

**EVALUACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ADICIÓN DE CENIZA COMO
PORCENTAJE DEL LIGANTE Y DEL LLENANTE**

SERGIO ANDRÉS SÁNCHEZ OTÁLORA

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2014**

**EVALUACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ADICIÓN DE CENIZA COMO
PORCENTAJE DEL LIGANTE Y DEL LLENANTE**

SERGIO ANDRÉS SÁNCHEZ OTÁLORA

Tesis de grado como requisito para optar a título de ingeniero civil

**Director(a):
MARÍA FERNANDA SERRANO GUZMÁN
PhD. Ingeniería civil**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERIAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2014**

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del Jurado

Bucaramanga, Noviembre 2014

DEDICATORIAS

Este libro va dedicado a todas aquellas personas que de alguna manera influyeron a que yo aspirara a este título profesional. En especial a mi madre a quien le agradezco de corazón por su gran apoyo y animo durante esta parte importante de mi vida. Pero sobre todo quiero agradecer a mi papito Dios, a quien le doy toda la gloria y honra de mis éxitos, por hacerme esforzado, valiente y por darme la sabiduría y el conocimiento durante mi etapa universitaria.

AGRADECIMIENTOS

A mi gran padre Dios, por estar conmigo durante todo este proceso, porque su favor y su poder estuvieron sobre mí.

A mi madre por todo el esfuerzo hecho para apoyarme económicamente y su gran amor en todo momento.

A la directora del proyecto, PhD María Fernanda Serrano Guzmán por aportarme su conocimiento, tiempo y apoyarme en cada etapa de la tesis y enseñarme su gran excelencia humana y profesional.

A nuestra alma mater, Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, que nos aportó todos los espacios e instalaciones adecuadas para recibir todo el conocimiento adquirido y por la excelencia humana con alta calidad dada.

Al personal del laboratorio, ing. Nora, Heli Rueda y Vicente Páez. Por el tiempo que dedicaron en la orientación de los ensayos y por dejarme encontrar en ellos a unos grandes seres humanos.

A todos los docente e ingenieros que me orientaron hacia el camino del conocimiento y la ciencia.

A todos mis compañeros y amigos que conocí durante esta etapa linda de mi vida en especial a Marlon León Rodríguez quien, Ciro Vides Bautista, Andrés Villacreces y Julieth Delgado por su colaboración en los ensayos del laboratorio.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	15
1.1 JUSTIFICACIÓN	16
1.2 ALCANCE DEL PROYECTO	16
1.3 OBJETIVOS	17
1.3.1 Objetivo general	17
1.3.2 Objetivos específicos	17
1.4 RELEVANCIA DEL ESTUDIO	18
1.5 ORGANIZACIÓN DE LA TESIS	18
2. MARCO TEÓRICO	19
2.1 PAVIMENTOS	19
2.1.1 Características que debe reunir un pavimento	19
2.1.2 Clasificación de pavimentos	20
2.1.2.2 Pavimentos rígidos	20
2.1.2.3 Pavimentos semirrígido	21
2.1.2.4 Pavimentos articulados	21
2.2 MEZCLAS ASFÁLTICAS	21
2.2.1 Mezclas asfálticas densas en caliente	21
2.2.1.1 Evolución de los diseños de mezclas asfálticas en caliente	22
2.2.2 Clasificación de mezclas asfálticas	23
2.2.3 Tipos de mezclas densas en caliente	25
2.3 ASFALTO	25
2.3.1 Clasificación y especificaciones	26
2.3.2 funciones del asfalto en pavimentos	28
2.4 AGREGADOS PÉTREOS	29
2.4.1 Clasificación de los agregados pétreos	30
2.5 MODIFICADORES	31
2.5.1 Asfaltos modificados para la fabricación de mezclas asfálticas	31
2.6 CENIZA VOLANTE	32

