

EVALUACION DE MEZCLAS ASFALTICAS CON ADICION DE CENIZA COMO
PORCENTAJE DEL LLENANTE Y CAUCHO COMO PORCENTAJE DE
ASFALTO

MARLON LEONARDO RODRIGUEZ SIERRA

UNIVERSIDAD PONTICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENÍERIAS
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA

2014

EVALUACION DE MEZCLAS ASFALTICAS CON ADICION DE CENIZA COMO
PORCENTAJE DEL LLENANTE Y CAUCHO COMO PORCENTAJE DE
ASFALTO

MARLON LEONARDO RODRIGUEZ SIERRA

Proyecto de grado para optar por el título de ingeniero civil

Director (a):

MARIA FERNANDA SERRANO GUZMAN

PhD. Ingeniería civil

UNIVERSIDAD PONTICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENÍERIAS
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA

2014

NOTA DE ACEPTACIÓN

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Bucaramanga septiembre de 2014

DEDICATORIA

Este libro va dedicado a las personas más incondicionales en mi vida, mis Padres que con su esfuerzo, paciencia y amor me han acompañado en las etapas que nos presenta la vida y en esta etapa académica una parte muy importante para mi formación como persona.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco a la PhD. María Fernanda Serrano Guzmán por su gran aporte intelectual en esta investigación.

A las personas que me ayudaron a ejecutar el proyecto que son grandes sabios en el uso de los equipos de laboratorio que son los señores Heli Rueda y José Vicente Páez.

A mis compañeros y amigos que con su presencia en el laboratorio me motivaban a trabajar día a día en las prácticas y ensayos de laboratorio especialmente a Sergio Sánchez Otálora y Andrés Villacreces.

A los docentes que además de ser grandes guías en el sendero de la academia fueron grandes amigos y colaboradores al compartir sus conocimientos sin pretensiones.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	15
1. DESCRIPCION DEL PROBLEMA	17
1.1 JUSTIFICACION.....	18
1.2 ALCANCE	19
1.3 OBJETIVO	19
1.3.1 Objetivo General.....	19
1.3.2 Objetivos Específicos	20
1.4 IMPORTANCIA DEL ESTUDIO	20
1.5 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO.....	20
2. MARCO TEORICO.....	21
2.1 ASFALTO.....	21
2.1.1 Asfaltos Naturales	21
2.1.2 Asfaltos derivados del petróleo.....	21
2.1.3 Características reológicas del asfalto	22
2.1.4 Cemento asfáltico	22
2.2 DEFINICION DE UNA MEZCLA ASFALTICA.....	24
2.2.1 Clasificación de las mezclas asfálticas.....	24
2.2.3 Mezclas asfálticas en caliente MDC-1, MDC-2 Y MDC-3.....	26
2.3 TIPOS DE PAVIMENTOS	26
2.3.1 Pavimentos Flexibles.....	27
2.3.2 Pavimentos Rígidos.....	27
2.3.3 Pavimentos Semi-Rigidos.....	27
2.4 CENIZA	28
2.4.1 Clasificación de la ceniza.....	29
2.5 POLIMEROS	30
2.5.1 Elastómeros o cauchos	30
2.5.2 Bajo peso específico.....	31
2.6 ASFALTOS MODIFICADOS.....	32
2.5.1. Cemento asfáltico modificado con polímeros	36
2.5.1.1. Mecanismo de la modificación.....	36

2.5.2 Caracterización de los cementos asfaltos modificados con polímeros	42
3. METODOLOGIA	44
3.1. MATERIAL GRANULAR.....	44
3.2 ASFALTO.....	50
3.3 CENIZA.....	54
3. 4 BRIQUETAS REALIZADAS POR EL METODO DE DISEÑO MARSHAL.....	55
4. RESULTADOS.....	60
4.1 CARACTERIZACION DEL MATERILA GRANULAR.....	60
4.1.2 Caracterización de la ceniza volante	63
4.2.3 Caracterización del asfalto convencional	65
4.2.4 Asfalto modificado con elastómero o caucho en un 5%	68
4.2.5 Asfalto modificado con elastómero o caucho en un 10%	70
4.3 RESULTADOS DE LA PRUEBA MARSHALL	72
5. ANALISIS DE RESULTADOS	73
5.1 MATERIAL GRANULAR.....	73
5.1.2 Ceniza	74
5.1.3 Asfalto Modificado.....	74
5.1.4 Análisis de la prueba Marshall	75
6. CONCLUSIONES	82
7. RECOMENDACIONES.....	86
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87
ANEXOS.....	90

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Microestructura de un ligante modificado con matriz de bitumen	38
Figura 2. Microestructura de un ligante modificado con matriz de polímero	38
Figura 3. Microestructura de un ligante modificado con dos fases continuas.....	38
Figura 4. Cauchos termoplásticos.....	40
Figura 5. Recuperación elástica utilizando el ductilometro	43
Figura 6. Granulometría del agregado fino (INV.E-213).....	60
Figura 7. Curva granulométrica del agregado grueso.....	61
Figura 8. Curva granulométrica de la ceniza	64
Figura 9. Grafica Estabilidad Vs % de Asfalto.....	76
Figura 10. Grafica flujo vs % de asfalto	77
Figura 11. Grafica Densidad Bulk vs % de asfalto.....	78
Figura 12. Grafica estabilidad vs % de asfalto mezcla A.....	79
Figura 13. Estabilidad Vs % Asfalto modificado en un 5% mezcla B	79
Figura 14. Estabilidad Vs % Asfalto modificado en un 5% mezcla C	80
Figura 15. Estabilidad Vs % Asfalto modificado en un 5% mezcla D.	80
Figura 16. Estabilidad Vs % de asfalto modificado en un 10% mezcla E	81
Figura 17. Estabilidad Vs % de asfalto modificado en un 10% mezcla F	81
Figura 18. Estabilidad Vs % de asfalto modificado en un 10% mezcla G.....	81

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Tipo de cemento asfáltico por emplear en mezcla asfálticas en caliente de gradación continua.....	22
Tabla 2. Especificaciones del cemento asfáltico	24
Tabla 3. Control de calidad para el diseño preliminar de la mezcla asfáltica en caliente de gradación continua por el método Marshall.	56
Tabla 4. Gravedad específica y absorción del agregado grueso.....	61
Tabla 5. Gravedad específica y absorción del agregado fino.....	61
Tabla 6. Resumen del ensayo de resistencia al desgaste en la maquina de los angeles. 62	62
Tabla 7. . Caras fracturadas.....	62
Tabla 8. Equivalente de arena.....	63
Tabla 9. Índice de aplanamiento y alargamiento	63
Tabla 10. Gravedad específica y absorción de la ceniza	64
Tabla 11. Contenido de materia orgánica por el método de ignición.	65
Tabla 12. Punto de ablandamiento asfalto convencional	65
Tabla 13. Ignición y llama mediante la copa Cleveland asfalto sin modificar	66
Tabla 14. Penetración del material bituminoso convencional.....	66
Tabla 15. Peso específico sólido de asfalto sin modificar	67
Tabla 16. Resultados ensayos de envejecimiento (INV.E-720) y RET (INV.E-727) realizados en el laboratorio de Corasfaltos.....	67
Tabla 17. Propiedades reológicas del asfalto sin modificar laboratorio Corasfaltos	67
Tabla 18. Punto de ablandamiento asfalto modificado en un 5%	68
Tabla 19. Ignición y llama mediante la copa Cleveland asfalto modificado en un 5%	68
Tabla 20. Penetración del material bituminoso modificado en un 5%.....	69
Tabla 21. Peso específico sólido de asfalto modificado en un 5%	69
Tabla 22. Resultados ensayos de envejecimiento (INV.E-720) y RET (INV.E-727) realizados en el laboratorio de Corasfaltos para un asfalto modificado en un 5% con caucho.	69
Tabla 23. Propiedades reológicas del asfalto modificado en un 5%	70
Tabla 24. Punto de ablandamiento asfalto modificado en un 10%.....	70
Tabla 25. Ignición y llama mediante la copa Cleveland asfalto modificado en un 10% 71	71
Tabla 26. Penetración del material bituminoso modificado en un 10%.....	71
Tabla 27. Peso específico sólido de asfalto modificado en un 10%.....	71
Tabla 28. Resumen resultados de briquetas diseñadas con el asfalto convencional..	72

Tabla 29.	Resumen resultados de briquetas diseñadas con asfalto modificado en un 5% con caucho	72
Tabla 30.	Resumen resultados de briquetas diseñadas con asfalto modificado en un 10% con caucho	72
Tabla 31.	Características de los agregados	74
Tabla 32.	Características de la ceniza.....	74
Tabla 33.	Caracterización del asfalto estándar y modificado	75

LISTA DE ANEXOS

pág.

ANEXO 1.GRANULOMETRIA DE AGREGADOS GRUESOS.....	90
ANEXO 2.GRANULOMETRIA DE AGREGADOS FINOS.....	91
ANEXO 3.PESO ESPECÍFICO Y ABSORCION DE AGREGADOS GRUESOS	92
ANEXO 4.PESO ESPECÍFICO Y ABSORCION DE AGREGADOS FINOS	93
ANEXO 5. RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS MENORES A 1 ½” POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES.....	94
ANEXO 6. GRANULOMETRIA DE LA CENIZA.....	95
ANEXO 7.PESO ESPECÍFICO Y ABSORCION DE LA CENIZA.....	96
ANEXO 8 .DOSIFICACION PARA UNA MEZCLA ELABORADA EN OBRA COMBINACION DE LOS AGREGADOS 70% Finos -30% Agregado grueso	97
ANEXO 9 .DOSIFICACION PARA UNA MEZCLA ELABORADA EN OBRA COMBINACION DE LOS AGREGADOS 65% Finos -35% Agregado grueso	98
ANEXO 10 .DOSIFICACION PARA UNA MEZCLA ELABORADA EN OBRA COMBINACION DE LOS AGREGADOS 75% Finos -25% Agregado grueso	99
ANEXO 11 .DOSIFICACION PARA UNA MEZCLA ELABORADA EN OBRA COMBINACION DE LOS AGREGADOS 60% Finos -40% Agregado grueso	101
ANEXO 12.ANALISIS DOSIFICACIONES DE LOS AGREGADOS PARA UNA MEZCLA ELABORADA EN OBRA	102
ANEXO 13. DISEÑO DE MEZCLA POR EL METODO MARSHALL GRAFICAS	103
ANEXO 14. DISEÑO DE MEZCLA POR EL METODO MARSHALL GRAFICAS FLUJO (0,01”) VS % DE ASFALTO.....	104
ANEXO 15. DISEÑO DE MEZCLA POR EL METODO MARSHALL GRAFICAS % DE VACIOS MEZCLA TOTAL VS % DE ASFALTO.....	105
ANEXO 16. DISEÑO DE MEZCLA POR EL METODO MARSHALL GRAFICAS % DE VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL VS % DE ASFALTO	106
ANEXO 17 .ENSAYO DE RECUPERACIÓN ELÁSTICA POR TORSIÓN DE ASFALTOS MODIFICADO EN UN 5% CON CAUCHO INV.E-727.....	107
ANEXO 18 .RECUPERACIÓN ELÁSTICA POR TORSIÓN DE ASFALTOS.....	108
ANEXO 19. ENSAYO DE ENVEJECIMIENTO ASFALTO MODIFICADO EN UN 5% CON CAUCHO INV.-E-720	109
ANEXO 20 .ENVEJECIMIENTO ASFALTO SIN MODIFICAR ENSAYOS EXTERNOS LABORATORIO DE CORASFALTOS	110
ANEXO 21 .MEDICIÓN DE PROPIEDADES REOLÓGICAS DE LOS LIGANTES ASFÁLTICOS MEDIANTE EL REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO ASFALTO SIN MODIFICAR ENSAYOS EXTERNOS REALIZADOS EN EL LABORATORIO DE CORASFALTOS.....	111

ANEXO 22. MEDICIÓN DE PROPIEDADES REOLÓGICAS DE LOS LIGANTES ASFÁLTICOS MEDIANTE EL REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO ENSAYOS EXTERNOS REALIZADOS EN EL LABORATORIO DE CORASFALTOS	112
ANEXO 23 .REGISTRO FOTOGRAFICO.....	113

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: EVALUACION DE MEZCLAS ASFALTICAS CON ADICION DE CENIZA COMO PORCENTAJE DEL LLENANTE Y CAUCHO COMO PORCENTAJE DE ASFALTO

AUTOR(ES): Marlon Leonardo Rodríguez Sierra

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): Ph.D. Maria Fernanda Serrano Guzman

RESUMEN

Las mezclas densas en caliente hoy en día se diseñan con especificaciones que satisfacen unas características que se enfocan en la calidad de los materiales y del cemento asfáltico, por lo cual para cada diseño de mezcla se requiere un asfalto con ciertos estándares y unos agregados los cuales cumplan con las especificaciones requeridas, llevando la mezcla una buena gradación, con gravas de tamaños de 1 1/2" o 1" "hasta llegar a finos que pasan por el tamiz N- 200. Es aquí donde surgió el problema de este estudio debido a que los finos son escasos y difíciles de conseguir y el asfalto igual que todos lo que se deriva de combustibles fósiles es una fuente no renovable por lo cual se agotara en algún momento. Para esto se estudiaran la ceniza proveniente de locaciones petroleras del ICP y el caucho enviado por la fundación Renova en el diseño de mezclas asfálticas y así diseñar una mezcla asfáltica utilizando la ceniza de locaciones petroleras como llenante y el caucho como porcentaje del asfalto. En esta investigación se hicieron ensayos para caracterizar los materiales, agregados, ceniza, caucho y el cemento asfáltico. Se elaboraron para ello 84 briquetas distribuidas en siete tipos de mezclas: A. Mezcla estándar sin caucho y sin ceniza, B. Mezcla modificada 95% asfalto-5% caucho con agregados normales. C. Mezcla modificada 95%asfalto-5% caucho reemplazando el 25% del llenante mineral con ceniza. D. Mezcla modificada 95% asfalto-5% caucho, reemplazando el 50% del llenante mineral con ceniza. E. Mezcla modificada 90% asfalto-10% caucho, reemplazando el 25% del llenante mineral con ceniza. F. Mezcla modificada 90% asfalto-10% caucho, reemplazando el 50% del llenante mineral con ceniza. G. Mezcla modificada 90% asfalto-10% caucho, agregados normales.

PALABRAS CLAVES:

Caucho, Ceniza, Llenante, Mezclas asfálticas

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: EVALUATION OF ASPHALT MIXES WITH ADDITION OF ASH AS A PERCENTAGE OF FILLER AND RUBBER AS A PERCENTAGE OF ASPHALT.

AUTHOR(S): Marlon Leonardo Rodríguez Sierra

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: Ph.D. Maria Fernanda Serrano Guzman

ABSTRACT

Dense Hot Mix Asphalt (HMA) are designed today with specifications that satisfy certain characteristics that focus on the quality of the materials and the asphalt cement, by which for each design of mix asphalt requires certain standards and some aggregates which meet the required specifications, taking good gradation mix with gravel sizes of 1 1/2" or 1" down to fines passing through the sieve N-200. It is here where the problem arose from this study because the fines are rare and difficult to obtain as well the asphalt that is derived from fossil fuels are from non-renewable source so it ran out at some point. For this it will be studied the ash from the oil locations of the ICP and the rubber sent by the Renova foundation in the design of asphalt mixture and then to design an asphalt mixture using ash from oil locations as filler and the rubber as a percentage. In this study some attempts were made to characterize materials, aggregates, ash, rubber and asphalt cement. There were developed for this 84 briquettes on seven types of mixtures: A. Mixing is without rubber and ashless B. Mixture 95% modified asphalt-5% rubber with normal aggregates. C. Mixture 95% modified asphalt-5% rubber by replacing 25% of the mineral filler with ash. D. Mixture 95% modified asphalt-5% rubber, replacing 50% of mineral filler with ash. E. Modified mix 90% asphalt -10% rubber, replacing 25% of mineral filler with ash. F. Modified mix 90% asphalt -10% rubber, replacing 50% of mineral filler with ash. G. Modified mix 90% asphalt -10% rubber, normal aggregates.

KEYWORDS:

Rubber, Ash, Filler, Hot Mix Asphalt

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCION

En la actualidad manejamos conceptos de residuos, basuras o desecho erróneamente debido a que la gran mayoría de estos además de generar impactos visuales o ambientales en los recursos estos tienen grandes potenciales como materiales en la construcción de estructuras o elementos para la construcción.

En el estudio de las mezclas no se le había dado la debida importancia a los tipos de agregados utilizados como en la actualidad la necesidad que las mezclas mejoren su maleabilidad, su durabilidad, su densidad, su trabajabilidad y su integración con todo el conjunto de materiales que componen la mezcla que se aglutinen muy bien y que la cantidad de los poros se reduzca dando mayores densidades en las mezclas diseñadas. Un punto muy importante en este estudio es que el material analizado tenga una fácil consecución y gran disponibilidad.

Las mezclas se componen de agregados gruesos, agregados finos y un material cementante para la unión y aglutinación de las partículas, este estudio se compone en dos partes fundamentales de la mezcla la primera mejorar la capacidad cementante la segunda el estudio de un material como agregado fino ya que los finos en las mezclas son materiales muy difíciles para encontrarlos.

Las mezclas que se pretenden mejorar en esta investigación, son las mezclas a base de asfalto o pavimentos flexibles las cuales requieren tanto una buena cantidad de finos como una buena cantidad de material cementante o aglutinante. La capacidad cementante o aglutinante es una parte supremamente fundamental para una mezcla de calidad por lo cual se pretende mejorar esta parte primordial con la adición de un polímero el cual es el caucho de las llantas desechadas se adicionara este al ligante de la mezcla asfáltica.

El material fino juega un papel fundamental en la mezcla debido a que si una mezcla no tiene la cantidad de finos requeridos por las especificaciones esta mezcla presentara una cantidad mayor de poros, una menor densidad y por ende gran fragilidad o poca resistencia por lo cual la mezcla presentara poca durabilidad y muchos agrietamientos.

Se puede decir que los finos son partes fundamentales en cualquier tipo de mezcla y el problema que presentan estos finos es que su consecución se hace muy difícil para el constructor y se necesitan fuentes de buena calidad y que logren satisfacer la demanda.

El material fino en estudio será la ceniza proveniente del ICP (Instituto Colombiano de Petróleos Ecopetrol) y las llantas debidamente procesadas serán proporcionadas por el grupo Renova para así lograr hacer todos los estudios pertinentes acerca de la adición de estos dos materiales para el diseño de mezclas asfálticas en caliente MDC.-2.

1. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

Las mezclas densas en caliente hoy en día se diseñan con especificaciones que satisfacen unas características que se enfocan en la calidad de los materiales y del cemento asfáltico, por lo cual para cada diseño de mezcla se requiere un asfalto con ciertos estándares y unos agregados los cuales llevan una buena gradación en los cuales llevan gravas de tamaños de 1 1/2" o 1" "hasta llegar a finos que pasan por el tamiz N- 200. La gran demanda pavimentos y vías requiere de material para pavimentos, generando un consumo acelerado de agregados gruesos y finos. Adicionalmente se están exigiendo cada vez mezclas asfálticas de mejor calidad buscando nuevos materiales.

Es aquí donde surge el problema de este estudio debido a que los finos son escasos y difíciles de conseguir para satisfacer las necesidades de los diseños propuestos por las especificaciones, el uso de estos es indispensable para obtener una mezcla con una buena densidad, impermeabilidad, estabilidad y flujo.

Por lo cual surge la propuesta de usar ceniza proveniente de locaciones petroleras del ICP (Instituto colombiano de Petróleo) para satisfacer la necesidad de los finos en los diseños de mezclas asfálticas densas en caliente.

Por otro lado, la cantidad desechada de cauchos de llantas genera un impacto ambiental perjudicial pudiendo este residuo ser utilizado para mejorar las características de los asfaltos modificados por polímeros.

Otro punto importante de esta investigación es la reología del asfalto por lo cual se aplicaran unas cantidades de polímeros para observar si mediante la adición de polímeros que se encuentran en gran abundancia se puedan mejorar su reología.

1.1 JUSTIFICACION

El encontrar en los residuos que hoy en día generamos un valor potencial como materiales de construcción es una gran ayuda para mitigar algunos impactos que generamos sobre el medio ambiente.

Esta investigación se enfocara en ver las bondades y fortalezas que tienen algunos residuos como materiales en la fabricación de mezclas asfálticas en caliente.

El caucho de las llantas que ya no utilizamos se ha convertido en un gran problema en las ciudades y bien sabemos que el polietileno funciona de una manera similar a los asfaltos, ellos al estar sometidos a altas temperaturas se convierten en materiales fluidos y al bajar estas temperaturas tienen propiedades aglutinantes y cementantes que todo aquella partícula que se encuentre dentro de ellos en estado líquido quedara adherida y conformaran un todo tan pronto este cambie a una temperatura más baja.

La necesidad de los finos requeridos para el diseño de mezclas densas en caliente es una parte fundamental debido a que estos finos permiten mayores densidades y una mezcla compacta la cual va a tender a ser más impermeable ofreciendo así una mayor durabilidad y resistencia a las exigencias requeridas.

El caucho y la ceniza son materiales que poseen características muy buenas y pueden brindar grandes beneficios para la construcción de pavimentos además de un ahorro en los costos que es algo de vital importancia

1.2 ALCANCE

En esta investigación haremos ensayos para caracterizar los materiales, agregados, ceniza, caucho y el cemento asfáltico. Se elaboraron para ello 84 briquetas distribuidas en siete tipos de mezclas:

- A. Mezcla estándar sin caucho y sin ceniza
- B. Mezcla modificada 95% asfalto-5% caucho con agregados normales.
- C. Mezcla modificada 95%asfalto-5% caucho reemplazando el 25% del llenante mineral con ceniza.
- D. Mezcla modificada 95% asfalto-5% caucho, reemplazando el 50% del llenante mineral con ceniza.
- E. Mezcla modificada 90% asfalto-10% caucho, reemplazando el 25% del llenante mineral con ceniza.
- F. Mezcla modificada 90% asfalto-10% caucho, reemplazando el 50% del llenante mineral con ceniza.
- G. Mezcla modificada 90% asfalto-10% caucho, agregados normales.

Para realizar todos los ensayos pertinentes acerca de la estabilidad, flujo y calidad de la mezcla y así poder concluir los resultados acerca de los materiales, bondades y proporciones en los cuales se deben utilizar según requisitos exigidos para cada mezcla asfáltica.

1.3 OBJETIVO

1.3.1 Objetivo General

- Diseñar una mezcla asfáltica utilizando la ceniza de locaciones petroleras como llenante y el caucho como porcentaje del asfalto.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar la ceniza como material llenante para una mezcla asfáltica.
- Caracterizar el caucho como material que suple en un porcentaje el asfalto.
- Identificar el porcentaje óptimo de la mezcla de caucho a ser utilizada en cuando se utiliza la ceniza como llenante
- Evaluar las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas modificadas

1.4 IMPORTANCIA DEL ESTUDIO

La importancia de este estudio es observar como mejora una mezcla densa en caliente con la adición de ceniza como llenante y caucho como ligante. La mezcla seleccionada indica que tendrá una buena calidad y resistencia a las exigencias de las normas Invias.

1.5 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO

El documento se compone de seis capítulos. En el capítulo uno se encuentra la introducción, justificación del problema, alcance, objetivos, importancia del tema tratado y finaliza con la organización de la tesis. El siguiente capítulo es el marco teórico con los temas más importantes y conceptos de mezclas asfálticas, tipos de pavimentos y materiales que componen un pavimento. En el capítulo tres se describe la metodología empleada y los ensayos con los cuales se caracterizaron los materiales estudiados. El capítulo cuatro se muestran los resultados obtenidos en la investigación. En el capítulo cinco se hace un análisis de los resultados y se hace una comparación con los requerimientos de las normas Invias (Instituto Nacional de vías). Finalmente, el capítulo seis se dan las conclusiones acerca del estudio y lo siguiente son las recomendaciones para futuros trabajos. Existen dos secciones más que son las referencias bibliográficas, los anexos y registros fotográficos.

