIVIL
 IT 18 214.315-3

REVISO

Fuente: CONCRESCOL.

Anexo B: Ensayo de Agregados Pétreos y Equivalente de Arena.

	ENSAYO DE AGREGADOS PETREOS EQUIVALENTE DE ARENA NORMA INV E-133
--	--

TIPO DE MATERIAL AGREGADOS FINOS FECHA DE MUESTREO MARZO DE 2018
 PROCEDENCIA DEL MATERIAL _____ FECHA DE ENSAYO MARZO DE 2018

ARENA NATURAL			
PRUEBA No.	No. 1	No. 2	No. 3
LECTURA DE ARCILLA (A)	4	4,1	4,2
LECTURA DE ARENA (B)	3,6	3,8	3,9
EQUIVALENTE DE ARENA (B/A%)	90	93	93
	PROMEDIO (%)		92

ARENA TRITURACION			
PRUEBA No.	No. 1	No. 2	No. 3
LECTURA DE ARCILLA (A)	4,2	4,2	4
LECTURA DE ARENA (B)	3,5	3,4	3,3
EQUIVALENTE DE ARENA (B/A%)	83	81	83
	PROMEDIO (%)		82

COMBINACION AGREGADOS FINOS			
PRUEBA No.	No. 1	No. 2	No. 3
LECTURA DE ARCILLA (A)	4,2	4,3	4,1
LECTURA DE ARENA (B)	3,7	3,8	3,5
EQUIVALENTE DE ARENA (B/A%)	88	88	85
	PROMEDIO (%)		87

Observaciones : Ensayos correspondientes a las muestras entregadas en el laboratorio.

EJECUTO:

PINZ LAB
 L. TORIOS - ING. CIVIL
 T. 19 214.315-3

 REVISO

Fuente: CONCRESCOL.

Anexo C: Índice de Aplanamiento Y Alargamiento.

	ENSAYO AGREGADOS PETREOS INDICE DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO NORMA INV E-230
--	---

Descripción AGREGADO GRUESO Fecha de muestra MARZO DE 2018
 Fuente CONCRESCOL Fecha de ensayo MARZO DE 2018

INDICE DE APLANAMIENTO

Tamices		Peso Material	Peso Particulas	% Particulas	% Retenido	Particulas
Pasa	Retiene	Inicial (A).	Aplanadas (B).	Aplanadas (C).	original (D)	Aplanadas E=(C*D).
1 1/2"	1"					
1"	3/4"	1140,0	123,0	10,8	12,5	133
3/4"	1/2"	1174,0	135,0	11,5	17,2	198
1/2"	3/8"	0,0	45,0	0,0	8,0	0
TOTALES :				22,3	37,5	330
TOTAL PONDERADO =						9%

INDICE DE ALARGAMIENTO

Tamices		Peso Material	Peso Particulas	% Particulas	% Retenido	Particulas
Pasa	Retiene	Inicial (A).	Alargadas (B).	Alargadas (C).	original (D).	Alargadas E=C*D.
1 1/2"	1"					
1"	3/4"	1140,0	108,0	9,5	9,6	90,9
3/4"	1/2"	1174,0	112,0	9,5	9,6	91,6
1/2"	3/8"	0,0	42,0	0,0	13,6	0,0
TOTALES :				19,0	32,8	182,5
TOTAL PONDERADO =						6%

Observaciones : Ensayos correspondientes a las muestras entregadas en el laboratorio.

PINZ L 3
 LABORATORIOS - ING. CIVIL
 KIT. 19 214.315-3

EJECUTO

REVISO

Fuente: CONCRESCOL.

Anexo D: Granulometría de Agregados Pétreos.