2.6.1 Clasificación de cenizas volantes	32
2.6.2 Composición química.....	34
2.6.3 Composición física.....	34
2.7 REALIZACION DE ESTUDIOS PARA MODIFICAR MEZCLAS ASFLATICAS	35
3. METODOLOGÍA.....	38
3.1 MATERIALES UTILIZADOS	38
3.1.1 Materiales granulares	38
3.1.1.1 Descripción de los ensayos para la caracterización de los materiales granulares.....	39
3.1.2 Material Bituminoso	42
3.1.2.1 Descripción de los ensayos para la caracterización del asfalto	42
3.1.3 Ceniza volante	44
3.1.3.1 Descripción de los ensayos para la caracterización de la ceniza	44
3.2 PREPARACIÓN DE LAS BRIQUETAS	45
3.2.1 Método Marshall para las briquetas	47
3.2.2 Compactación de las briquetas.....	47
3.2.2.1 Ensayos para la determinación de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas.....	48
4. RESULTADOS.....	49
4.1 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL GRANULAR	49
4.2 CARACTERIZACIÓN DEL ASFALTO	54
4.3 CARACTERIZACIÓN DE LA CENIZA	55
4.4 RESULTADOS DE ENSAYO MARSHALL	57
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	63
5.1 CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES GRANULARES.....	63
5.2 CARACTERIZACIÓN DEL ASFALTO	64
5.3 CARACTERIZACIÓN DE LA CENIZA	64
5.4 ANÁLISIS DE ENSAYOS MARSHALL	65
6. CONCLUSIONES.....	70

RECOMENDACIONES.....73

ANEXOS.....77

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Diseño de briquetas	17
Tabla 2. Porcentaje de vacíos según tipo de mezcla.....	24
Tabla 3. Especificaciones del asfalto	26
Tabla 4. Uso del asfalto según el tipo de trafico	27
Tabla 5. Composición química de la ceniza.....	34
Tabla 6. Composición física de la ceniza	35
Tabla 7. Porcentaje de material que pasa según el tipo de mezcla asfáltica y tamiz	46
Tabla 8. Granulometría óptima para una MDC-2.....	46
Tabla 9. Dosificación de briquetas	47
Tabla 10. Peso específico de los agregados gruesos.....	53
Tabla 11. Peso específico de los agregados finos.....	53
Tabla 12. Resistencia al desgaste de los agregados gruesos	53
Tabla 13. Resumen del índice de aplanamiento y achatamiento.....	54
Tabla 14. Resultado ensayo de equivalente de arena.....	54
Tabla 15. Resultados de caracterización del asfalto.....	55
Tabla 16. Peso específico de la ceniza.....	55
Tabla 17. Resultados Densidad Bulk	57
Tabla 18. Resultados de estabilidad	59
Tabla 19. Resultados de flujo.....	61
Tabla 20. Caracterización de los agregados pétreos.....	63
Tabla 21. Caracterización del asfalto.....	64
Tabla 22. Caracterización de la ceniza	65
Tabla 23. Cálculos para determinar cantidad de ceniza en mezclas	66
Tabla 24. Resultados diseño Marshall.....	69

LISTA DE FIGURA

Pág.

Figura 1. Esquema de fabricación de las emulsiones asfálticas	28
Figura 2. Esquema de clasificación de los agregados gruesos	30
Figura 3. Imagen microscópica de la ceniza volante	32
Figura 4. Curvas granulométricas de la arena	49
Figura 5. Curva granulométrica grava	50
Figura 6. Granulometría 65% Agregado grueso y 35% Agregado fino	51
Figura 7. Granulometrías para el diseño de mezcla ajustado a la norma Invias ...	51
Figura 8. Granulometría de diseño	52
Figura 9. Resultados de granulometría realizada a la	56
Figura 10. Densidad de las mezclas densas en calientes según ensayo Marshall	58
Figura 11. Estabilidad de las mezclas densas en calientes según ensayo Marshall	60
Figura 12. Flujo de las mezclas densas en calientes según ensayo Marshall	62
Figura 13. Resultados de estabilidad vs peso de ceniza en la mezcla	65
Figura 14. Resultados de flujo vs peso ceniza en la mezcla	66
Figura 15. Resultados de densidad vs peso de ceniza en la mezcla	67
Figura 16. Resultados de %vacíos en la mezcla vs %asfalto	68
Figura 17. %vacíos en los agregados vs peso ceniza en la mezcla	68

LISTA DE ANEXOS

Pág.