2. MARCO TEORICO

2.1 ASFALTO

El asfalto es el residuo de un proceso físico aplicado en aceites crudos seleccionados llamado destilación. En otras partes del mundo es conocido también como bitumen. El asfalto es la sustancia que se usa como agente adhesivo, protector y para la impermeabilización de construcciones. Es un elemento líquido o semisólido pegajoso, de color negro y altamente viscoso encontrado en gran parte de los petróleos crudos y algunos depósitos naturales. (Reyes, 2007).

2.1.1 Asfaltos Naturales

Procesos análogos que ocurren en la naturaleza han formado depósitos naturales de asfalto, algunos prácticamente libres de materias extrañas y otros mezclados con ciertas cantidades variables de minerales, agua y otras sustancias. Los depósitos naturales en los que el asfalto se encuentra dentro de la estructura de una roca porosa se conocen comúnmente con el nombre de asfaltos de roca o rocas asfálticas. Estos asfaltos naturales se manifiestan en diversas formas, entre las que se destacan los manantiales, los lagos y las exudaciones. (Reyes, 2007)

2.1.2 Asfaltos derivados del petróleo

Casi todo el asfalto que se produce y utiliza hoy en día en el mundo procede de la refinación del petróleo. El asfalto derivado del petróleo se llama a veces asfalto residual (residuo de la destilación del petróleo, para distinguirlo de los asfaltos naturales. Las implicaciones poco deseables que normalmente se atribuyen a la palabra residual han conducido a la industria del asfalto a preferir el empleo de la expresión) “de destilación directa “que sin embargo es inexacta, ya que pocas veces se producen asfaltos del petróleo por destilación simple, sin ningún tratamiento posterior.

En la norma INV E 706 se encuentran las especificaciones de este tipo de asfaltos. (Reyes, 2007)

2.1.3 Características reológicas del asfalto

La reología es una de las propiedades más importantes de los productos asfálticos. Se refiere a la variación de las propiedades del flujo a través del tiempo de aplicación de una carga e incluye una propiedad muy importante: la viscosidad.

La viscosidad del asfalto varía con la temperatura en mayor o menor grado (susceptibilidad térmica) y su estudio es muy importante y de interés práctico, porque en todas las aplicaciones del asfalto se debe modificar su viscosidad mediante el calentamiento.

A temperaturas altas el asfalto se considera un fluido viscoso, mientras que a temperaturas bajas de servicio se considera un material sólido con propiedades elásticas. Con el propósito de conocer las características del flujo del asfalto a distintas temperaturas, se utilizan actualmente a monogramas y curvas que relacionan las principales propiedades del asfalto. (Reyes, 2007)

2.1.4 Cemento asfáltico

El cemento asfáltico a emplear en las mezclas asfálticas elaboradas en caliente será seleccionado en función de las características climáticas de la región y las condiciones de operación de la vía y, salvo justificación en contrario, corresponderá a los tipos indicados en la Tabla 1.

Tabla 1. Tipo de cemento asfáltico por emplear en mezcla asfálticas en caliente de gradación continua

TIPO DE CAPA	NT 1			NT 2			NT 3		
	TEMPERATURA MEDIA ANUAL DE LA REGION (° C)								
	> 24	15-24	< 15	> 24	15-24	< 15	> 24	15-24	< 15
Rodadura e Intermedia	60-70	60-70 u 80-100	80-100	60-70	60-70 u 80-100	80-100	40-50 60-70 o Tipo II (a o b) o Tipo III	40-50 60-70 o Tipo II (a o b)	60-70 80-100 o Tipo IIb
Base	NA			60-70 u 80-100	60-70 u 80-100	80-100	60-70	60-70 u 80-100	80-100
Alto Módulo	NA			NA			Tipo V		

Nota 1: Para una temperatura menor de 15° C y tránsito NT3, los documentos del proyecto podrán recomendar un cemento asfáltico de grado de penetración 60-70, si se considera que el tránsito es extremadamente agresivo. Bajo una consideración similar se puede emplear el cemento asfáltico modificado con polímeros Tipo III para el mismo nivel de tránsito y temperaturas de 24° C o menores.

Fuente: Invias-Art.450 - 2013

Los requisitos de calidad del cemento asfáltico son los que establece la Tabla 2. El cemento asfáltico podrá modificarse mediante la adición de activantes, rejuvenecedores, polímeros, asfaltos naturales o cualquier otro producto sancionado por la experiencia. Salvo en el caso de la modificación con polímeros, la cual se contempla dentro de las presentes Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras, las especificaciones particulares de cada proyecto específico establecerán el tipo de adición y las especificaciones que deberán cumplir tanto el ligante modificado como las mezclas asfálticas resultantes. La dosificación y dispersión homogénea del producto de adición deberán tener la aprobación del Interventor.

Tabla 2. Especificaciones del cemento asfáltico

CARACTERÍSTICA	UNIDADES	NORMA DE ENSAYO INV	GRADO DE PENETRACIÓN			
			60-70		80-100	
			Mín	Máx	Mín	Máx
Penetración (25°C, 100 g, 5 s)	0.1 mm	E-706	60	70	80	100
Índice de penetración	-	E-724	-1	+1	-1	+1
Viscosidad absoluta (60° C)	P	E-716 o E-717	1500	-	1000	-
Ductilidad (25 °C, 5 cm/min)	cm	E-702	100	-	100	-
Solubilidad en tricloroetileno	%	E-713	99	-	99	-
Contenido de agua	%	E-704	-	0.2	-	0.2
Punto de ignición mediante copa abierta de Cleveland	°C	E-709	230	-	230	-
Pérdida de masa por calentamiento en película delgada en movimiento (163°C, 75 minutos).	%	E-720	-	1.0	-	1.0
Penetración del residuo luego de la pérdida por calentamiento (E-720), en % de la penetración original.	%	E-706	52	-	48	-
Incremento en el punto de ablandamiento luego de la pérdida por calentamiento en película delgada en movimiento (E-720).	°C	E-712	-	5	-	5

Fuente: Invias-Art-400-07

2.2 DEFINICION DE UNA MEZCLA ASFALTICA

Las mezclas bituminosas se emplean desde principio de siglo en las capas superiores de los pavimentos no solo de carreteras y aeropistas, sino también en otro tipo de infraestructura. Una mezcla bituminosa consiste en la combinación de agregados pétreos y ligantes asfálticos de diversos tipos y espesores. (Montejo Fonseca, 2007)

2.2.1 Clasificación de las mezclas asfálticas

Existen varias maneras para la clasificación de una mezcla asfáltica, a continuación explicaremos los casos más relevantes (Padilla 2004):

Por fracciones de agregados pétreos: Son mezclas con elevadas proporciones de polvo mineral y de ligante, de tal manera que si llega a existir un agregado

grueso, este se distribuye uniformemente a través de la película que se genera por la mezcla de llenante y las altas cantidades de asfalto que lo recubren. (Padilla 2004)

Según el tamaño máximo del agregado pétreo: Se dividen en dos

Mezclas gruesas: Donde el tamaño máximo del agregado pétreo excede los 10 mm.

Mezclas finas: También llamadas microaglomerados, pueden denominarse también morteros asfálticos, pues se tratan de mezclas que se conforman por un árido fino en el que va incluido el polvo mineral y un ligante asfáltico.

(Padilla 2004)

Según la estructura del agregado pétreo: Tenemos dos casos

Mezclas con esqueleto mineral: Poseen un esqueleto mineral resistente, su componente de resistencia debido al rozamiento interno de los agregados es notable. Un ejemplo claro son las mezclas abiertas y los llamados concretos asfálticos aunque una parte de su resistencia se debe a la masilla.

Mezclas sin esqueleto mineral: No poseen un esqueleto mineral resistente, la resistencia es debida exclusivamente a la cohesión de la masilla. (Padilla 2004)

Por su granulometría: hay de dos tipos:

Mezcla continuas: una cantidad muy distribuida de diferentes tamaños de agregado pétreo en el huso granulométrico.

Mezclas discontinuas: una cantidad muy limitada de tamaños de agregado pétreo en el huso granulométrico. (Padilla 2004)

De alto módulo: para la elaboración de estas mezclas se debe realizar por método caliente, utilizando asfaltos muy duros y en ocasiones modificados. Los contenidos asfálticos son aproximadamente del orden del 6% de la masa de los agregados

pétreos, la proporción del polvo mineral es alta, entre los 8% y 10 %, estas mezclas tienen un elevado módulo de elasticidad alrededor de los 1300 Mpa a 20 grados centígrados obteniendo una resistencia a la fatiga elevada. Se usa en muchas ocasiones para hacer reparcho en vías principales aunque también suelen utilizarse en carpetas asfálticas nuevas. Su principal ventaja es la ausencia de agrietamiento debido a la retracción. Con respecto a las mezclas convencionales posee una mayor capacidad de absorción de tensiones y en general una mayor resistencia a la fatiga y un menor espesor. (Padilla 2004)

2.2.3 Mezclas asfálticas en caliente MDC-1, MDC-2 Y MDC-3

Las mezclas MDC-1, MDC-2 y MDC.-3 son mezclas densas en caliente; también son llamados concretos asfálticos y están definidas como la combinación uniformemente dosificada de agregado y cemento asfáltico, mezclado a una temperatura previamente determinada, que garantiza una adherencia entre ellos.

MDC-1: Las mezclas densas en caliente de este tipo se pueden utilizar como capa intermedia (base asfáltica) con un espesor compactado mayor a 50 mm y como capa de rodadura con un espesor compactado de 60 mm. (Arenas y serrano, 2006).

MDC-2: Las mezclas asfálticas de este tipo se utilizan como capa de rodadura con espesores entre 40 y 60 mm y mayores a 60 mm. (Arenas y Serrano, 2006)

MDC-3: Las mezclas densas de este tipo se utilizan como capa rodadura con espesores entre 30 y 40mm. (Arenas y Serrano, 2006)

2.3 TIPOS DE PAVIMENTOS

Un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por el movimiento

de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas de tránsito les transmiten durante el período para el cual fue diseñada la estructura del pavimento.

Los pavimentos se clasifican en: pavimentos flexibles, pavimentos semirrígidos o semiflexibles y pavimentos rígidos. (Montejo Fonseca, 2007)

2.3.1 Pavimentos Flexibles

Este tipo de pavimentos están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la subbase. No obstante puede prescindirse de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra. (Montejo Fonseca, 2007)

2.3.2 Pavimentos Rígidos

Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa, de material seleccionado, la cual se denomina subbase del pavimento rígido. Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico así como su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia. Además como el concreto es capaz de resistir, en cierto grado, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la subrasante. La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de las resistencias de las losas, por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento. (Montejo Fonseca, 2007)

2.3.3 Pavimentos Semi-Rigidos

Aunque este tipo de pavimentos guarda básicamente la misma estructura de un pavimento flexible, una de sus capas se encuentra rigidizada artificialmente con un aditivo que puede ser: asfalto, emulsión, cementó, cal y químicos. El empleo de estos aditivos tiene la finalidad básica de corregir o modificar las propiedades

mecánicas de los materiales locales que no son aptos para la construcción de las capas del pavimento, teniendo en cuenta que los adecuados se encuentran a distancias tales que encarecerían notablemente los costos de construcción.

(Montejo Fonseca, 2007)

2.4 CENIZA

La ceniza se considera un material fino-articulado que consta en su mayoría de partículas esféricas y vidriosas algunas partículas también pueden ser angulares o irregulares dependiendo de la fuente extraída, también pueden ser más finas o gruesas que las partículas del cemento portland.

Las partículas de la ceniza son generalmente de un tamaño menor a 200 μM , tiene una alta resistencia mecánica una gama de densidades entre 0,6 y 3 gr/cm^3 , un punto de fusión superior 10.000° C, baja conductividad térmica y son en la mayoría de los casos inertes. (Delgado y Ariza, 2014)

.La utilización de ceniza en mezclas bituminosas como llenante además del consumo de un residuo, supone una mejora en la trabajabilidad de la mezcla (ideal para trabajos a bajas temperaturas) y una reducción considerable de la energía de fabricación y puesta en obra. En estudios se ha demostrado la posibilidad de la fabricación de mezclas asfálticas con ceniza a 110° c y su compactación a 85°c, no afectando la adición de residuo al contenido de betún de la mezcla, y su cumpliendo todas las prescripciones establecidas por la normativa. Otros estudios han demostrado la posibilidad de su utilización como sustituto de las fracciones más finas del árido de las mezclas (tamaños máximos de 4,75mm), siendo los resultados obtenidos para el ensayo Marshall y sensibilidad al agua satisfactorios a niveles de sustitución del 15-20%. Investigaciones más recientes han definido mejor el comportamiento de las mezclas con este residuo han realizado ensayos de sensibilidad al agua y resistencia a deformaciones plásticas. Dando

buenos resultados a las acciones adversas del agua en las mezclas asfálticas. (Belmonte Sánchez ,2009)

2.4.1 Clasificación de la ceniza

La principal forma de clasificación de las cenizas volantes se realiza de acuerdo a su composición química dependiendo del tipo de carbón quemado para producirla. (Orozco y Murillo, 2012)

La clasificación universal de las cenizas volante es:

Según la norma **NTC 3493:CENIZAS VOLANTES Y PUZOLANAS NATURALES,CALCINADAS O CRUDAS, UTILIZADAS COMO ADITIVOS MINERALES EN EL CONCRETO DE CEMENTO PORTLAND**

Clase N: Pulzonas naturales, calcinadas o crudas.

Clase F: cenizas volantes normalmente producidas en la quema del carbón antrácitico o bituminosos.

Clase C: Cenizas volantes producidas a partir del carbón lignitico o su bituminoso.

Naturales N: Origen geotérmico, ígneo-volcánico como las puzolanas clásicas italianas, portugueses y españolas de origen hidrotermico como el ópalo de origen orgánico vegetal como las tierras formadas por esqueletos de plantas de origen animal formada por caparazones animales. (Orozco y Murillo, 2012)

Artificiales F: Son aquellas que resultan de tratamientos términos de activación y se dividen en:

- Rocas no reactivas en estado natural las cuales se pueden activar gracias a un tratamiento térmico entre 600 C° y 900 C°.

- Subproductos industriales obtenidos entre otros procesos de fabricación de aluminio y durante la combustión del carbón en las centrales térmicas como las cenizas volantes y humo de sílice. (Orozco y Murillo,2012)

2.5 POLIMEROS

Son sustancias macromoleculares naturales o sintéticas, obtenidas a partir de las moléculas más sencillas por reacciones poliméricas. Por consiguiente un polímero es un compuesto con un elevado peso molecular, cuya estructura se representa por la repetición de pequeñas unidades.

Los polímeros, una vez dispersos en el asfalto, llegan a formar verdaderas redes tridimensionales, creando un reticulado que le confiere propiedades relevantes de elasticidad al asfalto modificado.

Existen muchos tipos de polímeros, por lo que su dosificación y sistematización resultan muy complejas, atendiendo a su estructura se clasifican en: Polímeros termoplásticos, Polímeros termoendurecibles y elastómeros o cauchos.
(Reyes Lizcano, 2003)

2.5.1 Elastómeros o cauchos

Son polímeros lineales amorfos, por lo general insaturados. Sometidos a un proceso de vulcanización, adquieren una estructura totalmente reticulada, la cual se confiere las propiedades elásticas. Los cauchos de usos más comunes son el caucho natural, los cauchos de butadieno-estireno (SBR), los cauchos de policloropeno y los elastómeros termoplásticos de estierenobutadieno-estireno (SBS).

Los polímeros más utilizados para modificar los cementos asfálticos son el caucho natural (NR), los copolímeros de etileno-butadieno-estireno (SBS).

Los materiales poliméricos, en función de su composición química, estructura (lineal ramificada, entrecruzada) configuración espacial, estado de agregación, peso molecular, aditivos, etc. Presentan un abanico de propiedades que hace prácticamente imposible su sistematización. *Sin embargo, los polímeros tienen una serie de propiedades generales, que pueden considerarse comunes a todos ellos:* (Reyes Lizcano, 2003)

2.5.2 Bajo peso específico. Propiedades mecánicas

El comportamiento mecánico de los polímeros a temperatura puede variar desde las características de un vidrio rígido y quebradizo, hasta la flexibilidad y elasticidad de una goma. Las características mecánicas de los polímeros se miden generalmente con ensayos de tracción, compresión, flexión, dureza, impacto y desgarró, etc. La mayor parte de los polímeros tiene un comportamiento reológico tipo viscoelástico, lo cual hace que sus propiedades mecánicas dependan en gran medida del tiempo de duración de la carga. Si se aplica un esfuerzo constante, habrá una deformación inicial instantánea y una deformación de fluencia (más lenta). Si se mantiene la deformación constante, el esfuerzo necesario para producir dicha deformación disminuirá paulatinamente (relajación de esfuerzos). (Reyes Lizcano, 2003)

Influencia de la temperatura: La variación de la temperatura genera cambios en las propiedades de los polímeros, lo que limita su uso a un cierto rango.

La elevación de la temperatura produce un rápido descenso de la resistencia mecánica de los materiales termoplásticos, que comienza antes de su punto de ablandamiento, mientras que las temperaturas bajas los hace más frágiles y quebradizos, con la siguiente disminución de la resistencia a la tracción y al impacto. (Reyes Lizcano, 2003)

Durabilidad: Se define como la capacidad que tiene todo material para mantener sus propiedades originales a lo largo del tiempo. Las alteraciones de las propiedades de los polímeros se producen por fatiga (aplicación repetida de esfuerzos) o por envejecimiento (acción del medio ambiente), aunque normalmente ambos factores actúan en conjunto. Los agentes que puedan dar lugar a cambios apreciables en las propiedades de los polímeros son los agentes atmosféricos (agua, ozono, oxígeno y humedad) la radiación solar y el calor, los microorganismos, los agentes químicos y la acción del tránsito. Los cambios generados por esos agentes dependerán del tipo de polímero, su composición y su estructura química. (Reyes Lizcano, 2003)

2.6 ASFALTOS MODIFICADOS

Se presentan casos en los que las características de las mezclas asfálticas obtenidas con los cementos asfálticos convencionales no son capaces de resistir la acción conjunta del tránsito y del clima, por lo que resulta necesaria la utilización de ligantes modificados que presenten mejores propiedades reológicas, un mayor grado de adherencia, mayor resistencia al envejecimiento y menor susceptibilidad térmica. (Reyes Lizcano, 2003)

Las mezclas asfálticas elaboradas con estos ligantes modificados presentan altos valores de rigidez a temperaturas altas de servicio, lo que disminuye el ahuellamiento y baja rigidez a temperaturas bajas, que reducen el riesgo de aparición prematura de fisuras. De igual manera, el grado de afinidad ligante-agregado en presencia de agua se mejora sustancialmente. (Reyes Lizcano, 2003)

Algunas de estas propiedades pueden mejorarse mediante el empleo de ligantes más duros, pero esto reducirá su flexibilidad a temperatura ambiente y proveerá al ligante de un mayor grado de fragilidad a temperaturas bajas.

Para mejorar las propiedades citadas sin producir efectos negativos secundarios, se están usando a escala mundial los cementos asfálticos modificados con polímeros. Con la utilización de los modificadores y aditivos se puede lograr:

(Reyes Lizcano, 2003)

- Mejora la rigidez del cemento asfáltico a temperaturas altas de servicio, minimizando el riesgo de ahuellamiento.
- Obtener mezclas más flexibles a temperaturas bajas de servicio para minimizar la aparición de fisuras asociadas a los cambios térmicos.
- Mejorar la resistencia a la fatiga de las mezclas asfálticas.
- Mejorar la afinidad ligante-agregado pétreo, con el fin de reducir el riesgo de pérdida de adherencia.
- Mejorar la resistencia a la abrasión de las mezclas asfálticas.
- Rejuvenecer el cemento asfáltico.
- Minimizar los problemas durante el proceso de colocación y compactación de la mezcla asfáltica.
- Mejorar las características elásticas del cemento asfáltico.
- Permitir un mayor espesor de película de ligante alrededor de las partículas del agregado, con el propósito de aumentar la durabilidad de la mezcla.
- Reducir la probabilidad de exudación del cemento asfáltico.
- Disminuir los espesores de la estructura del pavimento.
- Mejorar el comportamiento general de toda la estructura del pavimento.

Una mezcla asfáltica ideal debe tener las siguientes características:

- Baja rigidez o viscosidad a las temperaturas normales de manejo en planta y colocación en obra.
- Alta rigidez a las temperaturas altas de servicio para reducir el ahuellamiento.
- Baja rigidez y buenas características elásticas a temperaturas bajas de servicio para reducir el riesgo de la aparición de fisuras por cambios de temperatura.
- Buenas características adherentes en presencia de humedad, con el propósito de reducir la adherencia. (Reyes Lizcano, 2003)

En el pasado, algunas de estas propiedades se podían obtener con los cementos asfálticos tradicionales. Ahora, con el incremento del volumen de tránsito y de la presión de inflado, el aumento en las sobrecargas de los vehículos pesados y la aparición de nuevos crudos, se necesitan modificadores y aditivos para obtener mezclas que cumplan con la mayor parte de estos requerimientos.

Debido a que el asfalto es el responsable del comportamiento viscoelástico de todos los materiales bituminosos, sus propiedades determinan muchos aspectos del comportamiento de las mezclas en las vías.

En un ensayo simple de fluencia la deformación inducida por la carga aplicada muestra una respuesta instantánea elástica, seguida por un incremento gradual de la deformación hasta que se renueve. El cambio de la deformación con el tiempo se debe al comportamiento viscoso del material. Cuando se remueve la carga, la deformación elástica se recupera instantáneamente; con el tiempo se presenta también una recuperación adicional que se conoce como elasticidad retardada. Al final queda una deformación permanente residual, que es irrecuperable, causada directamente por el comportamiento viscoso del material. Cuando se induce un pulso de carga en un material bituminoso la deformación permanente es pequeña, pero después de aplicar muchos millones de pulsos al pavimento se presenta una acumulación de deformación que se manifiesta en la superficie del pavimento. Por

lo anterior, está clara la razón por la cual se presenta mayor deformación a temperaturas altas donde el tráfico se mueve lentamente o es estacionario. (Reyes Lizcano, 2003)

Uno de los principales objetivos de un asfalto modificado es aumentar la resistencia a la deformación permanente en temperaturas de servicio altas, sin afectar adversamente las propiedades a otras temperaturas. Esto se puede lograr incrementando de la adherencia del asfalto para que la respuesta viscoelástica total se reduzca y por tanto, se presente una reducción en la deformación permanente, o aumentando la componente elástica del asfalto y por tanto disminuyendo la componente viscosa, lo que origina también una reducción en la deformación permanente.

Se aconseja aumentar la rigidez del asfalto para aumentar la fuerza dinámica del concreto asfáltico, lo que significa mejorar la capacidad de dispersión de la carga del material y aumentar la resistencia estructural y la vida de diseño esperada del pavimento. Alternativamente, se podrá alcanzar la misma resistencia estructural pero con una capa de pavimento de menor espesor.

Incrementar la componente elástica del asfalto mejorara la flexibilidad del concreto asfáltico, lo cual es importante donde se presentan deformaciones de tensión alta.

En los últimos años, varios investigadores han usado un amplio rango de modificadores para asfaltos empleados en la construcción de vías. Para que el modificador sea efectivo y pueda utilizarse por ser practico y económico, debe estar a disposición, reitre la degradación a temperaturas de mezclado, mezclarse con el asfalto, mejorar la resistencia al flujo en a temperaturas de servicio altas, sin hacer que el asfalto se vuelva muy viscoso a temperaturas de mezclado y colocación muy rígido a bajas temperaturas y tener un costo favorable. El modificador mezclado con el asfalto base debe mantener sus principales propiedades durante su

almacenamiento, aplicación y servicio; poderse procesar con equipos convencionales, y alcanzar una viscosidad de cubrimiento o esparcimiento a temperaturas normales de aplicación. (Reyes Lizcano, 2003)

2.5.1. Cemento asfáltico modificado con polímeros

El cemento asfáltico modificado con polímeros se define como aquel ligante hidrocarbonado resultante de la interacción física y/o química de polímeros con un cemento asfáltico.