GRANULOMETRIA DE AGREGADOS PETREOS INVIAS-
E- 213-214

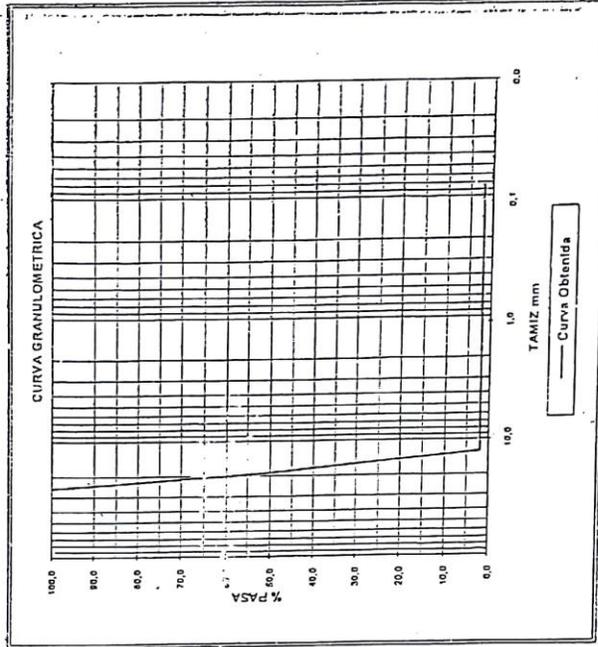
TIPO DE MATERIAL: GRAVA 3/4 CONCRESCOL
 PROCEDENCIA DEL MATERIAL: CONCRESCOL
 Fecha de muestra: MARZO DE 2018
 Fecha de ensayn: MARZO DE 2018

Peso Total de la Muestra (g)	620,0
Peso Unitario Suello (g/cm ³)	1,460
Peso Especifico SSS (g/cm ³)	2,66
Pasa Tamiz #200 - Lavado (%)	1,9
Cont. de Materia Organica	N/A
Solidez - Sulfato de Sodio (%)	5,56
Equivalente de Arena (%)	N/A
(N/A) No aplica	

ANALISIS GRANULOMETRICO

PESO INICIAL (g): 620,0

ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
25.400	0,0	0,0	0,0	100,0
19.100	295,0	47,7	47,7	52,3
12.700	312,2	50,4	98,1	1,9
5.520	0,0	0,0	98,1	1,9
4.750	0,0	0,0	98,1	1,9
2.000	0,0	0,0	98,1	1,9
0.420	0,0	0,0	98,1	1,9
0.177	0,0	0,0	98,1	1,9
0.074	0,0	0,0	98,1	1,9
FONDO	12,0	1,9	100,0	0,0



PINZ LAB
 LABORATORIOS - ING. CIVIL
 NIT 19 214.315-3
 REVISO: _____

EJECUTO: _____

Fuente: CONCRESCOL.

Anexo E: Granulometría Agregados Pétreos Ensayo 213.

	GRANULOMETRIA DE AGREGADOS PETREOS INVIAS- E- 213
--	--

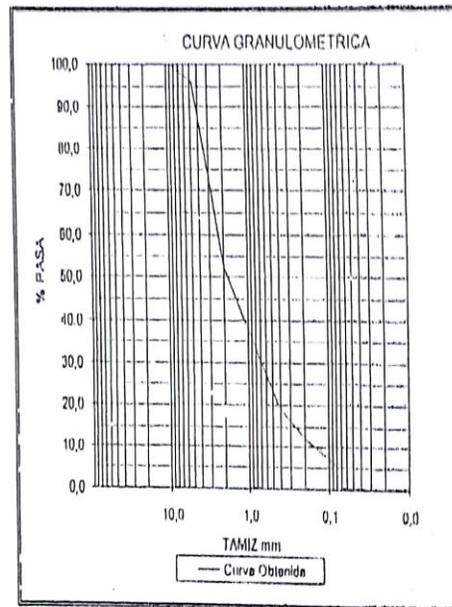
MATERIAL: ARENA TRITURACION Fecha de muestra: MARZO DE 2019
 PROCEDENCIA DEL MATERIAL: CONCRESCOL Fecha de ensayo: MARZO DE 2019

Peso Total de la Muestra (g)	720,4
Peso Unitario Suelto (g/cm ³)	1,473
Peso Especifico Aparente (g/cm ³)	2,56
Cont. de Material Organico	1
Solidez - Sulfato de Sodio (%)	11,90
Equivalente de Arena (%)	82%

ANALISIS GRANULOMETRICO

PESO INICIAL (g): 720,4

ABERTURA		PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
(mm)	(Pulg)				
25,400	1	0,0	0,0	0,0	100,0
19,100	3/4	0,0	0,0	0,0	100,0
12,700	1/2	0,0	0,0	0,0	100,0
9,520	3/8	0,0	0,0	0,0	100,0
4,760	No.4	20,1	3,9	3,9	96,1
2,000	No.10	315,0	43,7	47,6	52,4
0,420	No.40	235,4	32,7	80,3	19,7
0,177	No.80	60,7	8,4	88,7	11,3
0,074	No.200	46,1	6,4	95,1	4,9
FONDO	..	35,1	4,9	100,0	0,0



EJECUTO: _____

PINZ LAB
 LABORATORIOS - ING. CIVIL
 NIT 19 214.315-3

Fuente: CONCRESCOL.