Anexo 1. Granulometría para agregados gruesos #1	77
Anexo 2. Granulometría para agregados gruesos #2.....	78
Anexo 3. Granulometría para agregados gruesos #3	79
Anexo 4. Granulometría para agregados finos # 1	80
Anexo 5. Granulometría para agregados finos # 2	81
Anexo 6. Granulometría para agregados finos # 3	82
Anexo 7. Granulometría para diseño de mezcla asfáltica 70%grueso – 30%fino #1	83
Anexo 8. Granulometria para diseño de mezcla asfaltica 70%grueso – 30%fino #2	84
Anexo 9. Granulometria para diseño de mezcla asfaltica 70%grueso – 30%fino #3	85
Anexo 10. Granulometría para diseño de mezcla asfáltica 65%grueso – 35%fino #1.....	86
Anexo 11. Granulometría para diseño de mezcla asfáltica 65%grueso – 35%fino #2.....	87
Anexo 12. Granulometría para diseño de mezcla asfáltica 65%grueso – 35%fino #3.....	88
Anexo 13. Granulometría para diseño de mezcla asfáltica 75%grueso – 25%fino #1.....	89
Anexo 14. Granulometría para diseño de mezcla asfáltica 75%grueso – 25%fino #2.....	90
Anexo 15. Granulometría para diseño de mezcla asfáltica 75%grueso – 25%fino #3.....	91
Anexo 16. Granulometría para diseño de mezcla asfáltica 60%grueso – 40%fino #1.....	92
Anexo 17. Granulometría para diseño de mezcla asfáltica 65%grueso – 35%fino modificada con ceniza #1	93
Anexo 18. Granulometría para diseño de mezcla asfáltica 65%grueso – 35%fino modificada con ceniza #2	94
Anexo 19. Gravedad específica y absorción de los agregados finos #1	95
Anexo 20. Gravedad específica y absorción de los agregados finos #2.....	96
Anexo 21. Gravedad específica y absorción de los agregados finos #3.....	97
Anexo 22. Gravedad específica y absorción de los agregados gruesos #1.....	98
Anexo 23. Gravedad específica y absorción de los agregados gruesos #2.....	99
Anexo 24. Gravedad específica y absorción de los agregados gruesos #3.....	100

Anexo 25. Resistencia al desgaste de los agregados con tamaños menores 1 ½” por medio de la máquina de los ángeles	101
Anexo 26. Índice de alargamiento y aplanamiento #1	102
Anexo 27. Índice de alargamiento y aplanamiento #2	103
Anexo 28. Índice de alargamiento y aplanamiento #3	104
Anexo 29. Equivalente de arena	105
Anexo 30. Penetración de materiales Bituminosos #1	106
Anexo 31. Penetración de materiales Bituminosos #2	107
Anexo 32. Penetración de materiales Bituminosos #3	108
Anexo 33. Punto de ignición y llama mediante la copa de Cleveland #1	109
Anexo 34. Punto de ignición y llama mediante la copa de Cleveland #2	110
Anexo 35. Punto de ignición y llama mediante la copa de Cleveland #3	111
Anexo 36. Peso específico del asfalto	112
Anexo 37. Punto de ablandamiento de materiales bituminosos #1	113
Anexo 38. Punto de ablandamiento de materiales bituminosos #2	114
Anexo 39. Punto de ablandamiento de materiales bituminosos #3	115
Anexo 40. Ensayos realizados al asfalto con ceniza	116
Anexo 41. Granulometría de la ceniza	117
Anexo 42. Gravedad específica y absorción de la ceniza	118
Anexo 43. Superficie específica de la ceniza	119
Anexo 44. Medidas, cálculos y Resultados por el método Marshall	120
Anexo 45. Registro fotográfico	135

RESUMEN

TITULO: EVALUACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ADICIÓN DE CENIZA COMO PORCENTAJE DEL LIGANTE Y DEL LLENANTE

AUTORES: SERGIO ANDRÉS SÁNCHEZ OTÁLORA

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): MARÍA FERNANDA SERRANO GUZMÁN

El uso de asfaltos modificados se ha convertido hoy, en la mejor opción tanto para el diseñador como para el usuario. Ya que mejoran las propiedades mecánicas y reológicas de una mezcla asfáltica convencional, como la resistencia a los esfuerzos de tensión repetidos, adhesión, durabilidad con el tiempo, disminución de la susceptibilidad a la temperatura entre otros. Los modificadores del asfalto convencional generalmente son polímeros. Para esta investigación se utilizó ceniza con el fin de evaluar el comportamiento de la mezcla asfáltica. Y a su misma vez aprovechar un material residual, contribuyendo de esta manera con la conservación del medio ambiente, por todo esto la importancia y razón de ser de este proyecto.