Quedan comprendidos dentro de esta definición, los cementos asfálticos modificados suministrados a granel o los que se fabriquen en el lugar de empleo, en instalaciones específicas independientes. Se excluyen los obtenidos a partir de adiciones incorporadas a los agregados o en el mezclador de la planta asfáltica.

El Tipo I se basa en las propiedades de cementos asfálticos convencionales modificados con polietileno y se empleará en la elaboración de mezclas de tipo drenante.

Los Tipos II, III y IV se basan en las propiedades de cementos asfálticos convencionales modificados con copolímeros de bloque estirénico como el SBS. El Tipo II se aplicará en mezclas drenantes, densas y discontinuas en caliente en general; el Tipo III en mezclas densas y discontinuas en caliente en zonas de altas exigencias, y el Tipo IV se utilizará en la elaboración de mezclas antirreflectoras de grietas del tipo arena asfalto o riegos en caliente para membranas de absorción de esfuerzos. (Invias-Art-400-07)

2.5.1.1. Mecanismo de la modificación. Un ligante modificado está constituido por dos fases distintas. Se consideran tres casos:

Bajo contenido de polímero (inferior al 4%)

En este caso, el bitumen constituye la fase continua en la que se dispersa la fase del polímero. A temperatura de servicio elevadas(a eso de 60c^o), el módulo de la fase de polímero es sensiblemente superior a la de la matriz que conforma la fase del bitumen, lo que le da a esta última la habilidad de mejorarse reforzando la conducta mecánica. A temperaturas bajas el modulo es muy inferior al de la matriz, por lo cual disminuye notablemente la fragilidad. Por tanto, la fase del polímero dispersa mejora las propiedades a temperaturas de servicio elevadas o bajas. En este caso, la escogencia de asfalto es determinante. (Reyes Lizcano, 2003)

Contenido de polímero elevado (superior al 7%)

Como regla general, si el bitumen y el asfalto se seleccionan de manera conveniente, el porcentaje de polímero es suficientemente elevado porque la fase del polímero constituye la matriz del sistema. En este caso no se tiene un bitumen, sino un polímero plastificado por los aceites del bitumen en los que se encuentran dispersos los fragmentos más pesados del ligante base. Las propiedades de este sistema son diferentes de las de un bitumen y dependen de la de los polímeros. (Reyes Lizcano, 2003)

Contenido de polímero del 5%, aproximadamente

En este caso, se obtienen microestructuras en la que las dos fases son continuas. Estos sistemas son difíciles de controlar y tienen problemas de estabilidad (su micromorfología y sus propiedades dependen a menudo de sus condiciones térmicas recientes).

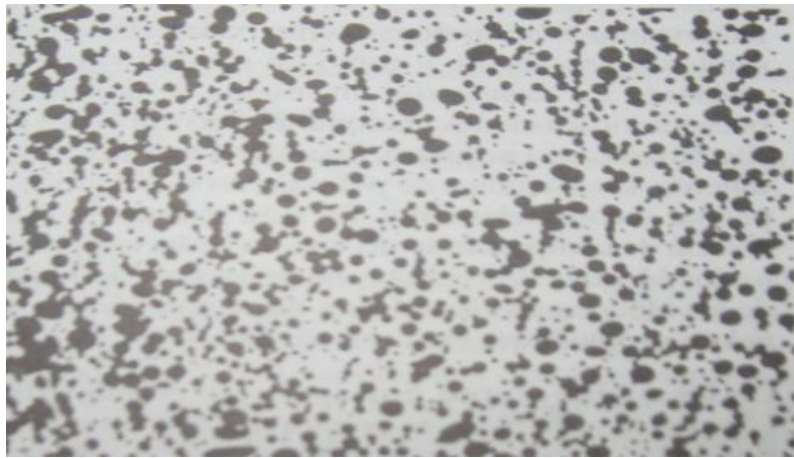
La técnica de microscopia óptica de fluorescencia por reflexión permite visualizar las microestructuras a un factor de escala grande que está generalmente a 250. En esas condiciones de observación la fase del polímero aparece en claro, mientras que la de él bitumen se ve en negro en las figuras 2.1, 2.2, y 2.3 se pueden observar tres tipos de microestructuras. (Reyes Lizcano, 2003).

Figura 1. Microestructura de un ligante modificado con matriz de bitumen



Fuente: Christian Such, Taller de transferencia de tecnología: asfaltos modificados

Figura 2. Microestructura de un ligante modificado con matriz de polímero



Fuente: Christian Such, Taller de transferencia de tecnología: asfaltos modificados

Figura 3. Microestructura de un ligante modificado con dos fases continuas



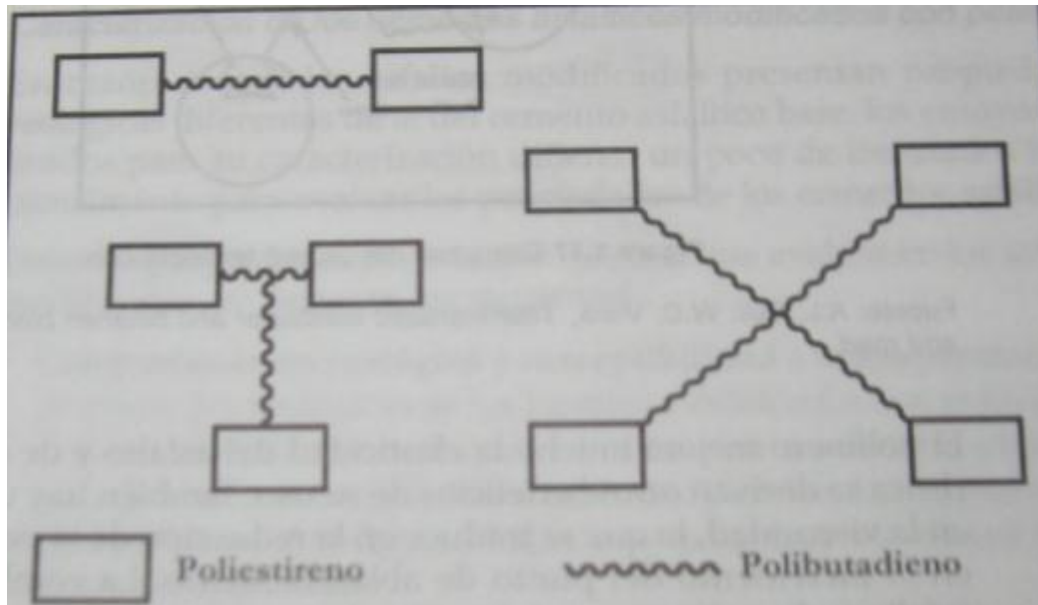
Fuente: Christian Such, Taller de transferencia de tecnología: asfaltos modificados

Modificación de asfaltos con elastómeros termoplásticos

Los cauchos termoplásticos o copolímeros en block, de tipo SBS (estireno, butadieno, estireno) o SIS (estireno, isopreno, estireno) se caracterizan por comportarse como polímeros lineales durante su procesamiento en caliente y como caucho vulcanizado a temperatura ambiente. En esencia son un sistema de dos fases con los bloques de poliestireno asociados en dominios incorporados en una matriz de caucho butadieno o isopreno. Cuando el polímero se dispersa en asfalto caliente, los dominios de poliestireno se ablandan y pueden disolverse parcial o completamente. De esta manera el polímero produce una mezcla de comportamiento viscoso a alta temperatura. Por enfriamiento, los bloques de poliestireno se asocian actuando como reticulantes de los bloques de elastómeros dispersos, confiriéndole al asfalto modificado propiedades elásticas, similares a la de un caucho vulcanizado.

De los cuatro grupos de elastómeros termoplásticos, los copolímeros de bloques de estireno son los que han mostrado mayor potencial para producir asfaltos modificados. Los copolímeros de estireno, llamados comúnmente cauchos termoplásticos, pueden producirse por una operación secuencial de sucesivas polimerizaciones de estireno-butadieno-estireno (SIS). Se pueden producir copolímeros lineales, pero también en forma de estrella, radiales y ramificados como se observa en la figura 4.

Figura 4. Cauchos termoplásticos



Fuente: A.L Bull; W.C Vonk, Thermoplastic elastomer and bitumen blends for roof and road

Los cauchos termoplásticos derivan su resistencia de su configuración ligada cruzada de las moléculas en una red en tres dimensiones. Esto se alcanza por aglomeración de bloques finales de poliestireno en dominios separados, constituyendo la estructura ligada cruzada para una matriz tridimensional de polibutadieno o polisopreno. Los bloques finales de poliestireno son los que le dan al polímero su resistencia y los bloques centrales lo que le proporcionan al material su excepcional elasticidad.

La adición de cauchos termoplásticos en un asfalto, con un peso molecular o mayor que el de los asfáltenos, altera la fase de equilibrio. El polímero y los asfáltenos compiten por el solvente de la clase de los máltenos y si no hay suficientes máltenos tarde o temprano, durante la mezcla o en servicio, habrá segregación de los asfáltenos o del polímero, para remediar esta situación se debe agregar aceite cuidadosamente, ya que la naturaleza de este líquido, que es bien absorbido por el polímero, incide en las propiedades finales de la mezcla. El uso de un aceite con un grado de aromaticidad muy alto llevara a que se disuelvan los bloques finales de

poliestireno y a inhibir la formación de la estructura de dominio que se necesita para endurecer la mezcla cuando vuelva a estar en temperaturas de servicio.

El polímero mejora mucho la elasticidad del asfalto y de esa característica se derivan otros beneficios de su uso. También hay un aumento de la viscosidad lo que se traduce en la reducción de la penetración y en el incremento del punto de ablandamiento. La combinación de asfalto y de polímero se debe seleccionar teniendo en cuenta las características de desempeño del pavimento.

La incorporación de un polímero a un asfalto es un proceso complejo. En general puede decirse que, en una primera etapa, el polímero se dispersa en la masa del betún pero sin ejercer efectos significativos sobre sus propiedades. Posteriormente las partículas del polímero absorben aceites de los máltenos, hinchándose de una manera notable, para dispersarse luego en forma molecular; en esta etapa tienen lugar los cambios reológicos más significativos sobre el asfalto. La composición de los asfaltos tienen una importancia decisiva en las propiedades de los asfaltos modificados, sobre todo en lo que concierne a la aromaticidad de los máltenos y el contenido de asfáltenos. Cuanto menor sea el contenido de asfáltenos de un asfalto, tanto más compatible será dicho asfalto con el polímero.

La buena dispersión del elastómero termoplástico depende primeramente del índice de corte que aplique la mezcladora que se emplee en la elaboración del asfalto modificado. Cuando se añade el polímero, el asfalto penetra inmediatamente en las partículas del polímero, haciendo que los dominios de estireno se disuelvan y se hinchen. Una vez que eso ocurra el nivel de corte aplicado en las partículas hinchadas es crítico si se pretende alcanzar una dispersión satisfactoria dentro de un periodo de mezcla razonable. Por eso, para lograr que el polímero se disperse adecuadamente en el asfalto base, se requiere que mezclen a niveles medios o altos de corte. La temperatura a la cual se mezcla el polímero y el asfalto base está limitada por la temperatura a la que se degrada el polímero. El proceso ideal para

mezclar será aquel que se realice a la menor temperatura posible en el menor tiempo posible. (Reyes Lizcano, 2003)

2.5.2 Caracterización de los cementos asfaltos modificados con polímeros

En razón de que los asfaltos modificados presenten propiedades reológicas diferentes de la del cemento asfáltico base, los ensayos utilizados para su caracterización difieren un poco de los usados tradicionalmente para evaluar las propiedades de los cementos asfálticos.

Entre las propiedades particulares que hay que evaluar en los asfaltos modificados, se destacan las siguientes:

Comportamiento reológico y susceptibilidad a la temperatura

Las propiedades reológicas de los ligantes modificados con polímero se evalúan mediante los ensayos e índices convencionales utilizados para caracterizar los cementos asfálticos: penetración, punto de fragilidad, ductilidad a bajas temperaturas y viscosidad a diferentes temperaturas. (Reyes Lizcano, 2003)

Evaluación de la compatibilidad

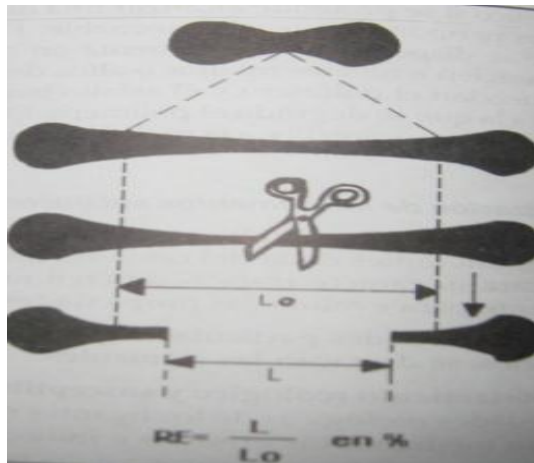
La dispersión del polímero en el cemento asfáltico se realiza por medio de la técnica de microscopía óptica de fluorescencia por reflexión, donde la muestra se ilumina con luz ultravioleta y el polímero disperso en el cemento asfáltico emite una luz visible de color amarillo y de mayor longitud de onda, mientras que el betún no emite fluorescencia, lo cual permite observar la micromorfología de la muestra.

Dicha micromorfología dependerá de la compatibilidad de los componentes, del mecanismo y de las condiciones de fabricación. (Reyes Lizcano, 2003)

Características elásticas

Los ligantes modificados presentan una elasticidad mayor que los ligantes tradicionales. Entre los ensayos utilizados para evaluar las características elásticas, se encuentra el de recuperación elástica por medio del ductilometro. El ensayo consiste en someter la probeta empleada en el ensayo de ductilidad a un estiramiento de 20 cm a una velocidad de 50mm/min. Después del estiramiento, se para el ductilometro y se mantiene la muestra en esa posición durante 5 min; luego se corta la muestra por la mitad con unas tijeras o cualquier otro medio y se deja recuperar durante una hora. Al cabo de ese tiempo se mide la longitud recuperada, reportándose como un porcentaje de la longitud inicial.

Figura 5. Recuperación elástica utilizando el ductilometro



Envejecimiento

Para simular el envejecimiento durante el mezclado y colocación en obra, se utiliza el mismo procedimiento que para los cementos asfálticos sin modificar. El método empleado en el ensayo al horno en película fina rotatoria RTOFT (Rolling thin film oven test).

3. METODOLOGIA

El desarrollo de este proyecto se llevó a cabo con materiales procedentes del sector conocido como pescadero los cuales se le realizaron los ensayos exigidos por la norma Invias para una mezcla MDC-2.

3.1. MATERIAL GRANULAR

Los agregados siguieron una serie de ensayos para conocer sus características y así poder concluir que son materiales aptos para el diseño de una mezcla densa en caliente.

Los ensayos realizados al material granular fueron:

- a. Granulometría de los agregados gruesos y finos (INV.E-213)
- b. Gravedad específica y absorción de los agregados gruesos (INV. E-223)
- c. Gravedad específica y absorción de los agregados finos (INV. E-222)
- d. Resistencia al desgaste de los agregados tamaños menores de 1 ½" por medio de la máquina de los ángeles (INV. E-218)
- e. Caras fracturadas (INV. E-227)
- f. Equivalente de Arena (INV.E -133)
- g. Índice de aplanamiento y alargamiento (INV. E-230)

a. Granulometría de los agregados gruesos y finos (INV.E-213)

La caracterización de los materiales empleados en la construcción de pavimentos flexibles hace necesario conocer la gradación que presentan estos, para tal estudio se necesita seguir al norma Invias (INV E-213). Para realizar el procedimiento descrito en esta norma se debe tener primero el material extendido en una superficie uniforme en la cual se pueda realizar el proceso de

Mezclado para que exista homogeneidad en los agregados, inmediatamente se realiza el cuarteo del mismo sea de forma manual o mecánica para tener una muestra representativa de estudio. Del cuarteo se deben tomar dos cuartas partes. A continuación se somete el material a lavado por el tamiz de lavado para limpiar la muestra de todos los materiales que puedan pasar por el tamiz N 200 aberturas de 75 mm. Posteriormente se lleva el material a un horno a una temperatura de 110 C°. Después de 24 horas se retira el material teniendo en cuenta los pesos antes y después del lavado. Inmediatamente se selecciona la serie de tamices y se deben pesar según la norma técnica Colombiana NTC 32, para luego ordenarlos descendientemente (de mayor a menor abertura), Después de pasar todo el material seleccionado por los tamices se realiza el pesado de cada uno de ellos para continuar con la construcción de la curva granulométrica y el análisis del mismo.

b. Gravedad específica y absorción de los agregados gruesos (INV. E-223)

Este ensayo sigue la norma INV.E-223-07, la cual se hace necesaria para la determinación de las gravedades específicas bulk, saturada, superficialmente seca y con agregados con tamaño mayor a 4.75 mm (tamiz No 4). La gravedad específica es el cociente entre la masa de un volumen unitario de material a una temperatura específica y la masa del mismo del mismo volumen de agua destilada libre de gas a esa temperatura. (Vivas 2011). Para la elaboración de este ensayo se debe someter la mezcla a ensayar a un cuarteo según la norma INV-E-202, para posteriormente lavarse y retirar el material inferior a 4.75 mm, las cantidades mínimas se determinan de acuerdo al tamaño máximo nominal el cual se define como el tamiz que retienen el 5% y el 15% de material total.

El procedimiento a tomar es llevar el material necesario a un horno con una T° de 110 más o menos 5°C, secarlo a temperatura ambiente por más o menos 3 horas. Posteriormente se toma su peso, y se sumerge en agua a temperatura ambiente durante un periodo de 15 a 19 horas.

Después de transcurrido el tiempo de inmersión, se pesa la muestra y se seca con un paño absorbente para eliminar el agua superficial visible. Se toma la lectura de

muestra en estado saturado con superficie seca, para luego colocar la muestra en una canastilla metálica y tomar su peso en estado de masa sumergida en agua. Para finalizar se seca en un horno a temperatura de 110°C hasta masa constante y se toma su peso.

c. Gravedad específica y absorción de los agregados finos (INV. E-222)

Para la realización de este ensayo se recomienda tomar aproximadamente 1 Kg de muestra de material fino, cumpliendo con los procedimientos de la norma INV-E-202. Se debe secar el espécimen en un horno con una temperatura de 110°C al enfriarse se deja sumergido alrededor de 19 horas, posteriormente se elimina el agua teniendo el cuidado de no perder los finos, para luego extenderse en una superficie uniforme lisa y dejarla secar con sol o con aire caliente, en el instante en que se considere que la muestra se encuentre libre de humedad superficial se realiza la prueba de cono, la cual consiste en tomar un molde metálico se introducen cantidades de material y se compacta ligeramente con un martillo dándole 25 golpes. Cuando se llene nuestro molde se enraza y se retira el molde, si hay humedad aun presente en el agregado fino mantendrá su forma y se continuara secando hasta que se produzca su desmoronamiento superficial.

Posteriormente se llena el picnómetro con aproximadamente 500 gr del agregado fino saturado y superficialmente seco y se le añade agua hasta aproximadamente un 90% de su capacidad. Se rueda el picnómetro para eliminar el aire atrapado hasta que no existan burbujas. Luego se enraza el picnómetro con agua a temperatura ambiente y se procede a tomar el peso del picnómetro más la muestra. Se remueve todo el agregado fino del picnómetro se seca a una temperatura de 110°C hasta dar masa homogénea y se toma su peso.

d. Resistencia al desgaste de los agregados tamaños menores de 1 ½” por medio de la máquina de los ángeles (INV. E-218)

La principal implementación de este procedimiento, se realiza para obtener la resistencia al desgaste de agregados naturales o triturados, empleando la citada maquina con una carga abrasiva. Este ensayo nos da un indicador de calidad relativa o competencia de diferentes agregados gruesos.

Primero se deben observar las tablas 1 y 2 de la norma INV E-218 ANEXO 2 y 3 respectivamente, para saber a cuál de las gradaciones es parecida el material a utilizarse. Después se debe tomar una muestra mediante el cuarteo. Posteriormente a una temperatura 100 ± 5 °C. Cuando el material presente masa constante se selecciona el número de esferas y se toma la más que describa el INV E-218 ANEXO 2. Luego se lleva al cuarto acondicionamiento para realizar el respectivo ensayo, se observa que el tambor se encuentre libre de cualquier masa que no sea de la muestra a estudiar. El siguiente paso a seguir es introducir el material al tambor para posteriormente agregar las esferas que deben girar a una velocidad uniforme, hasta completar 500 revoluciones. Una vez cumplidas las revoluciones se debe separar el material ensayado, para el material fino se debe utilizar un tamiz de abertura de 1.70 mm(No 2) y el material ensayado, para el material grueso se debe utilizar un tamiz de abertura mayor a 1.70 mm(No 12). El material grueso se debe lavar y secar en un horno a temperatura 110 ± 5 °C hasta masa continua y se determina la masa.

e. Caras fracturadas (INV. E-227) Se toma la muestra y se debe pasar por el tamiz 4.75 mm (No 4) para separar los agregados gruesos de los finos. Se debe observar la tabla suministrada por el INVIAS anexo 4 y después de esto se debe tomar la cantidad de material especificado. A partir de esta tabla y teniendo un tamaño máximo nominal de $\frac{1}{2}$ ". Luego se lava el material para eliminar las partículas finas. Se seca en un horno a una temperatura constante de 110 ± 5 °C. Después del secado se esparce la muestra en una superficie seca y grande, y se procede a inspeccionar cada partícula para saber si se tiene una o varias caras fracturadas. Con una espátula o herramienta similar se debe clasificar la muestra tres categorías:

Partículas fracturadas, partículas que no cumplen con el criterio especificado y partículas de dudosa o en la frontera. Posteriormente se debe determinar el número de partículas de cada grupo o los pesos de las mismas, se debe utilizar la masa para obtener los cálculos del porcentaje de partículas fracturadas.

Si en alguna de las determinaciones, más del 15% del total, es colocado en el grupo de dudosas, se debe repetir la determinación hasta que no de más del 15% este presente en la categoría.

f. Equivalente de Arena (INV.E-133-07)

Se debe realizar la prueba con materiales gradados que pasen por el tamiz de 4.75 mm (No 4).

(Método con agitador mecánico)

Se obtiene los 85 ml de material a introducir en el recipiente, se seca la muestra hasta masa constante a $100 \pm 15^{\circ}\text{C}$ y se enfría a temperatura ambiente. Después de tener el material se vierte una solución de trabajo de cloruro de calcio en el cilindro graduado hasta una altura de 101.6 ± 2.54 mm, con la ayuda del embudo se vierte la mezcla tratando de no dejar material en las paredes y se golpe el fondo del mismo para liberarla de burbujas de aire. Se deja reposar durante 10 minutos. Al finalizar los 10 minutos se tapa el cilindro y se gira el material para desprender el material que se encuentra en el fondo. Se asegura el cilindro y se pone en el agitador metálico por un tiempo de 45 ± 1 segundo.

Procedimiento de irrigación: Se debe mantener el cilindro en posición vertical, se inserta el tubo irrigador dentro del cilindro, se afloja la pinza de la manguera y se lava el material de las paredes del cilindro, se afloja la pinza de la manguera y se lava el material de las paredes del cilindro a medida que se baja el irrigador el cual llega hasta el fondo del cilindro, aplicando suavemente una acción de presión y giro mientras que la presión de trabajo fluye por la boca del irrigador para que esto

impulse el material fino que se encuentre en el fondo. Se lavan los finos hasta tener en el cilindro una marca de 381 mm (15”), posteriormente se levanta el tubo irrigador y se observa que el líquido se mantenga a la altura anteriormente mencionada y se deja en reposo la muestra durante 20 min \pm 15 s.