Anexo F: Ensayo de Granulometría Ensayo 214.

GRANULOMETRIA DE AGREGADOS PETREOS INVIAS[®]
E- 213-214

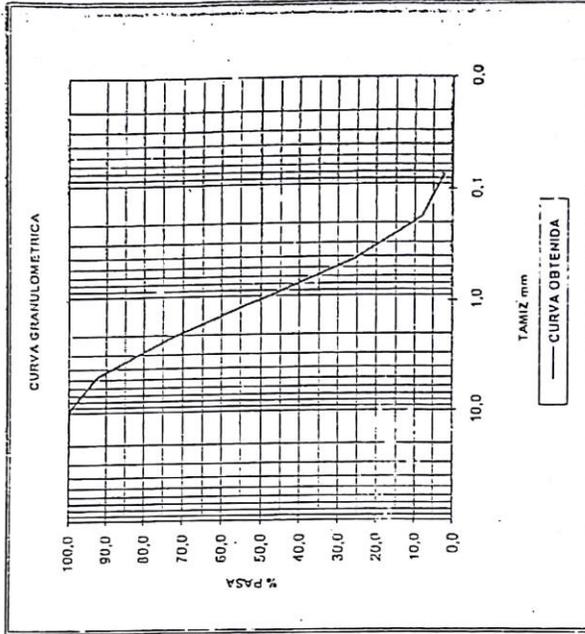
TIPO DE MATERIAL: ARENA NATURAL
 PROCEDENCIA DEL MATERIAL: CONCRESCOL
 Fecha de muestra: MARZO DE 2018
 Fecha de ensayo: MARZO DE 2018

Peso Total de la Muestra (g)	488,0
Peso Unitario Suelto (g/cm ³)	1,473
Peso Especifico Aparente (g/cm ³)	2,59
Pasa Tamiz #200 - Lavado (%)	2,0
Cont. de Materia Organica	1
Solidez - Sulfato de Sodio (%)	11,90
Equivalente de Arena (%)	92,0
(N/A) No aplica	

ANALISIS GRANULOMETRICO

PESO INICIAL (g): 487,0

ABERTURA (mm)	(P _u)g	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
25.400	1	0,0	0,0	0,0	100,0
19.100	3/4	0,0	0,0	0,0	100,0
12.700	1/2	0,0	0,0	0,0	100,0
9.520	3/8	2,7	0,6	0,6	99,4
4.760	No.4	34,6	7,1	7,6	92,4
2.000	No.10	102,1	20,9	28,5	71,4
0.420	No.40	224,1	45,9	74,5	25,5
0.177	No.80	85,7	17,6	92,1	7,9
0.074	No.200	20,9	5,9	98,0	2,0
FONDO	--	9,7	2,0	100,0	0,0



PINZ LAB
 LABORATORIOS - ING. CIVIL
 NIT 19.214.315-3
 REVISO: _____

EJECUTO: _____

Fuente: CONCRESCOL.

Anexo G: Densidad y Absorción de Agregados Gruesos.

	ENSAYO AGREGADOS PETREOS DENSIDAD Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO NORMA INV E-223
--	--

Descripción GRAVA TRITURADA 3/4 " Y 1/2"

Fecha de muestra: MARZO DE 2018

Fuente CONCRESCOL

Fecha de ensayo: MARZO DE 2018

	Tipo de muestra	Triturado 3/4	Triturado 1/2	Promedio
1	Masa de material sss	980	1020	
2	Masa de material sumergido en agua	615	639	
3	Masa de material seco	970	1010	

4	Agua absorbida	10	10	
5	Volumen muestra saturada	365	381	
6	Volumen de sólidos	355	371	
7	Peso específico aparente seca (g/cm ³)	2,66	2,65	2,65
8	Peso específico sss (g/cm ³)	2,68	2,68	2,68
9	Peso específico nominal (g/cm ³)	2,73	2,72	2,73
10	Absorción	1,03	0,99	1,01

Observaciones: Ensayos correspondientes a las muestras entregadas en el laboratorio.

PINZ LAB
 LABORATORIOS - ING. CIVIL
 NIT 13 214.315-3

EJECUTO

REVISO

Fuente: CONCRESCOL.

Anexo H: Ensayo de Azul de Metileno.