Para este estudio se diseñaron y fabricaron 11 tipos de mezclas asfálticas, con porcentajes de asfalto de 4.5%, 5% y 5.5%. Para cada porcentaje de asfalto se hicieron 3 briquetas, lo que da un total de 99 briquetas. Las briquetas contienen porcentajes de 0%,5%,10%,20%,30% del ligante por ceniza y 25%,50%,75% del llenante mineral por ceniza. Los agregados naturales fueron mezclados en proporciones de 65%grueso y el 35% restante en 75% ceniza y 25% fino, con el fin de suplir el faltante de pasa 200 en los agregados naturales. Los agregados pétreos y el ligante usados para las mezclas asfálticas cumplieron con la exigencias requeridas por el Invias. Los mejores resultados se encuentran cuando se adiciona un 10% de ceniza, Obteniendo resultados de estabilidad y resistencia mayores.

PALABRAS CLAVES: mezcla asfáltica, ceniza, Asfalto, llenante, agregados pétreos.

ABSTRACT

TITLE: EVALUATION OF ASPHALT MIXTURE WITH ADDITION OF ASH AS PERCENTAGE OF BINDER AND MINERAL FILLER

AUTHOR: SERGIO ANDRÉS SÁNCHEZ OTÁLORA

FACULTY: civil engineering faculty

DIRECTOR: PhD. MARÍA FERNANDA SERRANO GUZMÁN

The use of modified asphalts has become today in the best option for the designer and the user. Because it improves the mechanical and rheological properties of a conventional asphalt mixture, as resistance to the repeated tension efforts, adhesion, durability, decrease of the temperature susceptibility among others. Conventional asphalt modifiers are usually polymers. For this research used ash with the purpose to evaluate the behavior of asphalt mixture and the same time take advantage of a residual material, contributing to the conservation of the environment, for all this importance and rationale of the project.

For this study were designed and produced 11 types of asphalt mixtures, with percentages of asphalt 4.5%, 5% and 5.5%, were made 3 briquettes for each proportion of asphalt, for a total of 99 briquettes. Briquettes contain percentages of 0%, 5%, 10%, 20%, and 30% of binder by ash and 25%, 50%, 75% of mineral filler by ash. Natural aggregates were mixed in proportions of 65% coarse aggregate and the remaining 35% to 75% ash and 25% fine aggregate, in order to supplement the missing mineral filler in natural aggregates. Stone aggregates and binder used for asphalt mixtures met the requirements set by Invias. Best results are found when it added a 10% fly ash. Obtaining greater stability and resistance results.

KEYWORDS: asphalt mixtures, ash, asphalt, binder, Stone aggregates

1. INTRODUCCIÓN

La inversión en infraestructura resulta indispensable para el crecimiento económico y social de un país. Es por esto que las vías terrestres siempre deben prestar un buen servicio en cuanto a la seguridad, comodidad y durabilidad, ya que generan reducción en tiempos y costos de transporte. Además mejora las condiciones de accesibilidad de la región, que favorecen y mejoran el accionar del modelo económico, y producto de esto, se intensifican las relaciones comerciales interregionales, puesto que el tiempo de recorrido disminuye al estar pavimentada una vía y mejora la competitividad de localidades que se encontraban apartadas de los sectores de desarrollo.

Según estudios realizados, Colombia tiene un atraso en infraestructura vial, ya que existen deficiencias de puentes, túneles, viaductos, taludes y carreteras que le quitan competitividad. Ahora bien, por otro lado carros con carga mayor a lo permitida, la falta de mantenimiento de las vías y de ceñirse a la norma de construcción de vías (norma INVIAS), da como resultado un deterioro más rápido de las vías. Es por esto que se han encaminado investigaciones que contribuyan a un mejor desempeño de cada uno de los elementos de un pavimento. En especial de la capa de rodadura, a la que se le hacen cambios al asfalto convencional o a los materiales pétreos, por otros que cumplan con la misma funcionalidad pero que a su misma vez se comporten mejor hablándolo estructuralmente.