Determinación de la lectura de Arcilla: Después de pasados los 20 min del periodo de sedimentación, se toma la lectura y se toma el nivel de la parte superior, a este valor se denomina lectura de arcilla. Si la lectura no se puede tomar en un periodo máximo de 30 min se debe repetir el procedimiento.

Determinación de la lectura de Arena: después de tomar la lectura de arcilla, se introduce el conjunto del disco, la barra y el sobrepeso hasta que llegue a la arena. Cuando el pie descansa sobre la arena, se inclina el dispositivo hacia las graduaciones del cilindro hasta que el indicador toca la pared del cilindro. Se restan 254 mm (10”) y se registra el valor como lectura de la arena.

Nota: Si las lecturas de los meniscos están debajo de un número entero se debe aproximar al número mayor.

g. índice de aplanamiento y alargamiento (INV.E-230)

Se debe realizar el procedimiento de tamizado como se describe en la norma INV.E-213. Se rechazan las partículas retenidas en el tamiz de 63 mm y las que pase el tamiz de 6.3 mm. Se pesan los retenidos en las diferentes fracciones. La mínima muestra de ensayo se da en función del tamaño máximo nominal del agregado a ensayar.

Índice de aplanamiento:

Se separan las partículas planas de cada fracción, se tamiza cada fracción por el tamiz de barras paralelas. Se procede a dejar en un lugar separado las partículas

que no pasen para luego determinar la masa de las partículas que pasaron por el tamiz de barra, es decir las planas.

Índice de alargamiento:

Se separa el material con la forma alargada de cada una de las fracciones, se pasa la partícula de la fracción en el calibrador de alargamiento por la separación entre las barras, y se toma la masa de las partículas retenidas en el calibrador.

3.2 ASFALTO

Tres métodos basados en su penetración, viscosidad o comportamiento se usan para clasificar el cemento asfáltico en diferentes grados. El grado de penetración del cemento asfáltico se especifica en ASTM D-946, con cinco penetraciones estándares, 40-50, 60-70, 85-100, 120-150, 200-300.

El ensayo de penetración mide la penetración de una aguja estándar dentro de un cemento para pavimentación bajo cierta temperatura, tiempo y carga. Obviamente un alto valor de penetración representa un cemento asfáltico blando. Por ejemplo, 40-50 es un grado alto, y 200-300 es un grado blando.

El segundo método para clasificación el cemento asfáltico es por el grado de viscosidad, especificado en ASTM D-3381. Este se basa en la viscosidad del cemento asfáltico original o por la viscosidad del cemento asfáltico después de curado en el horno de película delgada. Ambas viscosidades se miden en 140 °F (60 °C) y reportado en poises.

El tercer método de clasificación asfáltica involucra el comportamiento. La mayoría de las Mezclas Asfálticas en Caliente, entre los años 1940 a 1990, fueron diseñadas usando los métodos Marshall o Hveem. De acuerdo con la bibliografía consultada, aproximadamente el 75% de los departamentos de carreteras en Estados Unidos emplean el método Marshall, mientras que el 25% el método Hveem. Algunos

estados de los Estados Unidos usan ambos métodos para materiales similares consiguiendo un mejor entendimiento de las características de mezcla.

Ensayos que se practicaron al bitumen:

- a. Punto de Ablandamiento (INV.E-712-07)
- b. Punto de ignición y llama mediante la copa abierta Cleveland (INV.E-709-07)
- c. Penetración de los materiales bituminosos (INV.E-706-07)

Ensayos que se realizaron al bitumen en Corasfaltos por falta de equipos en el laboratorio de la UPB fueron:

- d. Determinación de las propiedades reológicas de un ligante asfáltico usando un reómetro de corte dinámico (DSR). Norma AASHTO TP5 NCT 5340.
- e. Envejecimiento del asfalto INV-720
- f. Ensayo de recuperación elástica INV-727

a. Punto de Ablandamiento (INV.E-712-07)

Dos discos horizontales de material bituminoso, fundidos entre anillos de bronce, se calientan a una rata controlada en un baño líquido, mientras cada uno de ellos soporta una bola de acero. El punto de ablandamiento se considera como el valor promedio de las temperaturas, a la cuales los dos discos se ablandan lo suficiente, para permitir que cada bola envuelta en material bituminoso, caiga desde una distancia de 25 mm (1").

b. Punto de ignición y llama mediante la copa abierta Cleveland (INV.E-709-07)

La copa del ensayo se llena con la muestra hasta un nivel especificado. Se aumenta rápidamente la temperatura inicial de la muestra y luego a una rata constante y lenta, a medida que se aproxima al punto de ignición. A intervalos de tiempo

especificados se pasa una pequeña llama de ensayo a través de la copa. La temperatura más baja a la cual la aplicación de la llama de ensayo haga que se incendien los vapores que se encuentran por encima de la superficie del líquido, se toma como el punto de ignición. Para determinar el punto de llama, se continúa la aplicación de la llama de ensayo hasta cuando ésta haga que el aceite se quemé por lo menos durante 5 segundos.

c. Penetración de los materiales bituminosos (INV.E-706-07)

Se toman 400 a 500 gramos de material depositados en un recipiente, se calienta con cuidado para que eviten sobrecalentamientos, al alcanzar la fluidez se vierte en los moldes destinados para el ensayo. Las temperaturas de calentamiento no podrán ser superiores al punto de ablandamiento en más de 90°C y no se podrán pasar de 30 min.

Se procederá a llenar los moldes, los cuales deben estar a temperatura semejante al material ensayado para posteriormente llenar dos muestras de ensayo y el material debe ser superior a 10 mm de la penetración esperada.

Cuando se tenga el material bituminoso en el molde se debe tapar para evitar la entrada de polvo u otros elementos en el ambiente. Se deja enfriar a una temperatura entre los 20°C y 30°C por un periodo entre 1 y 1.5 horas. Se sumergen los moldes a baño de agua a temperatura especificada, se mantiene así durante los dos primeros periodos.

Ejecución del ensayo: Se supervisa las condiciones de los materiales para el ensayo y se acondicionan para que cumplan la norma. El ensayo de penetración se realiza directamente en el baño de aguas colocado en el penetrometro sobre la plataforma que para este fin debe tener el baño.

Una vez transcurridos el tiempo de inmersión se aproxima la aguja del penetrometro hasta que la punta toque la superficie de la muestra. Se pone en cero el penetrometro y se suelta el mecanismo para que la aguja se libere durante el tiempo especificado. Se lee y anota la distancia expresada en decimas de milímetros. Se realizan por lo menos tres penetraciones sean más profundas de 200, se usaran al menos tres agujas dejándolas en la muestra hasta que las tres determinaciones se hayan completado. El volumen total del material en el recipiente no debe exceder los 125 ml.

d. Determinación de las propiedades reológicas de un ligante asfáltico usando un reómetro de corte dinámico (DSR). Norma AASHTO TP5 NTC 5340.

Equipo: Dynamic Shear Rheometer-AR 200 ex TA INSTRUMENTS

El reómetro de corte dinámico (DSR) mide el módulo complejo (G^*) y el ángulo de fase (δ), sometiendo la muestra de cemento asfáltico original, el residuo del envejecimiento RTFO y del PAV a tensiones de corte, lo cual permite calcular la respuesta.

e. Envejecimiento del asfalto INV-720

Método de Ensayo Estándar para efecto de calor y aire sobre una película de asfalto en movimiento (Ensayo en horno de lámina asfáltica delgada en movimiento, RTFOT).

Norma: I.N.V.E-720 (ASTM D 2872)

Incertidumbre: fue calculada según el ensayo Viscosidad de asfaltos por el viscosímetro capilar de vacío a 60°C sobre el residuo. $U = 6876,073 P \pm 334,355 P$, con un nivel de confianza del 95% y $K=1,981$

La prueba consiste en someter el asfalto a 163 °C en un horno diseñado y construido con un plato movable, por un período de tiempo de 85 minutos, con un flujo de aire continuo de 4000 ml/minuto. Este ensayo simula el envejecimiento termo-oxidante que sufre el cemento asfáltico en planta de fabricación de mezcla en caliente.

f. Ensayo de recuperación elástica INV-727

Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para determinar el grado de elasticidad que presentan los asfaltos modificados en particular con polímeros, de aplicación en construcción de carreteras.

En el procedimiento se describe, un cilindro de dimensiones especificadas se sumerge en la muestra del ligante bituminoso modificado. Mediante un dispositivo de torsión se gira 180° y se determina, después de 30 minutos, el ángulo recuperado por él.

3.3 CENIZA

Se realizaron tres ensayos para la caracterización de este material, el procedimiento fue similar al seguido para materiales pétreos finos y por este motivo no se escribirá de nuevo la metodología de los ensayos de granulometría y de peso específico.

Con respecto al ensayo de contenido de materia orgánica se tenía presupuestado hacer el ensayo por colorimetría pero debido a que la ceniza tenía un color negro y este no se encuentra en el rango de este ensayo no se pudo realizar, por lo cual fue cambiado por el contenido de materia orgánica por ignición.

- **Granulometría de los agregados gruesos y finos (INV.E-213)**
- **Peso específico y absorción de los agregados finos (INV.E-222)**
- **Determinación del contenido orgánico en suelos mediante pérdida por ignición (I.N.V-121-07)**

Determinación del contenido orgánico en suelos mediante pérdida por ignición (I.N.V.E-121-07)

El método de “perdida por ignición” para la determinación del contenido orgánico es más aplicable a aquellos materiales identificados como turbas, lodos orgánicos y

suelos que contengan materia vegetal relativamente no descompuesta ni deteriorada o materiales de plantas frescas como madera, raíces, pasto o materiales carbonáceos como lignítico, carbón, etc.

Se escoge una muestra que pese aproximadamente de 10 a 40 gr, se coloca en crisoles tarados o en platos de evaporación de porcelana y se pesa, seguido a esto se coloca el crisol o el plato que contiene la muestra dentro de la mufla durante 6 horas a $445^{\circ}\pm 10^{\circ}$ C. se saca la muestra de la mufla, se coloca en el desecador y se permite su enfriamiento, se remueve del desecador la muestra enfriada y se pesa con aproximación a 0.01gr.

El contenido de materia orgánica se calcula así:

$$\% \text{ de Materia Orgánica} = (A-B/A-C)*100$$

Dónde:

A = peso del crisol o plato de evaporación y del suelo seco al horno antes de la ignición.

B = peso del crisol o plato de evaporación y del suelo seco después de la ignición

C = peso del crisol o plato de evaporación, con aproximación a 0,01gr.

3. 4 BRIQUETAS REALIZADAS POR EL METODO DE DISEÑO MARSHAL

Las briquetas fueron realizadas por el método de diseño Marshall el cual tiene su norma INV-E-748 este es un método diseñado para materiales menores a 25mm y el control del diseño se llevó acabo con la tabla 3 Control de calidad para mezclas asfálticas según criterios de calidad Marshall.

Tabla 3. Control de calidad para el diseño preliminar de la mezcla asfáltica en caliente de gradación continua por el método Marshall.

CARACTERÍSTICA	NORMA ENSAYO INV	MEZCLAS DENSAS, SEMIDENSAS Y GRUESAS			MEZCLA DE ALTO MÓDULO	
		CATEGORÍA DE TRÁNSITO				
		NT1	NT2	NT3		
Compactación (golpes/cara)	E-748 (E-800) (Nota 1)	50	75 (112)	75 (112)	75	
Estabilidad mínima (N)		5,000	7,500 (16,875)	9,000 (33,750)	15,000	
Flujo(mm) (Nota 2)		2.0 a 4.0	2.0 a 4.0 (3.0 a 6.0)	2.0 a 3.5 (3.0 a 5.3)	2.0 a 3.0	
Relación Estabilidad / Flujo (kN/mm)		2.0 a 4.0	3.0 a 5.0 (4.5 a 7.5)	3.0 a 6.0 (4.5 a 9.0)	-	
Vacíos con aire (V _a),% (Nota 3)	Rodadura	E-736	3.0 a 5.0	3.0 a 5.0	4.0 a 6.0	NA
	Intermedia	o	4.0 a 8.0	4.0 a 7.0	4.0 a 7.0	4.0 a 6.0
	Base	E-799	NA	5.0 a 8.0	5.0 a 8.0	4.0 a 6.0
Vacíos en los agregados minerales (VAM), % mínimo	T. Máx. 38 mm	E-799	13.0			-
	T. Máx. 25 mm		14.0			14.0
	T. Máx. 19 mm		15.0			-
	T. Máx. 10 mm		16.0			-
Vacíos llenos de asfalto (VFA), %	E-799	65 a 80	65 a 78	65 a 75	63 a 75	
Relación 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				

Fuete: Invias-art-400-2013

Las briquetas se realizaron de acuerdo al método Marshall según el ensayo INV.E-748-07 el cual recomienda realizar mínimo tres por contenido de asfalto ,pero por motivos de precaución se hicieron cuatro por si alguna briqueta nos salía defectuosa se pudiera eliminar su dato y no afecte en manera considerable la media hallada para analizar los datos, por lo cual en cada mezcla había tres porcentajes de asfalto y cuatro briquetas por porcentaje dando como resultado por mezcla 12 briquetas y elaboramos 7 mezclas dando como resultado 84 briquetas en total

Este ensayo se realizó con el fin de observar las siguientes propiedades en las mezclas:

- Estabilidad
- Flujo
- Contenido de asfalto
- Densidad Bulk

Compactación de las probetas

Se debe calentar el molde, el collar, el martillo en un horno o cocina a una temperatura de 110°C a 140°C, seguidamente se tiene listos los materiales a una temperatura adecuada, se coloca un papel filtro y se introduce el material dentro del molde para posteriormente aplicarle 25 golpes para lograr la homogeneidad en la mezcla, los golpes deben ser aplicados 10 en el centro de la mezcla y 15 por los bordes del molde, se toma la lectura de la temperatura para garantizar que sea adecuada y procede a aplicar 75 golpes por cada cara con un martillo dispuesto para este ensayo a una altura de 18". Se marca con un corrector o crayola se le toman tres medidas de diámetro y tres medidas de altura para luego promediarse y observar sus dimensiones. Se dejan aproximadamente 24 horas para luego ser ensayadas.

Ensayos siguientes a la compactación de las probetas:

- Determinación del peso específico
- Análisis de la densidad de vacíos
- Ensayo de estabilidad y flujo

Peso específico Bulk

Gb: $(W_a) / (W_{ss} - W_w)$

W_a: Peso de la muestra seca al aire.

W_{ss}: Peso de la muestra superficialmente seca e internamente saturada.

Ww: peso de la muestra en el agua, el consta de colocar una canastilla en donde se coloca la probeta, que descansa sobre un balde de agua y a su vez suspendido de la balanza que determina este peso.

Estabilidad y flujo

Se lleva la probeta a un baño María durante un tiempo de 30 minutos a una temperatura de 60°C mediante un sistema de calefacción, se acondiciona el aparato Marshall aplicando una película delgada de aceite a las barras guías y anillos. Cuando esté listo, se seca la probeta y se pone en medio de los anillos, ajustando el conjunto. Se coloca el dial de medidor de flujo ajustado su aguja en cero. Se enciende el aparato Marshall observando la máxima carga que es cuando ocurre la falla de (Estabilidad) se anota ese valor y en ese instante la máxima lectura del dial que es el (Flujo). En el formato la carga se escribe en (Lb) por lo cual se debe multiplicar por 2.2046,0 el valor de flujo será expresado en 0.25 mm (1/100"). Si el dial se deforma 3.8mm en otras palabras 0.15 pulgadas el valor del flujo será de $0.15" * 100 = 15$.

Análisis de densidad y vacíos

Se promedian los pesos específicos Bulk de las probetas elaboradas con el mismo porcentaje de asfalto. Este mismo valor se multiplica por 62.4 para obtener el dato en el sistema inglés. Se calcula el peso específico promedio del agregado total.

$$PsAgr = (Psagr + Psaf) / (2)$$

Psagr: Peso específico agregado grueso.

Psaf: Peso específico de agregado fino.

Se determinara el peso específico máximo teórico.

$$Psmt = (100) / ((\% \text{ de agregados} / Psagr) + (\% \text{ cemento asfáltico} / Psaf))$$

PsAgr = Peso específico del agregado

PsAsf = Peso específico del asfalto

Se toma el dato de porcentaje de asfalto como porcentaje de volumen total de probetas, para calcular el porcentaje en volumen que ocupa el agregado con respecto al volumen total de la probeta. Posteriormente se halla el porcentaje de vacíos en los agregados minerales en la mezcla compactada, que es igual a la resta de 100 menos el volumen total de los agregados.

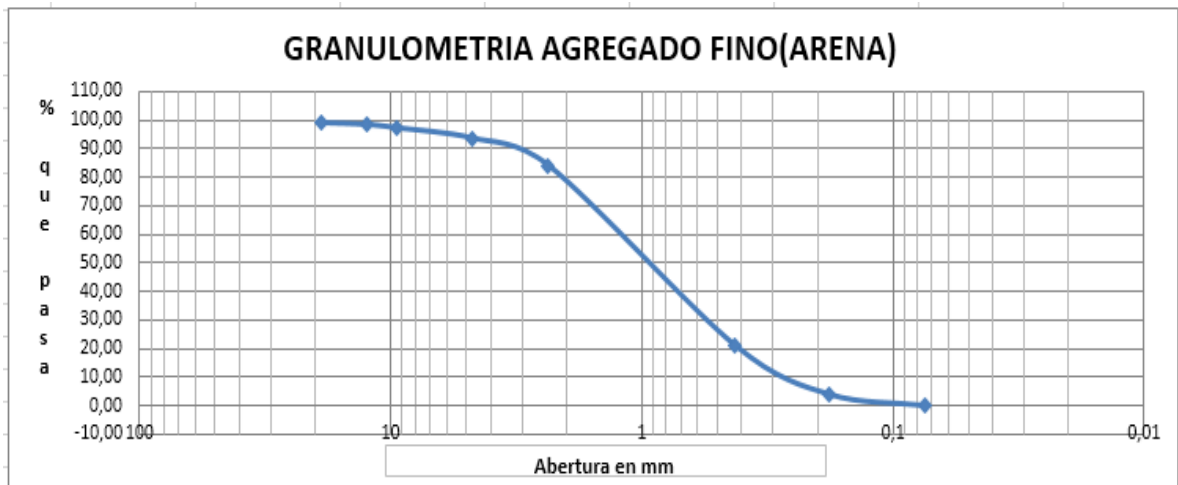
Se calcula el porcentaje de vacíos con aire en la mezcla total con respecto la mezcla compactada. Finalmente se calcula la estabilidad corregida que es para aquellas probetas que no tenga la altura de 2.5 pulgadas según los factores que corresponda.

4. RESULTADOS

4.1 CARACTERIZACION DEL MATERIAL GRANULAR

El agregado fino (arena) es un material con una buena gradación, presenta una curva granulométrica esbelta y sin cambios fuertes en su pendiente podemos observarla en la figura 6 los datos y cálculos se encuentran en el ANEXO 2

Figura 6. Granulometría del agregado fino (INV.E-213)



El agregado grueso presenta una curva sin cambios fuertes en su pendiente Como se observa en la figura 7 los datos y cálculos se encuentran en el ANEXO 1.

Figura 7. Curva granulométrica del agregado grueso



a. Gravedad específica y absorción de los agregados gruesos (INV. E-223)

Resultados de la gravedad específica para el agregado grueso se muestran en la tabla 4, los datos y los cálculos se encuentran en el ANEXO 3.

Tabla 4. Gravedad específica y absorción del agregado grueso.

TIPO DE GRAVEDAD	UNIDADES (gr/cm ³)
Específica aparente	2,61
Específica Bulk s.s.s	2,59
Específica Bulk	2,58
% de absorción	0,54

b. Gravedad específica y absorción de los agregados finos (INV. E-222)

Resultados del ensayo de gravedad específica para finos se muestra en la tabla 5, los datos y cálculos de este ensayo se encuentran en el ANEXO 4.

Tabla 5. Gravedad específica y absorción del agregado fino

TIPO DE GRAVEDAD	UNIDADES (gr/cm ³)
Específica aparente	1,59
Específica Bulk s.s.s	2,05
Específica Bulk	2,84
% de absorción	27,76

c. Resistencia al desgaste de los agregados tamaños menores de 1 ½” por medio de la máquina de los ángeles (INV. E-218)

Resumen del ensayo de resistencia al desgaste utilizando una granulometría tipo B y 11 esferas se muestra en la Tabla 6 y sus cálculos y datos los encontramos en el ANEXO 5.

Tabla 6. Resumen del ensayo de resistencia al desgaste en la maquina de los angeles.

Tipo de granulometría	Tamices	Peso (gr)	Nº Esferas	% Desgaste
B	1/2”	2504,7	11	26,13
	3/8	2504		

d. Caras fracturadas (INV. E-227)

Resultados del ensayo de caras fracturadas se muestra en la tabla 7.

Tabla 7. Caras fracturadas

Tamiz	Tamiz	Q	F	N	P
Pasa	Retenido	(gr)	(gr)	(gr)	%
1 ½”	1”	0	0	0	
1”	¾”	73,3	66,7	6,6	70,50
¾”	½”	757,1	535,2	221,9	60,35
½”	3/8”	460,4	385,9	74,9	66,88

Q: Peso muestra real

F: Peso material caras fracturadas

N: Peso material caras no fracturadas

P: % de partículas con el número especificado de caras fracturadas

e. Equivalente de Arena (INV.E -133)

En estos ensayos se notó poca proporción de arcilla y una muy buena cantidad de arena se observan los resultados y porcentajes en la tabla 8.

Tabla 8. Equivalente de arena

Ensayo 1	Pulgadas	Equivalente de arena (%)
Arena	3,3	87
Arcilla	3,8	
Ensayo 2		
Arena	3,2	86
Arcilla	3,7	
Promedio		87

f. Índice de aplanamiento y alargamiento (INV. E-230)

Los resultados de los índices de aplanamiento y alargamiento se muestran a continuación en la tabla 9.

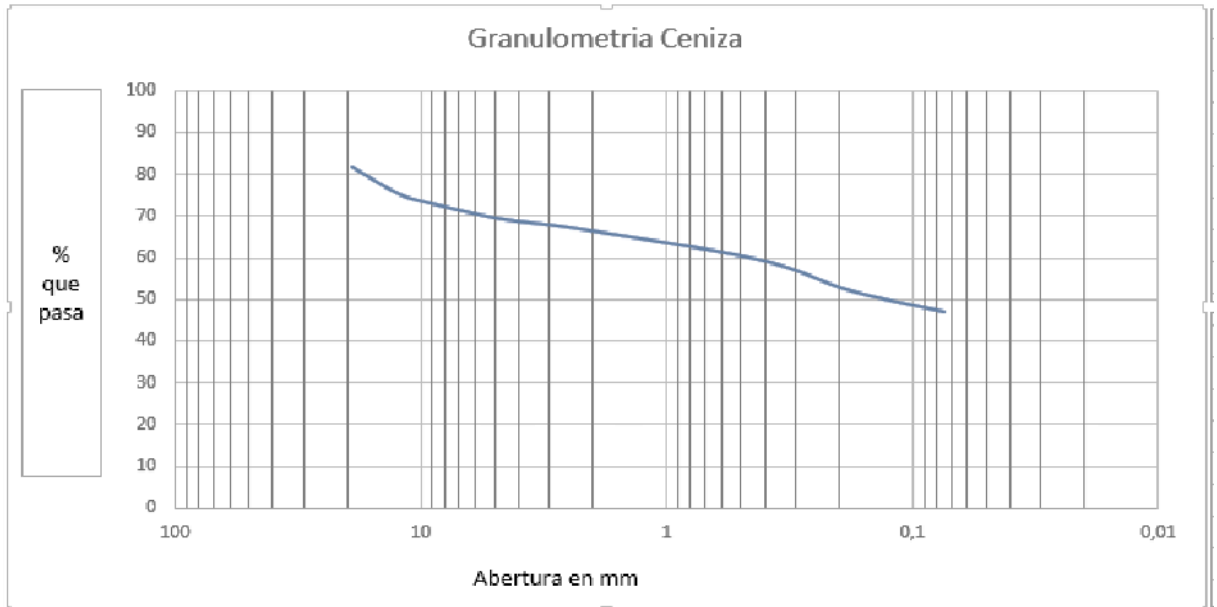
Tabla 9. Índice de aplanamiento y alargamiento

Peso muestra (gr)		1563,3				
Tamiz	Peso Retenido	Aplanamiento	Alargamiento			
		Wpasa(Wapi)gr	Wretenido(Wail)gr	I. Aplanamiento	I. Alargamiento	% Retenido
1 1/2"-1"	0					
1"-3/4"	102,9	73,1	0	71,04	0,00	6,58
3/4"-1/2"	773,8	68,7	91,6	8,88	11,84	49,50
1/2"-3/8"	448,3	61,8	137,5	13,79	30,67	28,68
3/8"-No 4	227,4	98,3	81,3	43,23	35,75	14,55
Sumatorias	1552,4	301,9	310,4			99,30
		Promedio Ponderado Indices				
		I.Aplanamiento	19,45			
		I.Alargamiento	19,99			

4.1.2 Caracterización de la ceniza volante

La ceniza fue caracterizada por algunos ensayos utilizados para agregados finos entre ellos la granulometría que podemos observar en la siguiente Figura 8 y sus datos y cálculos en el ANEXO 6.