<p>ENSAYO DE AGREGADOS PETREOS FINOS AZUL DE METILENO NORMA UNE-EN-933-9</p>	
--	--

TIPO DE MATERIAL	COMBINACION AGREGADOS FINOS	FECHA DE MUESTREO
PROCEDENCIA DEL MATERIAL	CONCRESCOL	MARZO DE 2018
		FECHA DE ENSAYO
		MARZO DE 2018

COMBINACION AGREGADOS FINOS (Mezclas INVIAS)		
PRUEBA No.	No. 1	No. 2
Peso de azul de metileno (g)	6,8	No. 3
Peso suelo seco (g)	230,1	
Indice de azul de metileno (%)	3,40	
		PROMEDIO (%)
		3,4

COMBINACION AGREGADOS FINOS (Mezclas IDU)		
PRUEBA No.	No. 1	No. 2
Peso de azul de metileno (g)	7,2	No. 3
Peso suelo seco (g)	199,8	
Indice de azul de metileno (%)	3,60	
		PROMEDIO (%)
		3,6

OBSERVACIONES: Ensayos correspondientes a las muestras entregadas en el laboratorio.
Especificación del 8% máximo.

PINZ LAB
LABORATORIOS - ING. CIVIL
CALLE 19 214.315-3

Fuente: CONCRESCOL.

Anexo I: Ensayo Abrasión Microdeval.

	ENSAYO DE AGREGADOS PETREOS ABRASION EN LA MAQUINA MICRODEVAL NORMA INV E-238
--	--

Descripción: AGREGADOS FINOS Fecha de muestra: MARZO DE 2018
 Fuente: CONCRESCOL Fecha de ensayo: MARZO DE 2018

Tipo de Agregado	TM 1/2"	TM 3/4"
Muestra No.	1	2
Masa de esferas	5	5
Tiempo de saturación (Horas)	11	11
No. de revoluciones	500	500
Pa= Peso muestra seca inicial	4004,0	5002,0
Pc= Peso muestra seca final	3824,0	3808,0
Pérdida= Pa-Pc	1180,0	1194,0
% Desgaste (Pa-Pc)/Pa	23,6	23,9
Especificación (% Máximo)	30	31

DATOS SOBRE GRADACION, CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES

Tamices		Masa y granulometría de la muestra		
Pasa	Retiene	1	2	3
3/4"	5/8"	375		
5/8"	1/2"	375		
1/2"	3/8"	750	750	
3/8"	1/4"		375	750
1/4"	No. 4		375	750
Peso de esferas (g)		5000+/-5	5000+/- 5	5000+/-5
No. de revoluciones / min.		100 +/- 5	100 +/- 5	100 +/- 5
Tiempo de ensayo (min)		120	105	95

Observaciones: Ensayos correspondientes a las muestras entregadas en el laboratorio.

EJECUTO

PINZ LAB
 LABORATORIOS - ING. CIVIL
 T 19 214.315-3

REVISO

Fuente: CONCRESCOL.

Anexo J: Densidad y Absorción de Agregado Fino.

	ENSAYO AGREGADOS PETREOS DENSIDAD Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO NORMA INV E-222
--	---

Descripción: ARENA TRITURADA
Fuente: MELGAR

Fecha de muestra: MARZO DE 2018
Fecha de ensayo: MARZO DE 2018

	Tipo de muestra	ARENA TRITURACION	ARENA NATURAL	Promedio
1	Temperatura del ensayo	21	21	
2	Masa de material sss	500	500	
3	Masa frasco volumetrico + agua	627,1	627,1	
4	Masa frasco volumetrico + material + agua	936,4	937,5	
5	Masa de material seco	489,0	491,0	

6	Volumen de solidos	179,7	180,6	
7	Volumen muestra saturada	190,7	189,5	
8	Peso especifico aparente seca (g/cm ³)	2,56	2,59	2,58
9	Peso especifico sss (g/cm ³)	2,62	2,64	2,63
10	Peso especifico nominal (g/cm ³)	2,72	2,72	2,72
11	Absorción	2,25	1,83	2,04

Observaciones: Ensayos correspondientes a las muestras entregadas en el laboratorio.

PINZ LAB
LABORATORIOS - ING. CIVIL
RIT 19 214.315-3

EJECUTO

RÉVISO

Fuente: CONCRESCOL.

Anexo K: Abrasión en Máquina de los Ángeles.