Figura 8. Curva granulométrica de la ceniza



Peso específico y absorción INV.E-222-07

A continuación se encuentra el resumen del ensayo de peso específico de la ceniza realizado por el ensayo INV.E-222 para un fino los resultados los encontramos en la tabla 10 y los cálculos y datos los encontramos en el ANEXO 7.

Tabla 10. Gravedad específica y absorción de la ceniza

TIPO DE GRAVEDAD	UNIDADES (gr/cm3)
Específica aparente	0,99
Específica Bulk s.s.s	0,99
Específica Bulk	0,86
% de absorción	16,15

Contenido de materia orgánica por ignición INV. E-121-07

El ensayo de contenido de materia orgánica se tenía previsto hacer por colorimetría el cual no se pudo llevar a cabo debido a que la ceniza que se trabajó presentaba un color negro, por lo cual se cambió al contenido de materia orgánica por el método de ignición mostrado en la Tabla 11.

Tabla 11. Contenido de materia orgánica por el método de ignición.

Peso iniciales (gr)	Peso final (gr)	Peso del crisol	% materia orgánica
50	39,64	65,4	20,8
50	39,30	85,9	21,4
Promedio %			21,1

4.2.3 Caracterización del asfalto convencional

El asfalto se caracterizó en dos laboratorios los resultados que encontramos a continuación son los elaborados en el laboratorio de pavimentos de la UPB (Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga) y al final de los ensayos de cada tipo de asfalto se encontraran los elaborados en los laboratorios de Corasfaltos laboratorios localizados en el municipio Piedecuesta en la vía que conduce a Guatigura. Se hace la salvedad que al asfalto que se modificó en un 10% no se llevó muestra para analizar en los laboratorios de Corasfaltos debido a que no se creyó conveniente debido a que las briquetas realizadas con este asfalto no tuvieron buen comportamiento en su estabilidad.

a. Punto de Ablandamiento asfalto convencional (INV.E-712-07)

Resultado obtenido del ensayo de ablandamiento elaborado en la UPB lo encontramos en la tabla 12.

Tabla 12. Punto de ablandamiento asfalto convencional

Muestra	T (C°)
1	48
2	47
Promedio	47,5

b. Punto de ignición y llama mediante la copa abierta Cleveland asfalto convencional (INV.E-709-07)

Resultado del ensayo de ignición y llama realizado en el laboratorio de la UPB tabla 13.

Tabla 13. Ignición y llama mediante la copa Cleveland asfalto sin modificar

Muestra	Ignición (C°)	P. llama (C°)
1	176	250
2	172	244
Promedio	174	247

c. Penetración de los materiales bituminosos convencionales (INV.E-706-07)

Resultado del ensayo de penetración realizado en el laboratorio de la UPB tabla 14

Tabla 14. Penetración del material bituminoso convencional

Nº	Penetración(mm)
1	63
2	65
3	62,2
4	62,4
5	64
6	63,5
Promedio	63,35

d. Peso específico del asfalto sólido (INV.E-711)

Resultado del ensayo de peso específico realizado en los laboratorios de la UPB tabla 15.

Tabla 15. Peso específico sólido de asfalto sin modificar

Muestra	peso (gr)	volumen (cm3)	Peso específico (gr/cm3)
1	3,55	3,5	1,01
2	4,05	4	1,01
3	5,9	6	0,98
		Promedio	1,00

Ensayos realizados al asfalto sin modificar en los laboratorios de Corasfaltos municipio de Piedecuesta vía Guatiguara.

Resultados de los ensayos de RET (Recuperación elástica por torsión) y envejecimiento del asfalto en el procesos de producción tabla 16

Tabla 16. Resultados ensayos de envejecimiento (INV.E-720) y RET (INV.E-727) realizados en el laboratorio de Corasfaltos.


Laboratorio Corasfaltos	RET(Recuperación elástica Por torsión) INV.E-727		Envejecimiento Norma:
Tipo de asfalto	Ángulo recuperado	RET	% de cambio de masa
Sin modificar	0	0	-0,299

Propiedades reológicas del asfalto sin modificar ensayo realizado en el laboratorio de Corasfaltos Tabla 17 .NTC-5340

Tabla 17. Propiedades reológicas del asfalto sin modificar laboratorio Corasfaltos

Tabla 5. Resultados del Asfalto original G-113-14-2

ASFALTO ORIGINAL			
Prueba, Método		Resultados	Especificación
Reómetro de Corte Dinámico (DSR), NTC 5340			
Temperatura (°C)	G* (kPa)	δ (grados)	G* / Sen δ (kPa)
58,0	3,714	84,37	3,732
64,0	1,650	85,99	1,654
70,0	0,783	87,23	0,784



Mínimo 1.0 kPa

4.2.4 Asfalto modificado con elastómero o caucho en un 5%

a. Punto de Ablandamiento (INV.E-712-07)

Resultado obtenido del ensayo de ablandamiento al asfalto modificado en un 5% elaborado en la UPB tabla 18.

Tabla 18. Punto de ablandamiento asfalto modificado en un 5%

Muestra	T (C°)
1	48
2	49
Promedio	48,5

b. Punto de ignición y llama mediante la copa abierta Cleveland asfalto modificado con un 5% de caucho (INV.E-709-07)

Resultado asfalto modificado en un 5% ensayo de ignición y llama realizado en el laboratorio de la UPB tabla 19.

Tabla 19. Ignición y llama mediante la copa Cleveland asfalto modificado en un 5%

Muestra	Ignición (C°)	P. llama (C°)
1	240	280
2	246	285
Promedio	243	282,5

c. Penetración de los materiales bituminosos (INV.E-706-07)

Resultado asfalto modificado en un 5% del ensayo de penetración realizado en el laboratorio de la UPB tabla 20

Tabla 20. Penetración del material bituminoso modificado en un 5%

Nº	Penetración (mm)
1	84
2	82
3	80
4	80
5	82
6	81
Promedio	81,50

d. Peso específico del asfalto sólido modificado en un 5% con caucho (INV.E-711)

Resultado asfalto modificado en un 5% del ensayo de peso específico realizado en los laboratorios de la UPB tabla 21.

Tabla 21. Peso específico sólido de asfalto modificado en un 5%

Muestra	peso (gr)	volumen (cm3)	Peso específico (gr/cm3)
1	1,22	1,5	0,81
2	1,46	1,7	0,86
3	1,96	2	0,98
	Promedio		0,88

Ensayos realizados al asfalto modificado en un 5% con caucho en los laboratorios de Corasfaltos municipio de Piedecuesta vía Guatiguara.


Resultados de los ensayos de RET (Recuperación elástica por torsión) y envejecimiento del asfalto en el procesos de producción tabla 22

Tabla 22. Resultados ensayos de envejecimiento (INV.E-720) y RET (INV.E-727) realizados en el laboratorio de Corasfaltos para un asfalto modificado en un 5% con caucho.

Laboratorio Corasfaltos	RET(Recuperación elástica Por torsión) INV.E-727		Envejecimiento Norma:INV.E-720
Tipo de asfalto	Ángulo recuperado	RET	% de cambio de masa
Modificado 5%	13	7	-0,291

Propiedades reológicas del asfalto modificado en un 5% con caucho ensayo realizado en el laboratorio de Corasfaltos Tabla 23 .NTC-5340

Tabla 23. Propiedades reológicas del asfalto modificado en un 5%

ASFALTO ORIGINAL				
Prueba, Método			Resultados	Especificación
Reómetro de Corte Dinámico (DSR), NTC 5340				
Temperatura (°C)	G* (kPa)	δ (grados)	G* / Sen δ (kPa)	 Mínimo 1.0 kPa
64,0	3,331	80,41	3,378	
70,0	1,648	82,07	1,664	
76,0	0,872	83,08	0,879	

4.2.5 Asfalto modificado con elastómero o caucho en un 10%

a. Punto de Ablandamiento asfalto modificado con caucho en un 10% (INV.E-712-07)

Resultado obtenido del ensayo de ablandamiento al asfalto modificado en un 10% elaborado en la UPB tabla 24.

Tabla 24. Punto de ablandamiento asfalto modificado en un 10%

Muestra	T (C°)
1	49
2	49
Promedio	49

b. Punto de ignición y llama mediante la copa abierta Cleveland (INV.E-709-07)

Resultado asfalto modificado en un 10% ensayo de ignición y llama realizado en el laboratorio de la UPB tabla 25.

Tabla 25. Ignición y llama mediante la copa Cleveland asfalto modificado en un 10%

Muestra	Ignición (C°)	P. Llama (C°)
1	250	295
2	245	290
Promedio	247,5	292,5

c. Penetración de los materiales bituminosos modificados con caucho en un 10% (INV.E-706-07)

Resultado asfalto modificado en un 10% del ensayo de penetración realizado en el laboratorio de la UPB tabla 26

Tabla 26. Penetración del material bituminoso modificado en un 10%

Nº	Penetración(mm)
1	83
2	84
3	81
4	84
5	82
6	84
Promedio	83,00

d. Peso específico del asfalto sólido modificado en un 10% con caucho (INV.E-711)

Resultado asfalto modificado en un 10% del ensayo de peso específico realizado en los laboratorios de la UPB tabla 27.

Tabla 27. Peso específico sólido de asfalto modificado en un 10%

Muestra	peso (gr)	volumen (cm3)	Peso específico (gr/cm3)
1	3,05	3	1,02
2	3,09	3	1,03
3	2,51	2,5	1,00
		Promedio	1,02

4.3 RESULTADOS DE LA PRUEBA MARSHALL

Los resultados se muestran en tres tablas resumidas la primera tabla 28 es el asfalto que no fue modificado, la segunda tabla 29 se muestra el resumen de las mezclas modificadas en un 5% y la tercera tabla 30 se muestran los resultados resumidos de las mezclas modificadas en un 10%.

Tabla 28. Resumen resultados de briquetas diseñadas con el asfalto convencional

Mezcla	Asfalto %	Volumen cm3	Peso Especifico		Volumen % Total			Vacios %			Peso unitario (lb/pulg3)	Estabilidad Medida	Flujo 0,01''
			Actual	Teorico	Asfalto	Agregado	Vacios	Agregados	Mezcla total	Llenos			
A													
	4,5	559	2,13	2,38	9,51	79,14	11,35	20,86	11,35	0,46	132,92	1182,75	15,25
	5	551	2,16	2,37	10,88	81,06	8,06	18,94	8,06	0,57	135,05	1647,25	9,875
	5,5	549,38	2,18	2,35	11,95	80,52	7,53	19,48	7,53	0,61	135,96	2360,50	14

Tabla 29. Resumen resultados de briquetas diseñadas con asfalto modificado en un 5% con caucho

Mezcla	Asfalto %	Volumen cm3	Peso Especifico		Volumen % Total			Vacios %			Peso unitario (lb/pulg3)	Estabilidad Medida	Flujo 0,01''
			Actual	Teorico	Asfalto	Agregado	Vacios	Agregados	Mezcla total	Llenos			
Prom													
B,C,D													
	4,5	564,29	2,11	2,48	9,48	74,24	16,28	25,76	14,82	0,39	131,62	1304,75	12,50
	5	560,55	2,11	2,45	10,43	73,11	16,46	26,89	14,04	0,43	131,69	1118,08	13,92
	5,5	560,17	2,13	2,43	11,71	74,22	14,07	25,78	12,18	0,49	132,81	1226,00	14,14

Tabla 30. Resumen resultados de briquetas diseñadas con asfalto modificado en un 10% con caucho

Mezcla	Asfalto %	Volumen cm3	Peso Especifico		Volumen % Total			Vacios %			Peso unitario (lb/pulg3)	Estabilidad Medida	Flujo 0,01''
			Actual	Teorico	Asfalto	Agregado	Vacios	Agregados	Mezcla total	Llenos			
Prom													
E,F,G													
	4,5	580,03	2,05	2,52	9,22	72,18	18,60	27,82	18,79	0,33	128,01	522,83	14,00
	5	572,38	2,08	2,46	10,38	72,76	16,86	27,24	17,07	0,38	129,99	583,83	14,08
	5,5	572,88	2,08	2,44	11,41	72,35	16,24	27,65	16,47	0,41	129,75	767,33	13,42

5. ANALISIS DE RESULTADOS

Estudiar los comportamientos de las mezclas asfálticas modificadas con materiales no convencionales fue el pilar de esta investigación. Se diseñó una mezcla MDC-2 la cual fue la base para estudiar los materiales como el caucho y la ceniza. Esta mezcla tuvo diferentes dosificaciones para observar las características y comportamiento de los materiales de una manera más precisa, los porcentajes de asfalto usado fueron 4,5%-5%-5,5%, el caucho se adicionó en porcentajes de 0%-5%-10% como parte del asfalto y la ceniza se agregó en porcentajes de 0%-25%-50% como material mineral o pasa tamiz N° 200. Los siguientes son los análisis que se le hicieron a los materiales que conformaron la mezcla según los resultados del capítulo 4.

5.1 MATERIAL GRANULAR

Para tener un criterio científico confiable al caracterizar el material granular se empleó el Artículo 400 y Artículo 450 de Inviás para mezclas densas en caliente, del 2007 que estaba vigente cuando se inició el estudio.

Los resultados evidenciaron que el material granular proviene de una fuente donde los agregados que se obtienen son de muy buena calidad tanto el agregado grueso como el agregado fino la cual es Pescadero a las afueras del municipio de Piedecuesta Santander.

El agregado grueso presenta un tamaño máximo nominal de $\frac{3}{4}$ " además tiene una serie de características muy buenas que se mostraron en la Tabla 31.

Tabla 31. Características de los agregados

ENSAYO	NORMA INV	ESPECIFICACION INV ART 400 MCD	VALOR	UNIDADES
Granulometría	E-213	-	-	
Gravedad específica de gruesos			2,84	gr/cm ³
Gravedad específica de finos	E-222		2,58	gr/cm ³
Caras fracturadas	E-227	75%Máx	65,91	%
Índice de aplanamiento	E-213	30%Máx	19,45	%
Índice de alargamiento	E-213	30%Máx	19,99	%
% de absorción de agregado fino	E-222		27,76	%
% absorción del agregado grueso	E-223		0,54	%

Fuente: Especificaciones INV-Art-400-07

5.1.2 Ceniza

La ceniza que se utilizó en la investigación presenta un color negro, debido a esto el ensayo para hallar el contenido de materia orgánica por colorimetría no se pudo desarrollar y fue remplazado por un ensayo de ignición para poder hallar el contenido de materia orgánica en la ceniza. La textura en la ceniza es muy fina y resinosa, los ensayos realizados a la ceniza son los que usan para las arenas finas. En la granulometría se observó que gran parte de su material paso por el tamiz N° 200 dando un porcentaje retenido de 47% en dicho tamiz predominando en ella los finos, su gravedad específica es 0,86 gr/cm³ y presenta una absorción de 16,15% características que se observan en la Tabla 32.

Tabla 32. Características de la ceniza

5.1.3 Asfalto Modificado

ENSAYO	NORMA INV	ESPECIFICACION INV ART 400 MCD	VALOR	UNIDADES
Granulometría	E-213	-	-	
Gravedad específica de la ceniza	E-222		0.86	gr/cm ³
Absorción	E-222		16,15	%
Contenido de materia orgánica por ignición	E-121		21,1	%

Los resultados realizados en el laboratorio de pavimentos de la universidad pontificia bolivariana arrojaron como resultado en el ablandamiento temperaturas

muy similares y se puede concluir que la modificación no afecta el ablandamiento del asfalto en cantidades considerables, lo contrario sucede en la penetración y en la ignición donde sí se observan cambios relevantes en estos ensayos, los resultados de la caracterización del asfalto modificado se observa en la Tabla 33.

Tabla 33. Caracterización del asfalto estándar y modificado

Tipo Asfalto	Ablandamiento (c°)	Ignición (c°)	Llama (c°)	Penetración (0,1mm)	Peso específico (gr/cm3)
Estándar	47.5	174	247	63.35	1.00
Modificado 5%	48.5	243	282.5	81.5	0.88
Modificado 10%	49	247.5	292.5	83	1.02

5.1.4 Análisis de la prueba Marshall

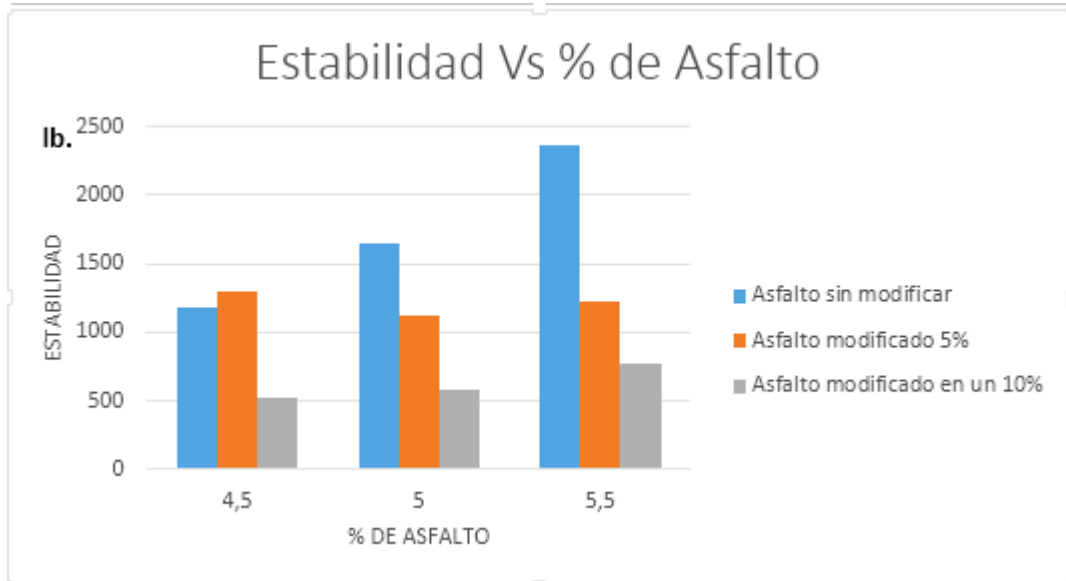
Estabilidad

La estabilidad observada en las mezclas fue mayor en el asfalto sin modificar, sin desmeritar que en las mezclas que se les adiciono un 5% de asfalto se obtuvieron valores entre 1100 y 1300 lb estabilidades que servirían para tipos de tráfico medio y liviano según tabla Marshall.

Con respecto al asfalto que se modificó en un 10% con caucho se podría decir que se obtuvieron valores muy debajo de los requeridos para ser utilizada como un pavimento debido a que sus estabilidades en todos los porcentajes de asfalto están por debajo de 1000 lb.

Se podría decir que el caucho modifica el asfalto de una manera favorable cuando se utilizan cantidades de asfalto de 5% y menores a este porcentaje en porcentajes mayores se empiezan a ver afectadas las mezclas en su estabilidad como se puede observar en la figura 9

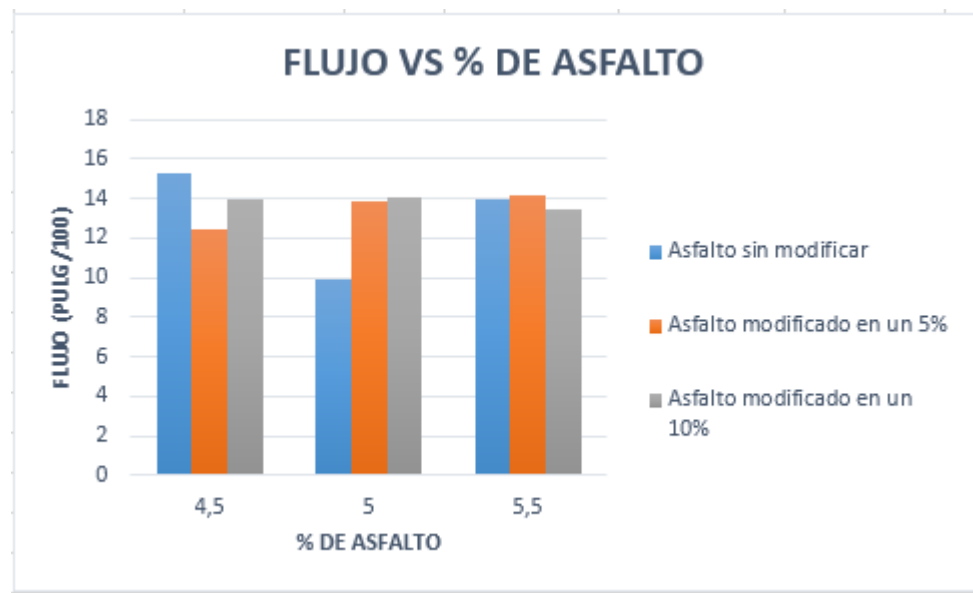
Figura 9. Grafica Estabilidad Vs % de Asfalto



Flujo

El flujo que presentaron las mezclas tanto modificadas como sin modificar presentan valores que sirven para tipos de trafico muy pesados, pesados, medios y livianos por lo cual presentaron un flujo que cumple con los criterios de calidad que se exige en la tabla 3 de criterios de calidad Marshall son aquellos que se encuentran entre 2 mm y 4 mm en su deformación como se observa en la figura 10

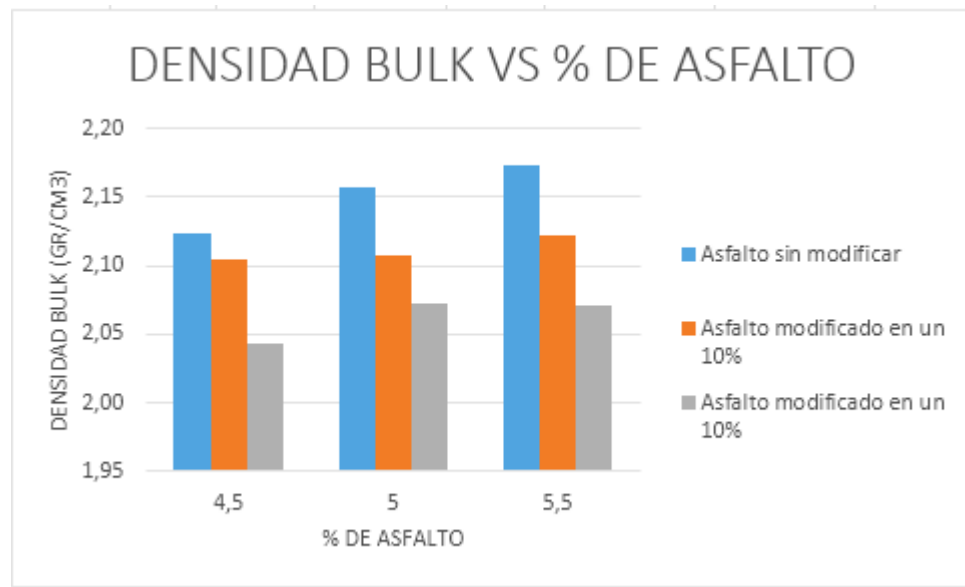
Figura 10. Grafica flujo vs % de asfalto



Densidad Bulk

La densidad Bulk es mayor en las mezclas donde no se modificó el asfalto y a medida que se aumenta el % de caucho también disminuye la densidad debido a que el uso de caucho hace que se aumenten los porcentajes % de vacíos como se observa en los resultados Marshall de las tablas 29,30 y 31 en las mezclas que tenían más % de caucho se dieron menores densidades así se observa en la figura 11.

Figura 11. Grafica Densidad Bulk vs % de asfalto



Contenido Óptimo de Asfalto

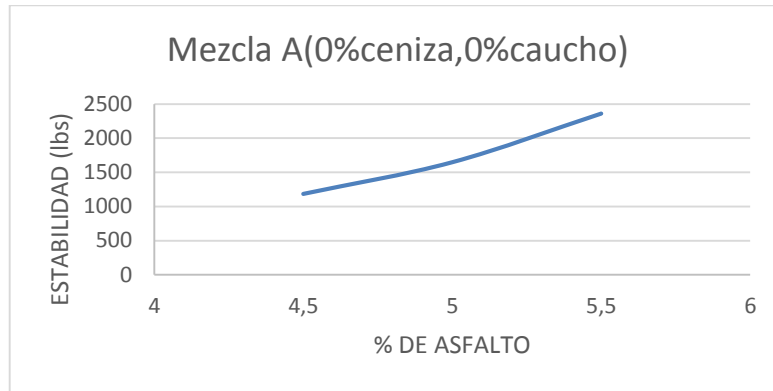
El % óptimo de asfalto se hayo gráficamente para tres tipos de mezclas diferentes como se notó que el material que altero de una manera significativa las mezclas en sus propiedades mecánicas fue el caucho los tres tipos de mezclas se dividieron así:

- % Óptimo de asfalto sin modificar (mezcla A)
- % Óptimo de asfalto modificado con caucho en un 5%(mezcla B, mezcla C, mezcla D)
- % Óptimo de asfalto modificado con caucho en un 10%(mezcla E, mezcla F, mezcla G)

% ÓPTIMO DE ASFALTO SIN MODIFICAR

La siguiente Figura 12 donde se grafica Estabilidad Vs % de asfalto sin modificar, de donde se observa que la mejor estabilidad la obtenemos en el porcentaje de 5,5%

Figura 12. Grafica estabilidad vs % de asfalto mezcla A.



% ÓPTIMO DE ASFALTO MODIFICADO EN UN 5%

En las siguientes Figuras 13, Figura 14 y Figura 15 se observa las tres mezclas modificadas en un 5% con caucho, se grafica Estabilidad Vs % asfalto modificado en un 5% y según el análisis deducimos que la mejor estabilidad se encuentra en el 5% de asfalto.

Figura 13. Estabilidad Vs % Asfalto modificado en un 5% mezcla B

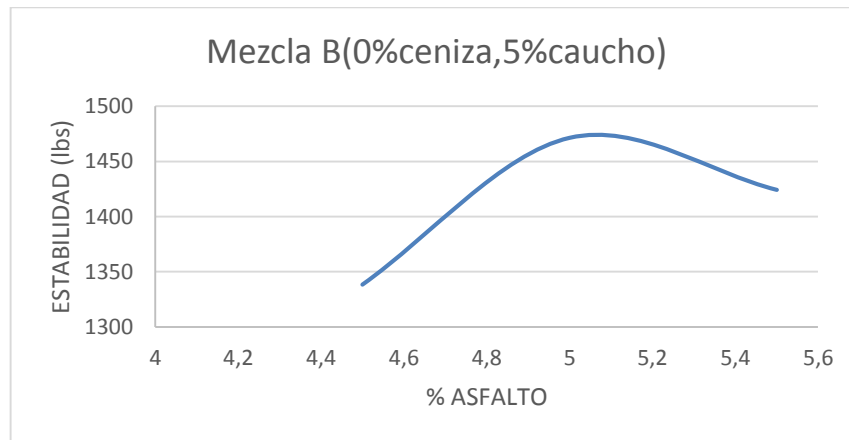


Figura 14. Estabilidad Vs % Asfalto modificado en un 5% mezcla C

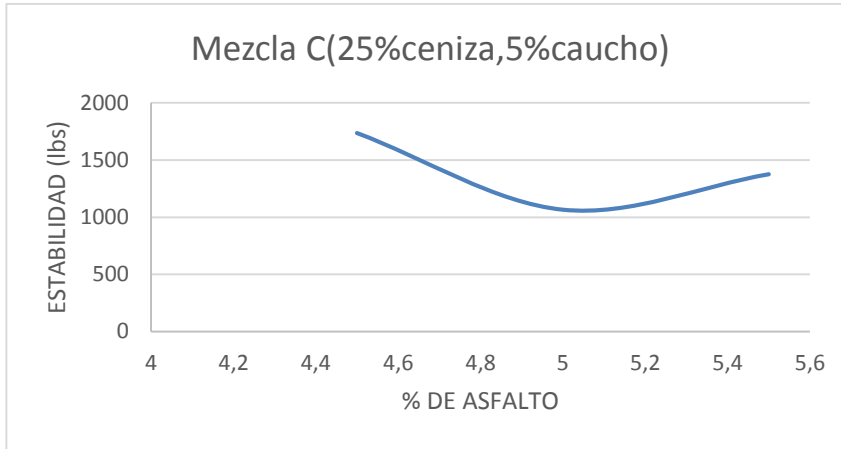
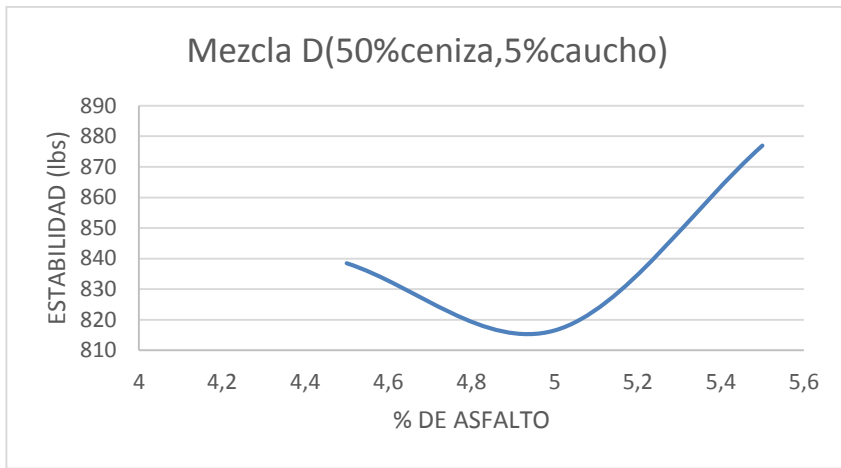


Figura 15. Estabilidad Vs % Asfalto modificado en un 5% mezcla D.



% ÓPTIMO DE ASFALTO MODIFICADO EN UN 10%

Las siguientes tres siguientes Figura 15, Figura 16 y Figura 17 en las cuales se grafica Estabilidad Vs % de asfalto modificado en 10% y de la cual se observó un % óptimo de asfalto de 5,5%.

Figura 16. Estabilidad Vs % de asfalto modificado en un 10% mezcla E

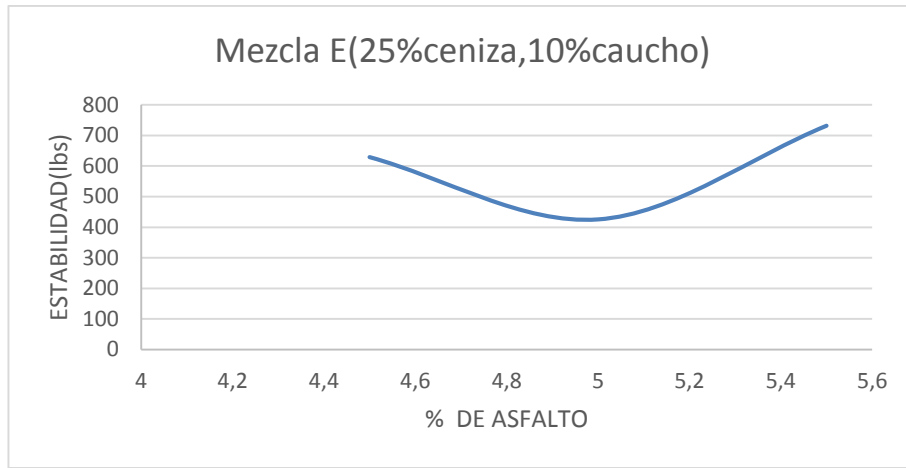


Figura 17. Estabilidad Vs % de asfalto modificado en un 10% mezcla F

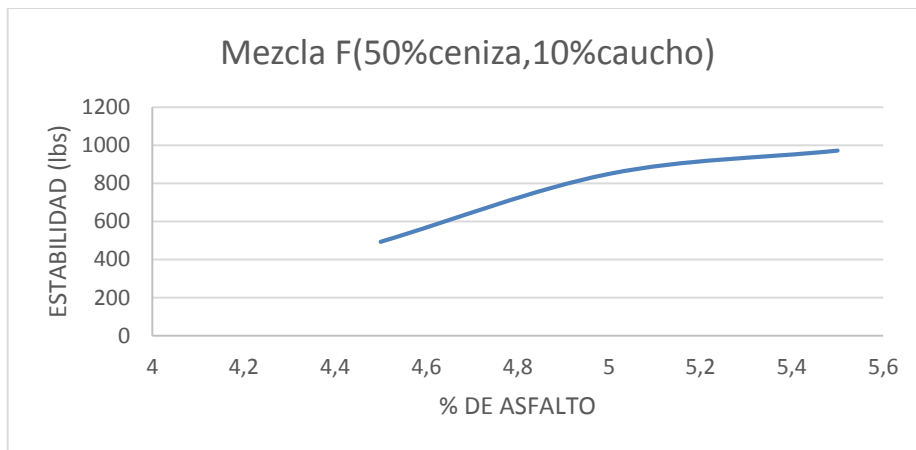
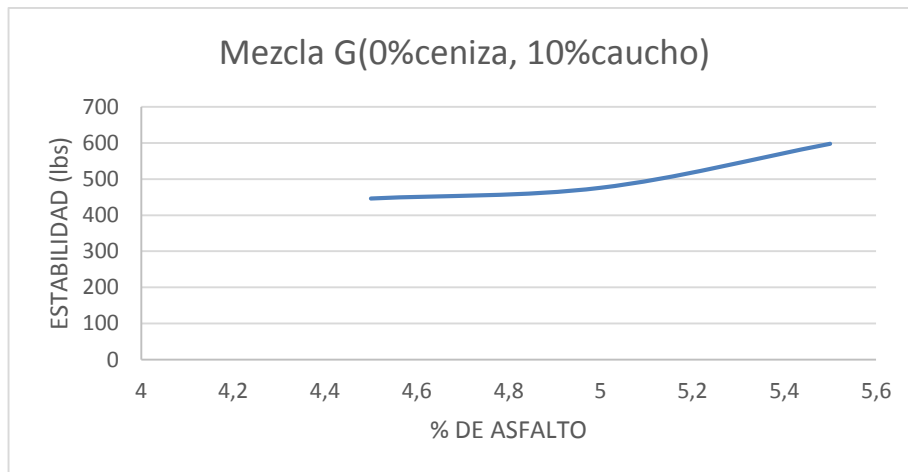


Figura 18. Estabilidad Vs % de asfalto modificado en un 10% mezcla G



6. CONCLUSIONES

Agregados grueso y fino:

Los agregados que se exigen para el diseño Marshall deben cumplir con unas especificaciones técnicas propuestas en el Art 400 de Invias para que la mezcla sea de calidad y cumpla los requerimientos de la norma. En el caso de que sea más rentable preparar las mezclas en obra, se dosificaron los agregados de siguiente forma:

- mezcla 1. 60 % arena 40% agregado grueso,
- mezcla 2. 65% arena 35% agregado grueso,
- mezcla 3. 70% arena 30% agregado grueso,
- mezcla 4. 75% arena 25% agregado grueso.

Los límites que se tomaron en esa granulometría o la guía para controlar una correcta gradación son los que se usan para una mezcla MDC-2. Estas mezclas fueron modificadas en un porcentaje de 25% de la proporción de la arena para obtener graficas más ajustadas a los límites exigidos y el mejor ajuste lo reportó mezcla 2 que tiene la proporción de 65% arena y 35% agregado grueso, en este caso la ceniza se remplazó como un 25% del 65% de arena.

Para las briquetas hechas en el laboratorio la línea granulométrica se trazó en los puntos medios de los límites exigidos, por ello se obtuvo una línea que se ajusta perfectamente a los límites granulométricos exigidos en el Art 400 para una mezcla MDC-2.

Según los ensayos desarrollados en el laboratorio, se observó que se trabajó con un material granular y una arena de muy buena calidad ya que cumplió con las exigencias que cada ensayo solicitaba, estos agregados provienen de la cantera

localizada a las afueras del municipio de Piedecuesta, departamento de Santander en el sector que se conoce como Pescadero.

Ceniza como material llenante

La caracterización de la ceniza como material para el diseño de mezclas asfálticas se realizó con ensayos para un material fino. Se puede concluir acerca de la ceniza que además de ser una excelente fuente para suplir la escasez de material llenante, se observó en la granulometría que el 47% de la ceniza era material pasa Tamiz N. 200 por lo que es una gran fuente de finos, además de esto tiene un porcentaje de absorción 16,15 y una gravedad específica Bulk de 0,86 gr/cm³.

Con respecto a los vacíos no se observaron grandes modificaciones debido a que las proporciones en las que adiciono la ceniza fueron del 25% y 50% del llenante de la mezcla, siendo el llenante de 7 gr, lo cual representa solo un 0,3% de la mezcla total en el mayor de los caso que es el 50% de ceniza como llenante daba 3,5 gr como máxima adición y esto no representa una gran diferencia entre las mezclas al ser una sustitución tan pequeña.

La ceniza es un material que contiene una gran cantidad de finos que pueden ser muy útiles para suplir las necesidades de finos en las mezclas densas en caliente, en este proyecto solo se utilizó la ceniza que pasa el tamiz N. 200, despreciando gran cantidad de finos que se retenían en los tamices como el tamiz N. 40, tamiz N. 80 y tamiz N. 200, que pueden ser muy útiles en las mezclas.

Teniendo en cuenta la buena gradación de finos que tiene la ceniza sería conveniente realizar otros estudios remplazando también en los tamices N. 40, N.80, N.200 para observar mejor las propiedades mecánicas que tiene la ceniza. Los porcentajes que se reemplazaron en el presente proyecto fueron de 25% y 50% del material que pasaba el tamiz N. 200 siendo 7 gr la cantidad que se solicitaba de este tamiz para la mezcla de 1200 gr y el 50% que era el porcentaje más alto

solo remplazaba un 3,5 gr de la mezcla total siendo este valor poco representativo, la recomendación en este caso sería reemplazar hasta el 100% del llenante para poder observar cambios considerables en la mezcla.

Mezcla asfáltica modificada con caucho

La mezcla asfáltica modificada con un elastómero como lo es el caucho tuvo diferentes resultados esto depende de la cantidad o el porcentaje en el que se modifique el asfalto. Se observó una reducción progresiva de la estabilidad a mayor porcentaje de caucho.

En las mezclas que no se modificaron se obtuvo mayores estabilidades, la cual la máxima promedio que se tuvo en el asfalto sin modificar fue de 2361 lb y esta fue cuando se utilizó un 5,5% de asfalto, al modificar el asfalto en un 5% con caucho se obtuvo una estabilidad máxima promedio de 1305 lb y esta se dio en el porcentaje de asfalto del 4,5% este valor sirve según los criterios de calidad Marshall para tráfico tipo medio y liviano.

En el asfalto modificado en un 10% con el caucho se observaron estabilidades por debajo de las 1000 lb estas mezclas con esta estabilidad no sirven para una capa de rodadura según la tabla de calidad Marshall, la máxima estabilidad promedio observada con este porcentaje de caucho fue de 767 lb y esta se observó en las mezclas con 5,5% de asfalto.

El caucho es un material que al ser mezclado con el asfalto hace cambiar las propiedades reológicas del asfalto esto es favorable hasta cierto punto, lo recomendable sería estudiar porcentajes más bajos del 10% debido a que con este porcentaje se afecta de una manera considerable la estabilidad de la mezcla, porcentajes como el 4%,5%,6% ,7%, para observar las propiedades que el caucho le da a las mezclas asfálticas en caliente.

Estabilidad de las mezclas

La estabilidad es un punto supremamente importante para el diseño de mezclas asfálticas debido a que es el esfuerzo que soporta la mezcla antes de fallar, en el presente estudio se observó que de las siete mezclas (A,B,C,D,E,F,G) la que mayor estabilidad presentó fue la mezcla A(0% caucho,0%ceniza) con un 1731 lb este es un valor promedio de la mezcla A, esta fue la mezcla patrón sin ninguna clase de modificación ni en su llenante ni al asfalto. Las mezclas (B, C, D) fueron modificadas con 5% de caucho de las cuales la que mayor estabilidad presento fue la mezcla B (5% caucho, 0% ceniza) con 1411 lb y en las mezclas de asfalto modificado en un 10% (E, F, G) la que mayor estabilidad presento fue la mezcla F (10%caucho, 50% ceniza) con 772 lb. Sé puede concluir que más que la adición de ceniza el caucho es el patrón que rige las estabilidades en este estudio.

Se podría decir con respecto al caucho que este modifica el asfalto de una manera favorable cuando se utilizan cantidades de asfalto de 5% y menores a este porcentaje en porcentajes mayores se empiezan a ver afectadas las mezclas en su estabilidad

7. RECOMENDACIONES

En estudios posteriores, se recomienda la adaptación de un dial digital para garantizar que la información del registro de estabilidad y flujo no se incurra en errores del operario.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARENAS R, E. Y SERRANO C, A. J., Análisis comparativo de deformación en las mezclas MDC-2, MDC-3, M1 y STONE MATRIX ASPHALT, Tesis de grado para optar el título de Ingeniero civil, Universidad Industrial de Santander, 2006.

BELMONTE SANCHEZ, Antonio. Análisis de la reutilización de residuos procedentes de la industria Silestone en la fabricación de las mezclas bituminosas. Universidad Granada España 2009. [documento en línea] Disponible desde internet en :< <http://digibug.ugr.es/bitstream/10481/3480/2/18513888.pdf.txt> >

DELGADO G.J. Y ARIZA M.J. Evaluación de una mezcla densa en caliente modificada con la adición de ceniza y caucho. Universidad Pontificia Bolivariana- Seccional Bucaramanga 2013.

HERRERA GALVIS, Laura Paola, Utilización de las cenizas volantes en el concreto, Tesis de grado para optar a ingeniero civil, Universidad Pontificia Bolivariana, 2009

- INVIAS, Especificación Técnica, Artículo 400-07
- INVIAS, Especificación Técnica, Artículo 450-07
- INVIAS, Especificación Técnica, Artículo 400-13
- INVIAS, Especificación Técnica, Artículo 450-13

I.N.V.E-213-07 Instituto Nacional de Vías, Granulometría de los agregados gruesos y finos.

I.N.V.E-223-07 Instituto Nacional de Vías, Gravedad específica y absorción de los agregados gruesos.

I.N.V.E-222-07 Instituto Nacional de Vías, Gravedad específica y absorción de los agregados finos.

I.N.V.E-218-07 Instituto Nacional de Vías, Resistencia al desgaste de los agregados tamaños menores de 1 ½" por medio de la máquina de los ángeles.

I.N.V.E-227-07 Instituto Nacional de Vías, Caras fracturadas

I.N.V.E-133-07 Instituto Nacional de Vías, Equivalente de Arena

I.N.V.E-230-07 Instituto Nacional de Vías, Índice de aplanamiento y alargamiento

I.N.V.E-712-07 Instituto Nacional de Vías, Punto de Ablandamiento

I.N.V.E-709-07 Instituto Nacional de Vías, Punto de ignición y llama mediante la copa abierta Cleveland

I.N.V.E-706-07 Instituto Nacional de Vías, Penetración de los materiales bituminosos

I.N.V.E-748-07 Instituto Nacional de Vías, Resistencia de mezclas bituminosas empleando el método Marshall.

I.N.V.E-720-07 Instituto Nacional de Vías, Envejecimiento del asfalto

I.N.V.E-727-07 Instituto Nacional de Vías, Ensayo de recuperación elástica

OROZCO M. G., Y MURILLO C. J., Evaluación del comportamiento de una mezcla densa en caliente modificada con ceniza proveniente de locaciones petroleras. Universidad Pontificia Bolivariana-seccional Bucaramanga 2012.

PADILLA RODRIGUEZ, Alejandro. Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas normativa Mexicana mediante el ensayo de pista, UPC México, 2004.

REYES LIZCANO, Fredy Alberto. Diseño racional de pavimentos. Editorial: Ceja ;Escuela de ingeniería 2003

REYES, L., HERNADEZ, B.,FIGUEROA, L., Análisis de un asfalto modificado con icopor y su incidencia en una mezcla asfáltica densa en caliente,vol 27número 003, 2007

SAENZ T, V. VILLAMIZAR S, Análisis del comportamiento de cenizas volantes en la producción de concreto, Tesis de grado para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad Pontificia Bolivariana.