	ENSAYO DE AGREGADOS PETREOS ABRACION EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES NORMA INV E-218 y 219.
--	--

Descripción: AGREGADOS FINOS Fecha de muestra: MARZO DE 2018
 Fuente: CONCRESCOL Fecha de ensayo: MARZO DE 2018

Tipo de Agregado	TM 1/2"	TM 1/2"	TM 1/2"	TM 3/4"	TM 3/4"	TM 3/4"
Muestra No.	1	2	3	4	5	6
Gradación usada	B	B	B	B	B	B
No. de esferas	11	11	11	11	11	11
No. de revoluciones	500	500	100	500	500	100
Pa= Peso muestra seca inicial	5004,0	5003,0	5001,0	4999,0	5001,0	5003,0
Pb= Peso muestra seca final	3817,0	3116,0	4804,0	3892,0	3451,0	4856,0
Pérdida= Pa-Pb	1187,0	1887,0	197,0	1107,0	1550,0	147,0
% Desgaste (Pa-Pb)/Pa	23,7	37,7	3,9	22,1	31,0	2,9
Especificación (% Máximo)	30	50	6	30	50	6
Relación Humedo / Seco (Máximo)	1,59			1,40		
Cumple con la Especificación	CUMPLE			CUMPLE		

** TM = Tamaño Máximo.
 Muestra No. 1 Y 4 (500 REVOLUCIONES EN SECO)
 Muestra No. 2 Y 5 (500 REVOLUCIONES - SATURACION 48 HORAS)
 Muestra No. 3 Y 6 (100 REVOLUCIONES EN SECO)

DATOS SOBRE GRADACION, CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES

Tamices		Masa y granulometría de la muestra						
Pasa	Retiene	A	B	C	D	E	F	G
3"	2 1/2"					2500		
2 1/2"	2"					2500		
2"	1 1/2"					5000	5000	
1 1/2"	1"	1250					5000	5000
1"	3/4"	1250						5000
3/4"	1/2"	1250	2500					
1/2"	3/8"	1250	2500					
3/8"	No. 3			2500				
No. 3	No. 4			2500				
No. 4	No. 8				5000			
No. de esferas		12	11	8	6	12	12	12
No. de revoluciones		500	500	500	500	1000	1000	1000

Observaciones: Ensayos correspondientes a las muestras entregadas en el laboratorio.

PINZ
 LABORATORIOS - ING. CIVIL
 TEL. 19 214.315-3

EJECUTO

REVISO

Fuente: CONCRESCOL.

GRANULOMETRIA DE AGREGADOS PETREOS INVIAS- E- 213-214

Fecha de muestra: MARZO DE 2018
Fecha de ensayo: MARZO DE 2018

TIPO DE MATERIAL: TRITURADO 1/2"
PROCEDENCIA DEL MATERIAL: CONCRESCOL

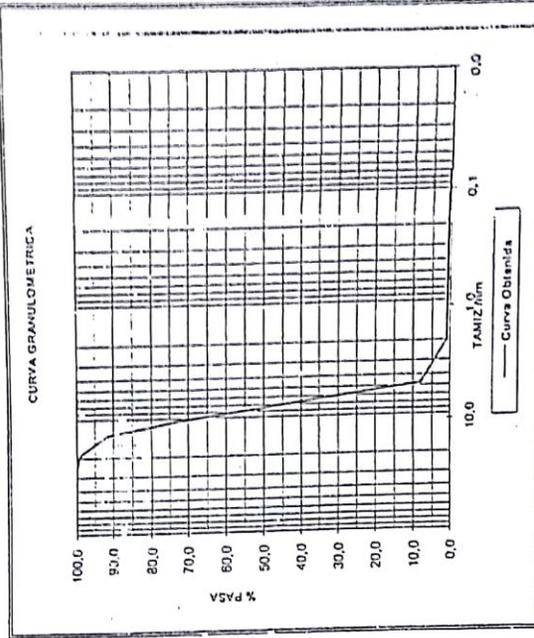
Peso Total de la Muestra (g)	1150,0
Peso Unitario Suelto (g/cm ³)	1,432
Peso Especifico SSS (g/cm ³)	2,68
Pasa Tamiz #200 - Lavado (%)	0,4
Cont. de Materia Organica	N.A
Solidiez - Sulfato de Sodio (%)	9,55
Equivalente de Arena (%)	N.A

(N.A) No aplica

ANALISIS GRANULOMETRICO

PESO TRICIAL (g): 1150,2

ABERTURA (mm)	(Pulg)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO AJUSTADO	% PASA
25,400	1	0,0	0,0	0,0	100,0
19,100	3/4	11,0	1,0	1,0	99,0
12,700	1/2	86,4	7,5	8,5	91,5
9,520	3/8	223,5	19,4	27,9	72,1
4,760	No. 4	737,1	64,1	92,0	8,0
2,000	No. 10	80,9	7,0	99,0	1,0
0,420	No. 40	2,1	0,2	99,2	0,8
0,177	No. 80	1,0	0,1	99,3	0,7
0,074	No. 200	3,4	0,3	99,6	0,4
FONDO	..	4,8	0,4	100,0	0,0



PINZ LAB
LABORATORIOS - ING. CIVIL
NIT 19.214.315-3

EJECUTO: _____

REVISO: _____

Fuente: CONCRESCOL.