ANEXOS

ANEXO 1.GRANULOMETRIA DE AGREGADOS GRUESOS

Nº Ensayo 1	Dir. Proyecto María Fernanda Serrano Guzmán	Estudiante Marlon Leonardo Rodríguez Sierra
Nombre del ensayo Granulometría de agregados gruesos	Norma INV-E-213	Laboratorio de pavimentos UPB (Universidad Pontificia Bolivariana)

Tamiz	Peso retenido	% Peso retenido	%Retenido acumulado	% Pasa
3/4"	0,00	0,00	0,00	100,0
1/2"	2400,87	54,35	54,35	45,6
3/8"	1346,47	30,48	84,83	15,2
Nº 4	621,06	14,06	98,89	1,1
Nº 10	41,7	0,94	99,83	0,2
Nº40	3,2	0,07	99,90	0,1
N80	1,7	0,04	99,94	0,1
N200	2,3	0,05	100,00	0,0
PASA 200	0,4	0,01	100,00	0,0
	4417,7	100,00		

ANEXO 2.GRANULOMETRIA DE AGREGADOS FINOS

Nº Ensayo 1	Dir. Proyecto María Fernanda Serrano Guzmán	Estudiante Marlon Leonardo Rodríguez Sierra
Nombre del ensayo Granulometría de agregados gruesos	Norma INV-E-213	Laboratorio de pavimentos UPB (Universidad Pontificia Bolivariana)

Tamiz	Peso retenido	% Peso retenido	%Retenido acumulado	% Pasa
3/4"	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	52,40	1,61	1,61	98,39
3/8"	38,40	1,18	2,79	97,21
Nº 4	117,50	3,61	6,40	93,60
Nº 10	312,38	9,59	15,99	84,01
Nº40	2052,88	63,04	79,03	20,97
N80	551,28	16,93	95,95	4,05
N200	126,80	3,89	99,85	0,15
PASA 200	5,00	0,15	100,00	0,00
	3256,64	100,00		

ANEXO 4. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS

Nº Ensayo 1	Dir. Proyecto María Fernanda Serrano Guzmán	Estudiante Marlon Leonardo Rodríguez Sierra
Nombre del ensayo Gravedad específica y Absorción de agregados gruesos	Norma INV-E-222	Laboratorio de pavimentos UPB (Universidad Pontificia Bolivariana)

Datos tomados																	
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Tipo de peso</th> <th style="text-align: center;">Masa(g)</th> <th style="text-align: center;">Nomenclatura</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Arena sss</td> <td style="text-align: center;">500,8</td> <td style="text-align: center;">S</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Pic+agua</td> <td style="text-align: center;">690</td> <td style="text-align: center;">B</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Pic+agua+arena</td> <td style="text-align: center;">946</td> <td style="text-align: center;">C</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Arena seca</td> <td style="text-align: center;">693,2</td> <td style="text-align: center;">A</td> </tr> </tbody> </table>			Tipo de peso	Masa(g)	Nomenclatura	Arena sss	500,8	S	Pic+agua	690	B	Pic+agua+arena	946	C	Arena seca	693,2	A
Tipo de peso	Masa(g)	Nomenclatura															
Arena sss	500,8	S															
Pic+agua	690	B															
Pic+agua+arena	946	C															
Arena seca	693,2	A															
Cálculos																	
Gravedad específica aparente $=((A/(B+A-C)))= 1,59 \text{ g/cm}^3$ Gravedad específica Bulk S.S.S $=((S/(B+S-C)))=2,05 \text{ g/cm}^3$ Gravedad específica Bulk $=((A/(B+S-C)))=2.84 \text{ g/cm}^3$ %Absorción $=((S-A)/A)*100=27,76\%$																	

**ANEXO 5. RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS MENORES
A 1 1/2" POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES**

Nº Ensayo 1	Dir. Proyecto María Fernanda Serrano Guzmán	Estudiante Marlon Leonardo Rodríguez Sierra
Nombre del ensayo Resistencia al desgaste por medio de la máquina de los ángeles	Norma INV-E-218	Laboratorio de pavimentos UPB (Universidad Pontificia Bolivariana)

Tamaño Fraccion				Peso y Granulometria de la muestra					
Pasa Tamiz		Retenido Tamiz		Peso Real (gr)	Tipo de granulometria				
mm	No	mm	No		A	B	C	D	
37.5	1 1/2	37.5	1		1250 ±25				
25.0	1	25.0	3/4.		1250 ±25				
19.0	3/4.	19.0	1/2.	2504,7	1250 ±25	2500±10			
12.5	1/2.	12.5	3/8.	2504	1250±25	2500±10			
9.5	3/8.	9.5	No 3				2500±10		
6.3	No 3	6.3	No 4				2500±10		
4.75	No 4	4.75	No 8					5000±10	
Total de la muestra								5000±10	
arga abrasiva				No de esferas		12	11	8	6
				Peso de carga total	5000±	4584±25	3330±20	2500±15	
				No de vueltas		500			
Resultados									
Tipo de granulometria					B		% De desgaste		
Peso inicial de la muestra(gr)					5008,7		26,13		
Peso Final de la muestra lavada en el tamiz 1.70 mm No 12					3700				

ANEXO 6. GRANULOMETRIA DE LA CENIZA

Nº Ensayo 1	Dir. Proyecto María Fernanda Serrano Guzmán	Estudiante Marlon Leonardo Rodríguez Sierra
Nombre del ensayo Granulometría de la ceniza	Norma INV-E-213	Laboratorio de pavimentos UPB (Universidad Pontificia Bolivariana)

Tamiz	Peso retenido	% Peso retenido	%Retenido acumulado	% Pasa
3/4"	421	18,41	18,41	81,58
1/2"	141,4	6,18	24,60	75,40
3/8"	50,8	2,22	26,82	73,17
Nº 4	90	3,94	30,76	69,23
Nº 10	51,8	2,26	33,02	66,97
Nº40	169,8	7,42	40,46	59,54
N80	170,1	7,44	47,89	52,10
N200	114	4,98	52,88	47,12
PASA 200	1077	47,12	100,00	0,00
	2285,9	100,00		

ANEXO 7.PESO ESPECÍFICO Y ABSORCION DE LA CENIZA

Nº Ensayo 1	Dir. Proyecto María Fernanda Serrano Guzmán	Estudiante Marlon Leonardo Rodríguez Sierra
Nombre del ensayo Granulometría de la ceniza	Norma INV-E-213	Laboratorio de pavimentos UPB (Universidad Pontificia Bolivariana)

Nombre	Unidad	
Peso al aire de la muestra desecada (A)	gr	260
Peso del picnómetro aforado lleno de agua (B)	gr	690
Peso total del picnómetro aforado con la muestra y llenado (C)	gr	688
Peso de la muestra saturada con superficie seca (S)	gr	302
Peso específico		
Gravedad específica aparente $23/23^{\circ}\text{C} = (A)/(B+A-C)$	gr/cm ³	0,99
Gravedad específica Bulk S.S.S $23/23^{\circ}\text{C} = (S)/(B+S-C)$	gr/cm ³	0,99
Gravedad específica Bulk $23/23^{\circ}\text{C} = (A)/(B+S-C)$	gr/cm ³	0,86
Absorción $((S-A)/A)*100$	gr/cm ³ %	16,15

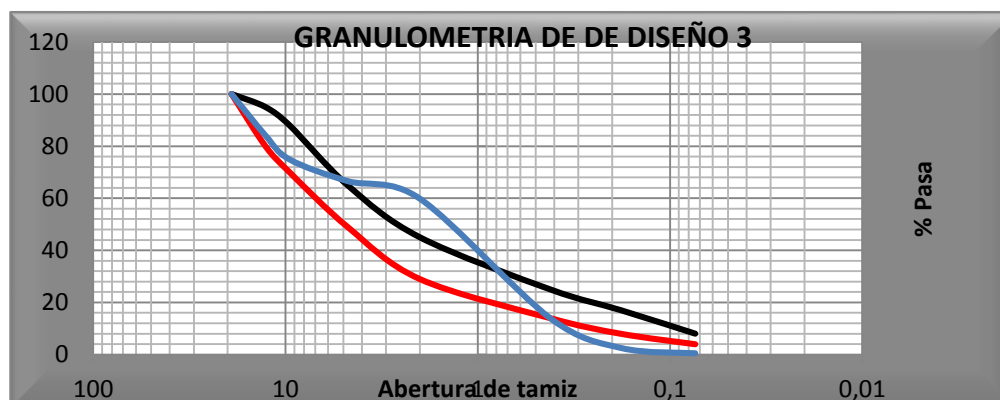
**ANEXO 8 .DOSIFICACION PARA UNA MEZCLA ELABORADA EN OBRA
COMBINACION DE LOS AGREGADOS 70% Finos -30% Agregado grueso**

Nº Ensayo 1	Dir. Proyecto María Fernanda Serrano Guzmán	Estudiante Marlon Leonardo Rodríguez Sierra
Nombre del ensayo Granulometría de la ceniza	Norma MDC-2	Laboratorio de pavimentos UPB (Universidad Pontificia Bolivariana)

Tamiz	Peso retenido	% Peso retenido	%Retenido acumulado	% Pasa
3/4"	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	453,02	15,10	15,10	84,90
3/8"	305,07	10,17	25,27	74,73
Nº 4	228,59	7,62	32,89	67,11
Nº 10	218,44	7,28	40,17	59,83
Nº40	1353,94	45,13	85,3	14,70
N80	352,5	11,75	97,0	2,95
N200	75,13	2,50	99,56	0,44
PASA 200	13,31	0,44	100,00	0,00
	5000,00	100,00		

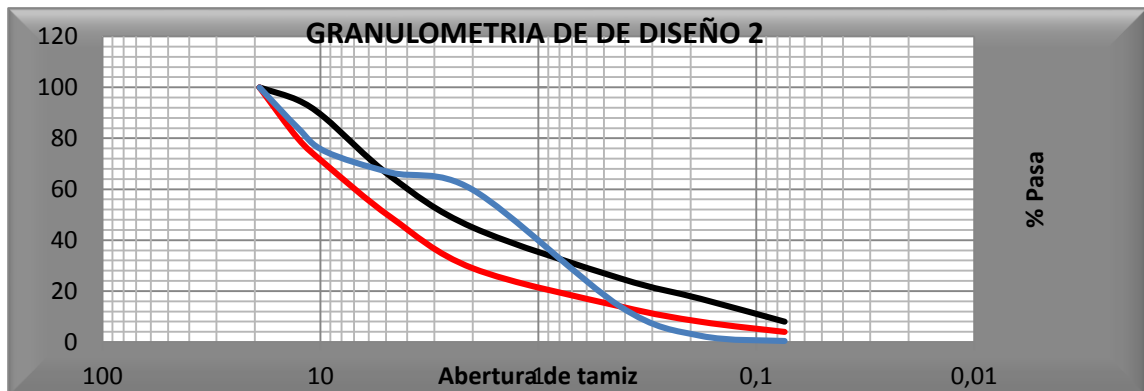
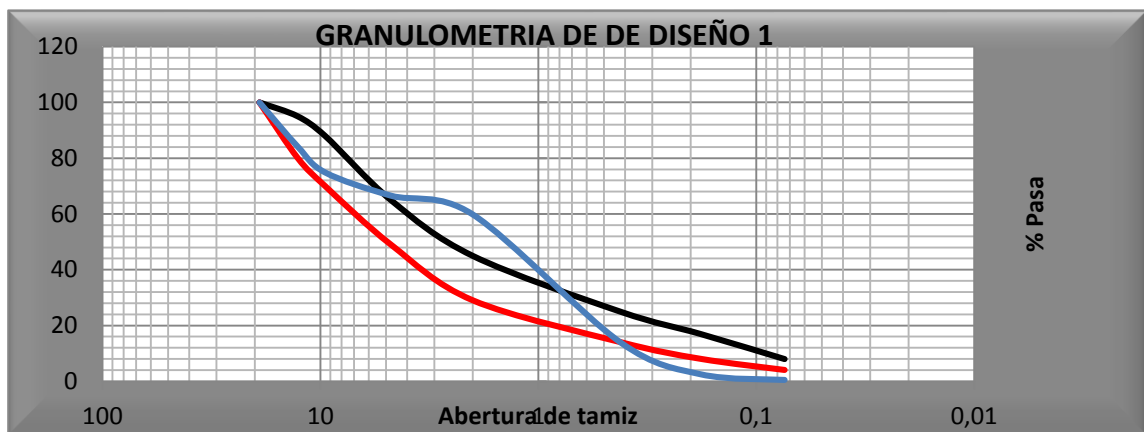
**ANEXO 9 .DOSIFICACION PARA UNA MEZCLA ELABORADA EN OBRA
COMBINACION DE LOS AGREGADOS 65% Finos -35% Agregado grueso**

Nº Ensayo 1		Dir. Proyecto María Fernanda Serrano Guzmán		Estudiante Marlon Leonardo Rodríguez Sierra	
Nombre del ensayo Granulometría de la ceniza		Norma MDC-2		Laboratorio de pavimentos UPB (Universidad Pontificia Bolivariana)	
Tamiz	Peso retenido	% Peso retenido	%Retenido acumulado	% Pasa	
3/4"	0,00	0,00	0,00	100,00	
1/2"	644,62	16,12	16,12	83,88	
3/8"	426,36	10,66	26,77	73,23	
Nº 4	390,6	9,77	36,54	63,46	
Nº 10	313,92	7,85	44,39	55,61	
Nº40	1750,40667	43,76	88,15	11,85	
N80	377,88	9,45	97,59	2,41	
N200	75,21	1,88	99,47	0,53	
PASA 200	21,01	0,53	100,00	0,00	
	4000,00	100,00			



**ANEXO 10 .DOSIFICACION PARA UNA MEZCLA ELABORADA EN OBRA
COMBINACION DE LOS AGREGADOS 75% Finos -25% Agregado grueso**

Nº Ensayo 1	Dir. Proyecto María Fernanda Serrano Guzmán	Estudiante Marlon Leonardo Rodríguez Sierra
Nombre del ensayo Granulometría de la ceniza	Norma MDC-2	Laboratorio de pavimentos UPB (Universidad Pontificia Bolivariana)

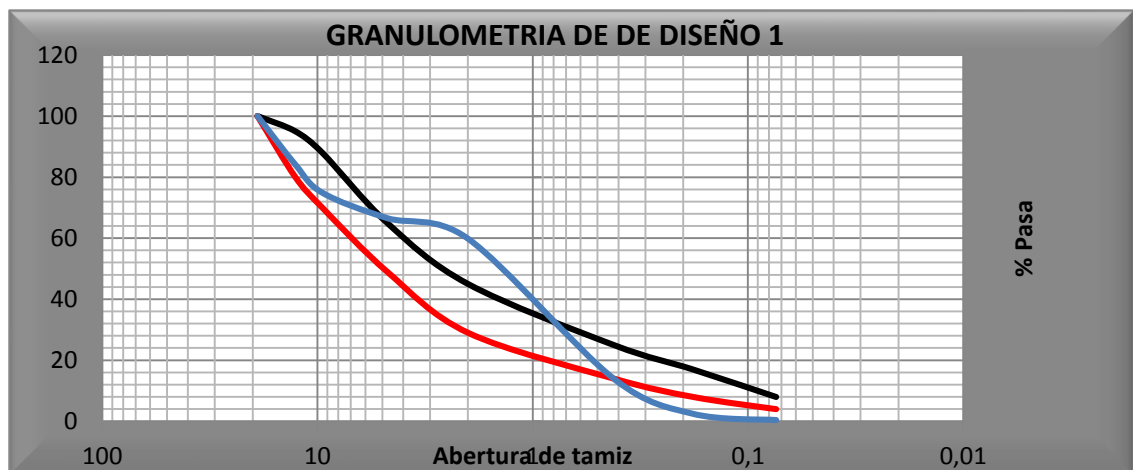


Tamiz	Peso retenido	% Peso retenido	%Retenido acumulado	% Pasa
	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	503,02	16,77	16,77	83,23
3/8"	180,98	6,03	22,80	77,20
Nº 4	222,23	7,41	30,21	69,79
Nº 10	227,43	7,58	37,79	62,21
Nº40	1472,65333	49,09	86,88	13,12
N80	306,193333	10,21	97,08	2,92
N200	77,73	2,59	99,67	0,33
PASA 200	9,76	0,33	100,00	0,00
	3000,00	100,00		

**ANEXO 11 .DOSIFICACION PARA UNA MEZCLA ELABORADA EN OBRA
COMBINACION DE LOS AGREGADOS 60% Finos -40% Agregado grueso**

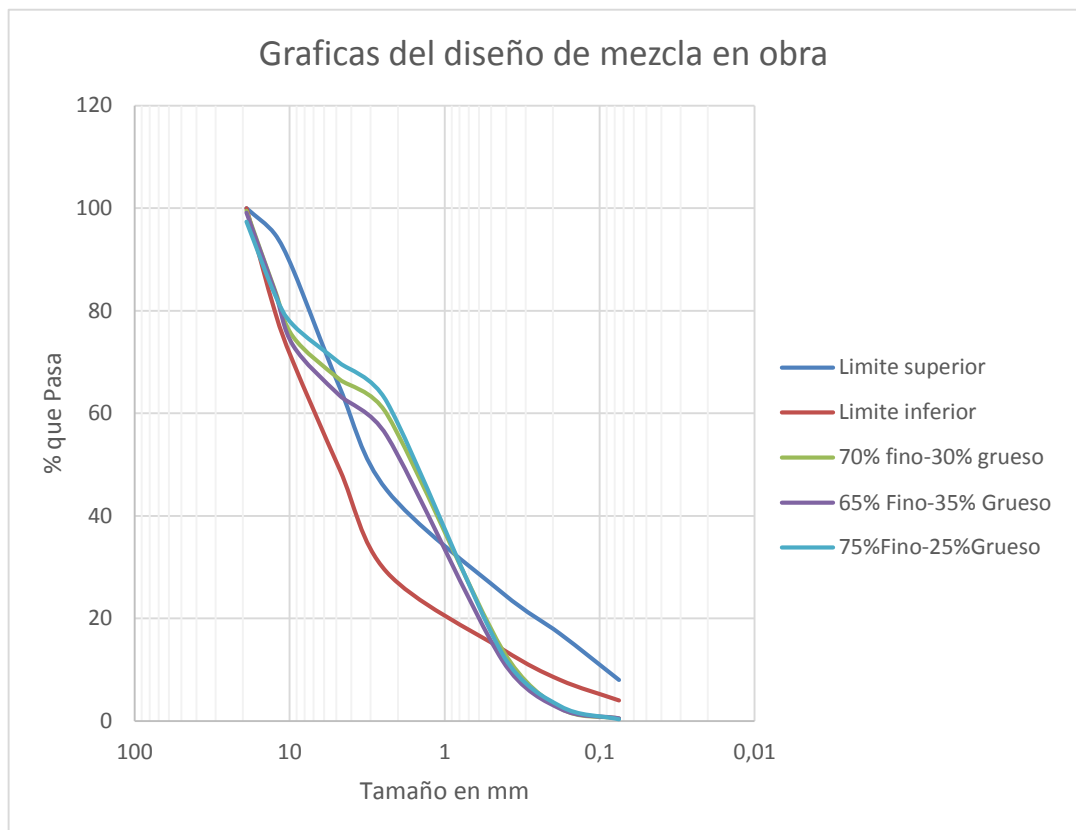
Nº Ensayo 1	Dir. Proyecto María Fernanda Serrano Guzmán	Estudiante Marlon Leonardo Rodríguez Sierra
Nombre del ensayo Granulometría de la ceniza	Norma MDC-2	Laboratorio de pavimentos UPB (Universidad Pontificia Bolivariana)

Tamiz	Peso retenido	% Peso retenido	%Retenido acumulado	% Pasa
3/4"	0	0,00	0,00	100,00
1/2"	742,336	24,48	24,48	75,52
3/8"	174,64	5,76	30,24	69,76
Nº 4	409,97	13,52	43,75	56,25
Nº 10	179,32	5,91	49,67	50,33
Nº40	1190,83	39,27	88,93	11,07
N80	286,43	9,44	98,38	1,62
N200	39,46	1,30	99,68	0,32
PASA 200	9,81	0,32	100,00	0,00
	3032,81	100,00		



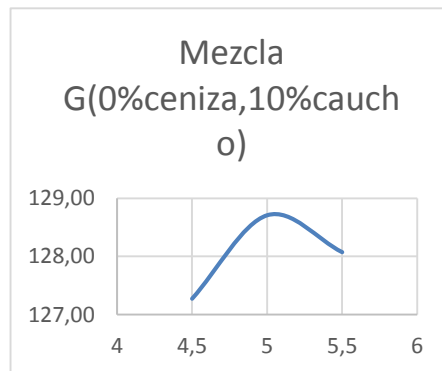
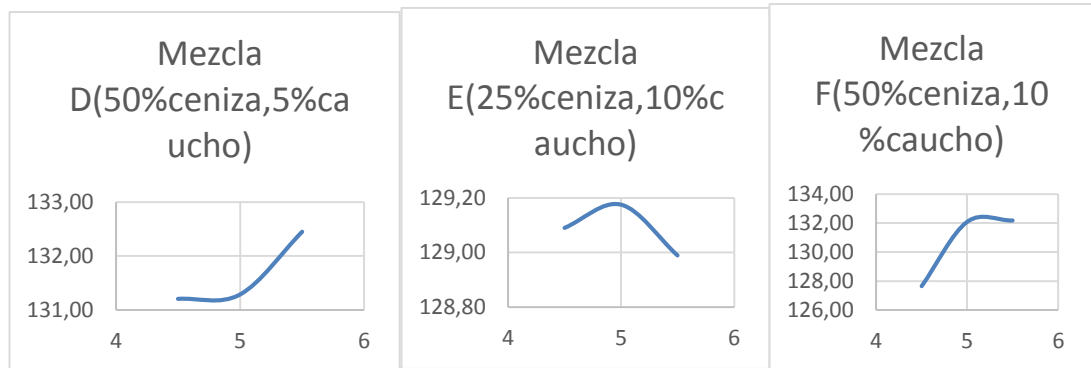
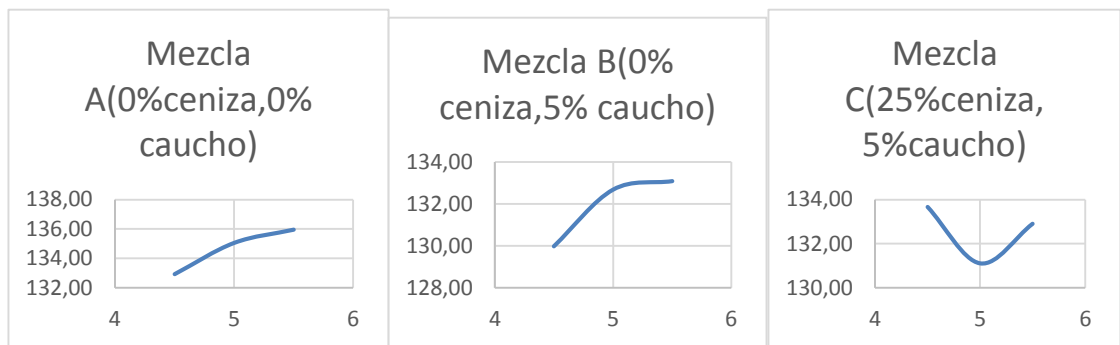
ANEXO 12. ANALISIS DOSIFICACIONES DE LOS AGREGADOS PARA UNA MEZCLA ELABORADA EN OBRA

Nº Ensayo 1	Dir. Proyecto María Fernanda Serrano Guzmán	Estudiante Marlon Leonardo Rodríguez Sierra
Nombre del ensayo Granulometría de la ceniza	Norma INV.E-748-07	Laboratorio de pavimentos UPB (Universidad Pontificia Bolivariana)



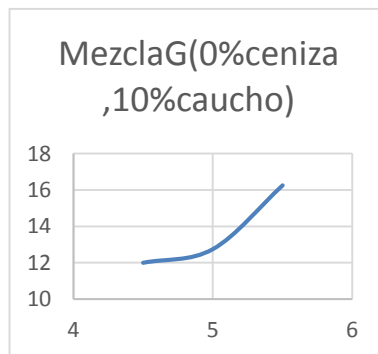
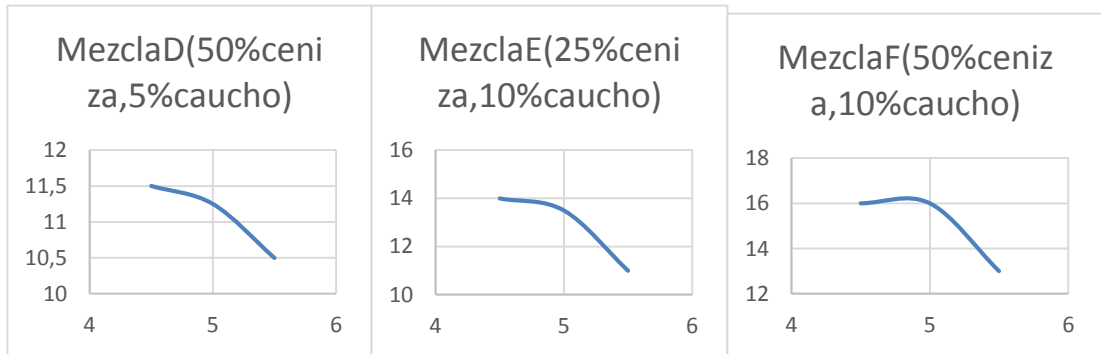
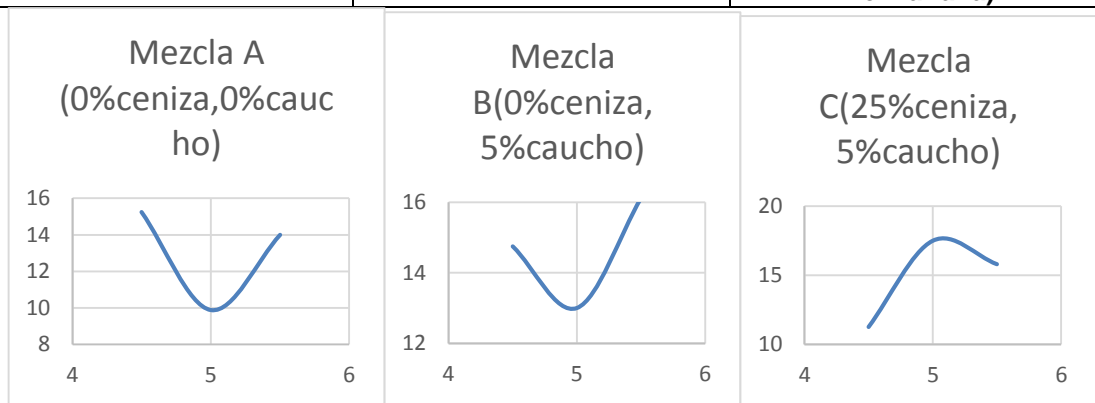
**ANEXO 13. DISEÑO DE MEZCLA POR EL METODO MARSHALL GRAFICAS
PESO UNITARIO (lb/pulg3) VS % DE ASFALTO**