Anexo L: Formato Practica de 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 01
--	--	-----------------

NOMBRE DE LA ASIGNATURA/PROYECTO DE INVESTIGACIÓN/SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN/TRABAJO DE GRADO QUE SUSTENTA LA SOLICITUD DE TIEMPO DE LABORATORIO: *Caracterización de mezcla densa en caliente modificada con calamina*

IDENTIFICACION DE LOS SOLICITANTES DE TIEMPO DE LABORATORIO:			
CODIGO	NOMBRES Y APELLIDOS	E-MAIL @ucatolica.edu.co	TELÉFONO
504924	<i>Carmelo Andres Ortiz Hurtado</i>	<i>Caortiz934@ucatolica.edu.co</i>	<i>3112448846</i>
504723	<i>Pedro Alejandro Prieto Bautista</i>	<i>paprieto236@ucatolica.edu.co</i>	<i>3101543486</i>

PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDAD(ES) POR TIEMPO DE LABORATORIO SOLICITADO:					
ID	FECHA dd/mm/AA	HORA INICIO HH:MM	HORA FIN HH:MM	ESPACIO DE TRABAJO SOLICITADO ¹	ENSAYO(S) A REALIZAR O DESCRIPCIÓN DE LA(S) ACTIVIDAD(ES) A DESARROLLAR EN EL TIEMPO DE LABORATORIO SOLICITADO:
1	<i>23/10/2018</i>	<i>15:00</i>	<i>17:00</i>	<i>practica Lab. Pav.</i>	<i>Tracción indirecta y Cantabro</i>
2	<i>24/10/2018</i>	<i>15:00</i>	<i>17:00</i>	<i>practica base pav.</i>	<i>Tracción indirecta y cantabro</i>
3	<i>25/10/2018</i>	<i>15:00</i>	<i>17:00</i>	<i>Operacionales</i>	
4	<i>27/10/2018</i>	<i>13:00</i>	<i>15:00</i>		
5					

ID	RESULTADOS ESPERADOS POR ACTIVIDAD(ES) EJECUTADA(S)
1	<i>Determinar la cantidad de resistencia de la mezcla por medio de tracción indirecta y por maguacha los Ang.</i>
2	
3	
4	
5	

MATERIALES/INSUMOS A USAR	CANT	UND	A CARGO:		EQUIPO / HERRAMIENTA A USAR
			LAB	USU	
<i>Probetas de (M.P.C-2.5)</i>	<i>4</i>				<i>Marshall y Máquina de los Ang.</i>

GUIA DE LABORATORIO / METODOLOGIA:	OBSERVACIONES/SUGERENCIAS

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).

SOLICITANTES:

Carmelo Andres Ortiz
Alejandro Prieto P. Bautista

APROBACIÓN E INFORMACIÓN:

[Signature] *Javier Garcia Guerrero*
[Signature] *[Signature]*

¹ A) Mecánica de suelos. B) Concretos. C) Mecánica de sólidos. D) Análisis de agua. E) Hidráulica F) Estructuras.

Fuente: Autor.

NOMBRE DE LA ASIGNATURA/PROYECTO DE INVESTIGACIÓN/SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN/TRABAJO DE GRADO QUE SUSTENTA LA SOLICITUD DE TIEMPO DE LABORATORIO:
Caracterización de mezcla densa en caliente (MPC-25) con adición de calamina.

IDENTIFICACIÓN DE LOS SOLICITANTES DE TIEMPO DE LABORATORIO:

CÓDIGO	NOMBRES Y APELLIDOS	CORREO ELECTRÓNICO INSTITUCIONAL	TELÉFONO
504734	<i>Camilo Andres Ortiz Hurtado</i>	<i>caortiz934@ucacj.edu.co</i>	<i>312445546</i>
564723	<i>Pedro Alejandro Prieto Bautista</i>	<i>pa.prieto23@ucacj.edu.co</i>	<i>307543186</i>

PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDAD(ES) POR TIEMPO DE LABORATORIO SOLICITADO:

ID	FECHA dd/mm/AA	HORA INICIO HH:MM	HORA FIN HH:MM	ESPACIO DE TRABAJO SOLICITADO ¹	ENSAYO(S) A REALIZAR O DESCRIPCIÓN DE LA(S) ACTIVIDAD(ES) A DESARROLLAR EN EL TIEMPO DE LABORATORIO SOLICITADO:
1	<i>08-10-18</i>	<i>15:00</i>	<i>18:00</i>	<i>LAB Pavimen</i>	<i>Ensayo marshall, tracción indirecta, desgaste</i>
2	<i>08-10-18</i>	<i>13:00</i>	<i>15:00</i>	<i>LAB pavimen</i>	<i>Densidades de Bulk</i>
3	<i>3-10-18</i>	<i>15:00</i>	<i>17:00</i>	<i>LAB pavimen</i>	<i>Ensayo marshall, tracción indirecta, desgaste</i>
4	<i>8-10-18</i>	<i>15:00</i>	<i>17:00</i>	<i>LAB pavimen</i>	<i>Densidades de Bulk</i>

ID	RESULTADOS ESPERADOS POR ACTIVIDAD(ES) EJECUTADA(S)
1	
2	
3	
4	

MATERIALES/INSUMOS A USAR	CANT	UND	A CARGO:		EQUIPO / HERRAMIENTA A USAR
			LAB	USU	

GUIA DE LABORATORIO / METODOLOGÍA:	OBSERVACIONES/SUGERENCIAS
<i>Ensayo marshall, Ensayo de desgaste y Ensayo de tracción indirecta</i>	

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).

SOLICITANTES

Camilo Andres Ortiz *Pedro Alejandro Prieto*

APROBACIÓN E INFORMACIÓN

Diego Paraci Guerrero *Lucía Rdz*

¹ A) Mecánica de suelos. B) Concretos. C) Mecánica de sólidos. D) Análisis de agua. E) Hidráulica F) Estructuras.



ENSAYO MARSHALL (INV. E-748-13) - CONCRETO ASFÁLTICO

PROYECTO CARACTERIZACIÓN DE MEZCLA DENSA EN CALIENTE (MDC-2S)
 TEMPERTURA DE MEZCLA 150°C
 TEMPERTURA DE COMPACTACIÓN 135°C
 No. DE GOLPES POR CAPA 75
 PROCEDENCIA AGREGADOS PETREOS CONCRESCOL Gs.A.PETREOS 2,577
 TIPO DE CEMENTO ASFALTICO CA 60-70 Gs. ASFALTO 1,012

Briqueta No.	11	12								
Tipo de Mezcla	MDC-2S	MDC-2S								
% Asfalto	6,0%	6,0%								
Altura Briqueta (cm)	6,4	6,4								
Paso briqueta en aire Seca (g)	1190	1191								
Peso briqueta en aire SSS (g)	1191	1192								
Peso briqueta en agua (g)	672	674								
Lectura de carga (KN)	11,26	11,26								
Flujo (1/100")	155	155								

LA LECTURA DE CARGA SE DEBE MULTIPLICAR POR LA CONSTANTE DE CALIBRACION DEL ANILLO (45,1) PARA EXPRESAR LA ESTABILIDAD EN IB

OBSERVACIONES

Lab/ta: Hoy Alarís

Reviso: _____

Fuente: Autor.



ENSAYO MARSHALL (INV. E-748-13) - CONCRETO ASFÁLTICO

PROYECTO CARACTERIZACIÓN DE MEZCLA DENSA EN CALIENTE (MDC-25)
 TEMPERATURA DE MEZCLA 150°C PARA MEZCLA
 TEMPERATURA DE COMPACTACIÓN 135°C
 No. DE GOLPES POR CAPA 25
 PROCEDENCIA AGREGADOS PETREOS CONCRECOL Gs. APETREOS 2.573
 TIPO DE CEMENTO ASFALTICO CA 60-70 Gs. ASFALTO 1.012

Briqueta No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tipo de Mezcla	MDC-25									
% Asfalto	4,5%	4,5%	4,5%	5,0%	5,0%	5,0%	5,5%	5,5%	5,5%	6,0%
Altura Briqueta (cm)	6,3	6,5	6,5	6,5	6,4	6,5	6,4	6,3	6,4	6,4
Peso briqueta en aire Seca (g)	1196	1194	1190	1189	1195	1199	1191	1194	1195	1189
Peso briqueta en aire SSS (g)	1199	1198	1194	1192	1193	1202	1193	1195	1197	1190
Peso briqueta en agua (g)	677	674	673	677	680	681	679	681	683	673
Lectura de carga (KN)	12,06	12,17	12,06	12,87	12,67	12,87	13,47	13,07	13,27	11,66
Flujo (1/100")	150	150	150	145	145	150	140	145	140	155

LA LECTURA DE CARGA SE DEBE MULTIPLICAR POR LA CONSTANTE DE CALIBRACION DEL ANILLO (45,1) PARA EXPRESAR LA ESTABILIDAD EN b

OBSERVACIONES

Lab/ta:

[Handwritten Signature]

Reviso:

Fuente: Autor.



ENSAYO MARSHALL (INV. E-748-13) - CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO

PROYECTO CARACTERIZACIÓN DE MEZCLA DENSA EN CALIENTE (MDC-25)
 TEMPERTURA DE MEZCLA 150 °C
 TEMPERTURA DE COMPACTACIÓN 135 °C
 No. DE GOLPES POR CAPA 25
 PROCEDENCIA AGREGADOS PETREOS CONCRESCOL Gs.A.PETREOS 2,577
 TIPO DE CEMENTO ASFALTICO CA 60-70 Gs. ASFALTO 1,012
MODIFICACION VIA SECA

Briqueta No.	11	12											
Tipo de Mezcla	MDC-25 MODIF. SEC	MDC-25 MODIF. SEC											
% Asfalto 5,5% , % de calamina.	5,5/4%	5,5/4%											
Altura Briqueta (cm)	6,4	6,2											
Peso briqueta en aire Seca (g)	1205	1198											
Peso briqueta en aire SSS (g)	1208	1198											
Peso briqueta en agua (g)	696	693											
Lectura de carga (KN)	17,49	17,18											
Flujo (1/100")	145	150											

LA LECTURA DE CARGA SE DEBE MULTIPLICAR POR LA CONSTANTE DE CALIBRACION DEL ANILLO (45,1) PARA EXPRESAR LA ESTABILIDAD EN lb

OBSERVACIONES

Lab/ta: Ag. Lina S

Reviso: 1

Fuente: Autor.



ENSAYO MARSHALL (INV. E-748-13) - CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO

PROYECTO CARACTERIZACIÓN DE MEZCLA DENSA EN CALIENTE (MDC-25)
 TEMPERTURA DE MEZCLA 150°C
 TEMPERTURA DE COMPACTACIÓN 135°C
 No. DE GOLPES POR CAPA 25
 PROCEDENCIA AGREGADOS PETREOS CONCRESCOL Gs.A.PETREOS 2,577
 TIPO DE CEMENTO ASFALTICO CA 60-70 Gs. ASFALTO 1,012
MODIFICACION VIA SECA

Briqueta No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tipo de Mezcla	MDC-25 MODIFI.	MDC-25 MODIFI.	MDC-25 MODIFI.	MDC-25 MODIF	MDC-25 MODIF	MDC-25 MODIFICA	MDC-25 MODIF	MDC-25 MODIF	MDC-25 MODIF	MDC-25 MODIFI
% Asfalto 5,5, % de calamina	5,5/1%	5,5/1%	5,5/1%	5,5/2%	5,5/2%	5,5/2%	5,5/3%	5,5/3%	5,5/3%	5,5/4%
Altura Briqueta (cm)	6,6	6,6	6,5	6,5	6,5	6,5	6,3	6,4	6,2	6,3
Peso briqueta en aire Seca (g)	1201	1194	1198	1197	1205	1196	1201	1156	1199	1191
Peso briqueta en aire SSS (g)	1201	1199	1200	1199	1208	1199	1202	1198	1200	1192
Peso briqueta en agua (g)	685	682	685	687	688	684	691	690	694	690
Lectura de carga (KN)	15,64	15,54	15,05	15,68	26,23	15,97	20,83	19,14	18,94	17,76
Flujo (1/100")	128	133	130	125	123	120	118	123	119	150

LA LECTURA DE CARGA SE DEBE MULTIPLICAR POR LA CONSTANTE DE CALIBRACION DEL ANILLO (45,1) PARA EXPRESAR LA ESTABILIDAD EN lb

OBSERVACIONES

Lab/ta:

H. P. S.

Reviso:

Fuente: Autor.

Anexo M: Ensayo de Laboratorio Marshall.

También podemos estipular la evidencia fotografía de ensayo Marshall
Fuente: Autor.





Anexo N: Ensayo de Tracción Indirecta.

Fuente: Autor



Anexo O: Ensayo Cántabro.

Fuente: Autor.