Nº Ensayo 1	Dir. Proyecto María Fernanda Serrano Guzmán	Estudiante Marlon Leonardo Rodríguez Sierra
Nombre del ensayo Granulometría de la ceniza	Norma INV.E-748-07	Laboratorio de pavimentos UPB (Universidad Pontificia Bolivariana)



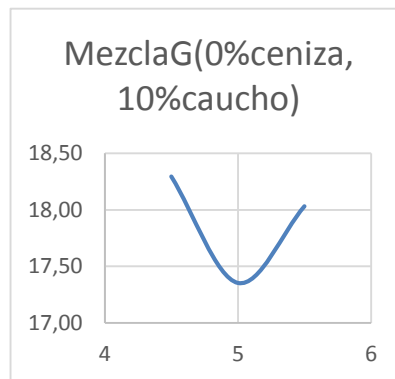
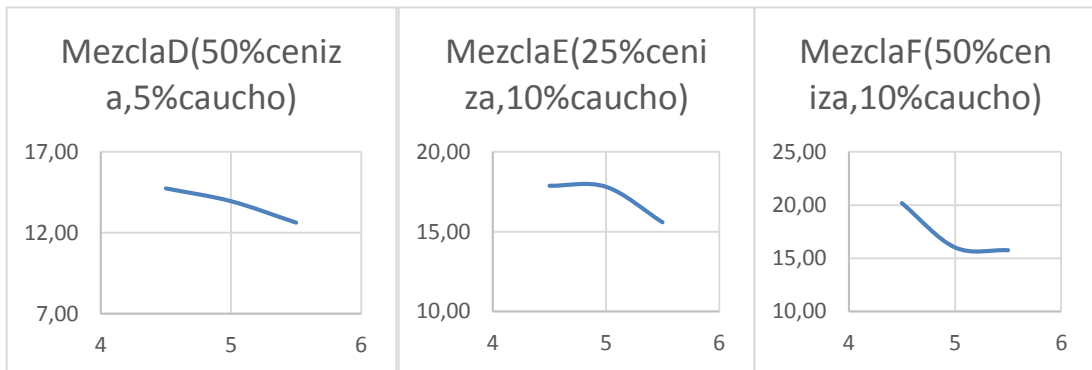
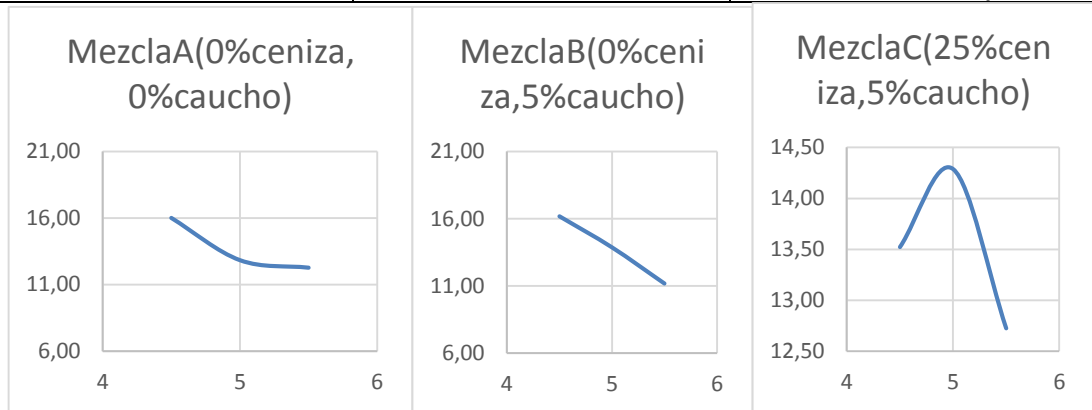
**ANEXO 14. DISEÑO DE MEZCLA POR EL METODO MARSHALL GRAFICAS
FLUJO (0,01") VS % DE ASFALTO**

Nº Ensayo 1	Dir. Proyecto María Fernanda Serrano Guzmán	Estudiante Marlon Leonardo Rodríguez Sierra
Nombre del ensayo Granulometría de la ceniza	Norma INV.E-748-07	Laboratorio de pavimentos UPB (Universidad Pontificia Bolivariana)



**ANEXO 15. DISEÑO DE MEZCLA POR EL METODO MARSHALL GRAFICAS
% DE VACIOS MEZCLA TOTAL VS % DE ASFALTO**

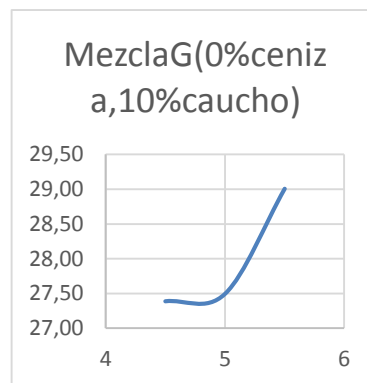
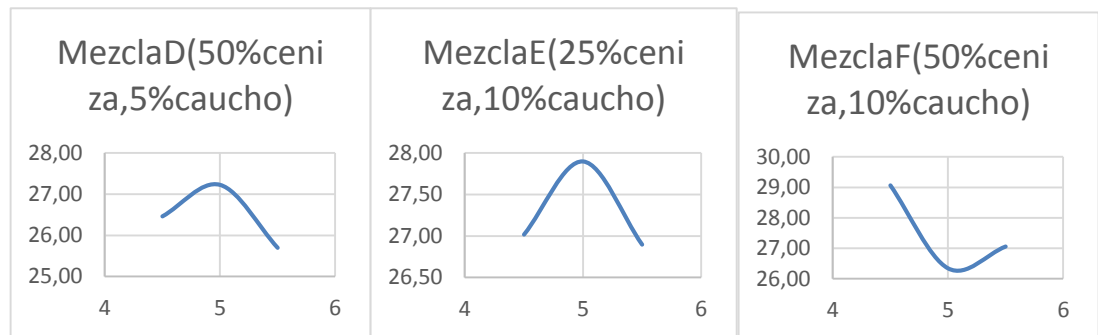
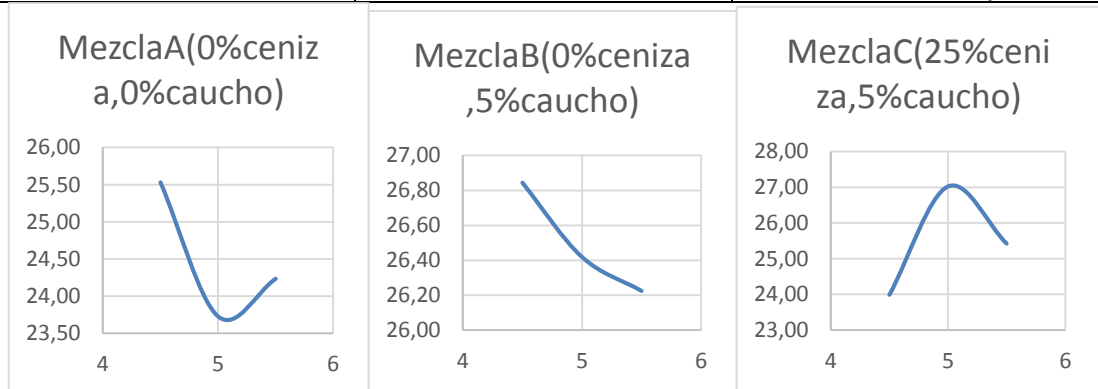
Nº Ensayo 1	Dir. Proyecto María Fernanda Serrano Guzmán	Estudiante Marlon Leonardo Rodríguez Sierra
Nombre del ensayo Diseño de mezcla Marshall	Norma INV.E-748-07	Laboratorio de pavimentos UPB (Universidad Pontificia Bolivariana)



ANEXO 16. DISEÑO DE MEZCLA POR EL METODO MARSHALL GRAFICAS


% DE VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL VS % DE ASFALTO

Nº Ensayo 1	Dir. Proyecto María Fernanda Serrano Guzmán	Estudiante Marlon Leonardo Rodríguez Sierra
Nombre del ensayo Diseño de mezcla Marshall	Norma INV.E-748-07	Laboratorio de pavimentos UPB (Universidad Pontificia Bolivariana)




**ANEXO 17 .ENSAYO DE RECUPERACIÓN ELÁSTICA POR TORSIÓN DE
ASFALTOS MODIFICADO EN UN 5% CON CAUCHO INV.E-727**

Nº Ensayo 1	Dir. Proyecto María Fernanda Serrano Guzmán	Estudiante Marlon Leonardo Rodríguez Sierra
Nombre del ensayo Granulometría de la ceniza	Norma MDC-2	Laboratorio de pavimentos Corasfaltos

	CORASFALTOS					
	DATOS DE ENSAYOS - RECUPERACIÓN ELÁSTICA POR TORSIÓN DE ASFALTOS MODIFICADOS					
FECHA			CODIGO DEL CLIENTE:	CA-CE-272	ORDEN DE TRABAJO:	96
2014 AÑO	9 MES	3 DÍA				
CODIGO DE LA MUESTRA:			G-113-14-1-ORIGINAL			
DESCRIPCIÓN:			ASFALTO			
NORMAS DE REFERENCIA			NLT 329	<input checked="" type="checkbox"/>	INVE-727	<input checked="" type="checkbox"/>
CONDICIONES AMBIENTALES		T ambiente (°C)	t (min)=	t (min)=	t (min)=	
		Humedad (%)	28,5	28,5	28,5	
		Humedad (%)	56,0	54,0	54,0	
Temperatura de ensayo (°C)	25	Angulo recuperado	13	Recuperación elástica por torsión - RET	7	
OBSERVACIONES:						


**ANEXO 18 .RECUPERACIÓN ELÁSTICA POR TORSIÓN DE ASFALTOS
ASFALTO SIN MODIFICAR**

Nº Ensayo 1	Dir. Proyecto María Fernanda Serrano Guzmán	Estudiante Marlon Leonardo Rodríguez Sierra
Nombre del ensayo RET	Norma INV.E-727	Laboratorio de pavimentos Corasfaltos

		CORASFALTOS			
DATOS DE ENSAYOS - RECUPERACIÓN ELÁSTICA POR TORSIÓN DE ASFALTOS MODIFICADOS					
FECHA			CODIGO DEL CLIENTE:	CA-CE-272	ORDEN DE TRABAJO:
2014	9	3			
AÑO	MES	DÍA			96
CODIGO DE LA MUESTRA:			G-113-14-2		
DESCRIPCIÓN:			ASFALTO ORIGINAL		
NORMAS DE REFERENCIA		NLT 329	<input checked="" type="checkbox"/>	INVE-727	<input checked="" type="checkbox"/>
CONDICIONES AMBIENTALES		T ambiente (°C)	t (min)= 28,5	t (min)= 28,3	t (min)= 28,1
		Humedad (%)	49,0	53,0	56,0
Temperatura de ensayo (°C)	25	Angulo recuperado	0	Recuperación elástica por torsión - RET	0
OBSERVACIONES:					

ANEXO 19. ENSAYO DE ENVEJECIMIENTO ASFALTO MODIFICADO EN UN 5% CON CAUCHO INV.-E-720

Nº Ensayo 1	Dir. Proyecto María Fernanda Serrano Guzmán	Estudiante Marlon Leonardo Rodríguez Sierra
Nombre del ensayo Envejecimiento	Norma INV.E-720	Laboratorio de pavimentos Corasfaltos

		CORASFALTOS				
		DATOS DE ENSAYOS - ENSAYO EN EL HORNO DE LÁMINA ASFÁLTICA DELGADA EN MOVIMIENTO-RTFOT				
FECHA			CODIGO DEL CLIENTE:	CA-CE-272	ORDEN DE TRABAJO:	96
2014 AÑO	9 MES	12 DÍA				
CODIGO DE LA MUESTRA:		G-113-14-1				
DESCRIPCIÓN:		ASFALTO				
NORMAS DE REFERENCIA		ASTM D-2872	X	INVE-720	X	
CONDICIONES DEL ENSAYOS		Temperatura (°C)	163,0	Duracion del envejecimiento (min)	85	
CONDICIONES AMBIENTALES		T ambiente (°C)	t (min)=0	t (min)=40	t (min)=85	
			29,3	29,4	29,6	
		Humedad (%)	52,0	52,0	51,0	
RESULTADOS						
No.	Peso botella vacia (g)	Peso botella + asfalto (g)	Peso del asfalto (g)	Peso botella + asfalto	PORCENTAJE CAMBIO DE MASA (%)	
5	168,498	203,206	34,707	203,101	-0,301	
8	167,366	202,556	35,189	202,457	-0,280	
PROMEDIO					-0,291	
CODIGO DE LA MUESTRA:						
DESCRIPCIÓN:						

**ANEXO 20 .ENVEJECIMIENTO ASFALTO SIN MODIFICAR ENSAYOS
EXTERNOS LABORATORIO DE CORASFALTOS**

Nº Ensayo 1	Dir. Proyecto María Fernanda Serrano Guzmán	Estudiante Marlon Leonardo Rodríguez Sierra
Nombre del ensayo Envejecimiento	Norma INV.E-720	Laboratorio de pavimentos Corasfaltos

	CORASFALTOS
DATOS DE ENSAYOS - ENSAYO EN EL HORNO DE LÁMINA ASFÁLTICA DELGADA EN MOVIMIENTO-RTFOT	

FECHA			CODIGO DEL CLIENTE:	CA-CE-272	ORDEN DE TRABAJO:	96
2014 AÑO	9 MES	12 DÍA				

CODIGO DE LA MUESTRA:	G-113-14-2
------------------------------	------------

DESCRIPCIÓN:	ASFALTO
---------------------	---------

NORMAS DE REFERENCIA	ASTM D-2872	<input checked="" type="checkbox"/>	INVE-720	<input checked="" type="checkbox"/>
-----------------------------	-------------	-------------------------------------	----------	-------------------------------------

CONDICIONES DEL ENSAYOS	Temperatura (°C)	163,0	Duracion del envejecimiento (min)	85
------------------------------------	------------------	-------	-----------------------------------	----

CONDICIONES AMBIENTALES	T ambiente (°C)	t (min)=0	t (min)=40	t (min)=85
		28,5	28,3	28,1
	Humedad (%)	56,0	55,0	56,0

RESULTADOS


No.	Peso botella vacia (g)	Peso botella + asfalto (g)	Peso del asfalto (g)	Peso botella + asfalto	PORCENTAJE CAMBIO DE MASA (%)
7	165,596	200,184	34,588	200,082	-0,296
3	167,901	202,874	34,972	202,768	-0,303

PROMEDIO					-0,299
-----------------	--	--	--	--	--------

CODIGO DE LA MUESTRA:	
------------------------------	--

ANEXO 21 .MEDICIÓN DE PROPIEDADES REOLÓGICAS DE LOS LIGANTES ASFÁLTICOS MEDIANTE EL REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO ASFALTO SIN MODIFICAR ENSAYOS EXTERNOS REALIZADOS EN EL LABORATORIO DE CORASFALTOS

Nº Ensayo 1	Dir. Proyecto María Fernanda Serrano Guzmán	Estudiante Marlon Leonardo Rodríguez Sierra
Nombre del ensayo (DSR)	Norma NTC-5340	Laboratorio de pavimentos Corasfaltos

	CORASFALTOS
DATOS DE ENSAYOS - MEDICIÓN DE PROPIEDADES REOLOGICAS DE LOS LIGANTES ASFÁLTICOS MEDIANTE EL REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO	

FECHA			CODIGO DEL CLIENTE:	CA-CE-272	ORDEN DE TRABAJO:	96
2014 AÑO	9 MES	12 DIA				

CODIGO DE LA MUESTRA:	G-113-14-2 ORIGINAL
------------------------------	----------------------------


DESCRIPCIÓN:	ASFALTO ORIGINAL
---------------------	-------------------------

NORMAS DE REFERENCIA		AASHTO TP 5 <input checked="" type="checkbox"/>	INVE-750 <input checked="" type="checkbox"/>			
CONDICIONES DEL ENSAYO	Equipo	AR 2000ex	Plato de ensayo (mm)	25	Deformación (%)	12
	MARCA	TA INSTRUMENTS RHEOMETERS	Frecuencia (rad/s)	10,0	Separación del plato (mm)	1
	Modelo	532.402.901				
CONDICIONES AMBIENTALES	T ambiente (°C)	t (min)=0	t (min)=60	t (min)=120		
			28,7	28,2	28,1	
	Humedad (%)	51	51	51		

RESULTADOS				
No. de ciclos	TEMPERATURA (°C)	Modulo Complejo, G* (kPa)	Angulo de fase, δ (°C)	G*/sen δ (kPa)
1	58,0	3,718	84,37	3,736
2	58,0	3,717	84,37	3,735
3	58,0	3,716	84,36	3,734
4	58,0	3,715	84,36	3,734
5	58,0	3,715	84,36	3,733
6	58,0	3,715	84,37	3,733
7	58,0	3,714	84,37	3,732
8	58,0	3,710	84,36	3,728
9	58,0	3,713	84,37	3,731
10	58,0	3,709	84,36	3,727
PROMEDIO	58,0	3,714	84,37	3,732

ANEXO 22. MEDICIÓN DE PROPIEDADES REOLÓGICAS DE LOS LIGANTES ASFÁLTICOS MEDIANTE EL REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO ENSAYOS EXTERNOS REALIZADOS EN EL LABORATORIO DE CORASFALTOS

Nº Ensayo 1	Dir. Proyecto María Fernanda Serrano Guzmán	Estudiante Marlon Leonardo Rodríguez Sierra
Nombre del ensayo (DSR)	Norma NTC-5340	Laboratorio de pavimentos Corasfaltos

	CORASFALTOS
DATOS DE ENSAYOS - MEDICIÓN DE PROPIEDADES REOLOGICAS DE LOS LIGANTES ASFÁLTICOS MEDIANTE EL REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO	

FECHA			CODIGO DEL CLIENTE:	CA-CE-272	ORDEN DE TRABAJO:	96
2014	9	12				
AÑO	MES	DIA				

CODIGO DE LA MUESTRA:	G-113-14-2 ORIGINAL
------------------------------	----------------------------

DESCRIPCIÓN:	ASFALTO ORIGINAL
---------------------	-------------------------

NORMAS DE REFERENCIA		AASHTO TP 5 <input checked="" type="checkbox"/>	INVE-750 <input checked="" type="checkbox"/>
-----------------------------	--	---	--

CONDICIONES DEL ENSAYO	Equipo	AR 2000ex	Plato de ensayo (mm)	25	Deformación (%)	12
	MARCA	TA INSTRUMENTS RHEOMETERS	Frecuencia (rad/s)	10,0	Separación del plato (mm)	1
	Modelo	532.402.901				

CONDICIONES AMBIENTALES	T ambiente (°C)	t (min)=0	t (min)=15	t (min)=30
		28,7	28,2	28,1
	Humedad (%)	51	51	51

RESULTADOS

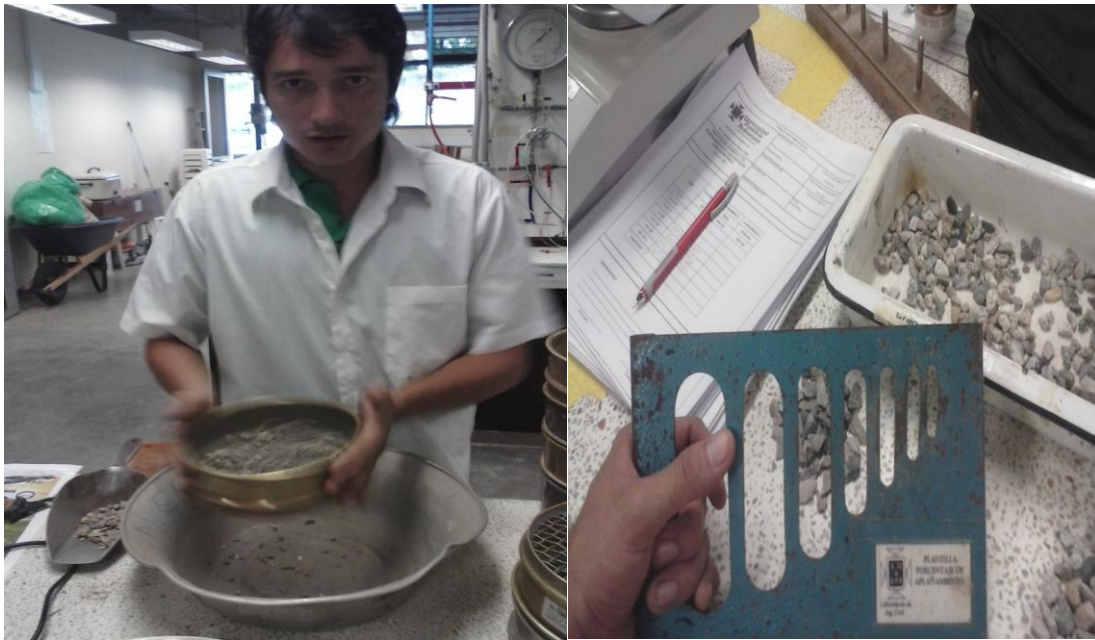
No. de ciclos	TEMPERATURA (°C)	Modulo Complejo, G* (kPa)	Angulo de fase, δ (°C)	G*/sen δ (kPa)
1	64,0	1,651	86,0	1,655
2	64,0	1,651	86,0	1,655
3	64,0	1,650	86,0	1,654
4	64,0	1,650	86,0	1,654
5	64,0	1,651	86,0	1,655
6	64,0	1,650	86,0	1,654
7	64,0	1,651	86,0	1,655
8	64,0	1,648	86,0	1,652
9	64,0	1,649	86,0	1,653
10	64,0	1,649	86,0	1,653
PROMEDIO	64,0	1,650	85,99	1,654

OBSERVACIONES:

ANEXO 23 .REGISTRO FOTOGRAFICO

Nº Ensayo 1	Dir. Proyecto María Fernanda Serrano Guzmán	Estudiante Marlon Leonardo Rodríguez Sierra
Nombre del ensayo Caracterización de los materiales	Norma	Laboratorio de pavimentos UPB (Universidad Pontificia Bolivariana)

Caracterización de los agregados, granulometría e índice de aplanamiento y alargamiento



Ensayo peso específico y absorción



CARACTERIZACIÓN DE LA CENIZA ENSAYOS DE CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA POR IGNICION Y GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN



ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCION DE LA CENIZA Y GRANULOMETRIA



CARACTERIZACION DEL ASFALTO ENSAYOS DE ABLANDAMIENTO Y PUNTO DE LLAMA E IGNICIÓN



ORGANIZACIÓN DE LOS AGREGADOS POR TAMAÑOS SEGÚN LO SOLICITA LA GRANULOMETRIA DE UNA MEZCLA MDC-2 Y A LA IZQUIERDA COMPACTACION CON MARTILLO MARSHALL.