Con este trabajo investigativo, se verificó el comportamiento mecánico de mezclas densas en caliente tipo 2 preparadas con un menor porcentaje del asfalto y del llenante mineral, en porcentajes de 0%,5%,10%,20%,30% de ceniza disminuyendo el contenido del ligante y 25%,50%,75% de ceniza para reemplazar el llenante mineral. En general, se observa un mejor comportamiento y un aumento de la resistencia de la mezcla asfáltica a la deformación y a los esfuerzos de tensión que son constantes, por consiguiente a la fatiga y a la reducción del agrietamiento. A futuro, este tipo de mezcla puede reducir la susceptibilidad de la capa de rodadura a los cambios climáticos. Los resultados obtenidos viabilizan el uso de la ceniza añadida como porcentaje al ligante y aporta una alternativa para que la ceniza sea recuperada y utilizada para este tipo de proyecto.

1.1 JUSTIFICACIÓN

Colombia se encuentra en vía de desarrollo, por lo que es importante que la infraestructura vial se encuentre en óptimas condiciones de operación para lograr movilizar la mayor cantidad de productos, mercancías y personas, por medio de la red vial de una manera eficiente. Debido a esto, se busca la utilización de nuevos agregados, como la ceniza que pretenden cumplir con todas las expectativas del usuario, en este caso los conductores.

Uno de los retos de las administraciones y de las empresas dedicadas a la construcción de infraestructuras viarias es el aprovechamiento y reutilización de materiales para la fabricación de pavimentos que permitan abaratar costos a la vez que se mejoren las cualidades del firme a implantar, es por eso que se busca evaluar la utilización de ceniza como parte del llenante mineral y del asfalto, de esta manera disminuir la cantidad de asfalto sin perder la calidad y el servicio de la red vial.

En cuanto a impactos negativos de la actividad de recuperación vial, es de tener en cuenta que esta actividad genera gran cantidad de escombros los cuales a futuro traerán grandes problemas de basura para una ciudad y costos adicionales. Este proyecto busca entonces mitigar el impacto ambiental generado por la producción de revestimiento flexible, utilizando subproductos que desde el punto de vista industrial petrolero son residuos, como la ceniza generada durante el proceso incineración de lodos, la cual sirve como parte del pas 200 y del ligante para la capa de rodadura asfáltica, dándole mejores características mecánicas al mismo. De esta manera se contribuye con el equilibrio del medio ambiente, reutilizando materiales que se pensaban que eran desechos sin valor agregado.

1.2 ALCANCE DEL PROYECTO

Con este trabajo se ofrece una nueva fuente de llenante mineral y asfalto para mezclas asfálticas densas en caliente, que reemplaza un porcentaje del material pétreo convencional (llenante mineral) y el ligante usado, por ceniza. Para esto se elaboraron 11 tipos de briquetas, nueve por cada tipo briqueta para un total de 99, cada briqueta con porcentajes de 0%,5%,10%,20%,30% del ligante por ceniza y 25%,50%,75% del llenante mineral por ceniza. El número de especímenes fue acordado con el ente financiador, buscando la identificación del porcentaje ideal de ceniza con el cual se harán estudios más profundos. A continuación en la tabla

1 se especifican cada uno de los tipo de briquetas con los porcentajes de remplazo de ceniza y con los porcentajes de asfalto según el diseño.

Tabla 1. Diseño de Briquetas

Tipo de briketa	n°briketas	Contenido Asfalto (%)	asfalto por ceniza		Llenante por ceniza	
			%asfalto	%ceniza	%llenante	%ceniza
A	9	4.5;5;5.5	100	0	100	0
B	9	4.5;5;5.5	95	5	100	0
C	9	4.5;5;5.5	90	10	75	25
D	9	4.5;5;5.5	90	10	50	50
E	9	4.5;5;5.5	90	10	25	75
F	9	4.5;5;5.5	80	20	75	25
G	9	4.5;5;5.5	80	20	50	50
H	9	4.5;5;5.5	80	20	25	75
I	9	4.5;5;5.5	70	30	75	25
J	9	4.5;5;5.5	70	30	50	50
K	9	4.5;5;5.5	70	30	25	75

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

- Evaluar el comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica densa en caliente con adición de ceniza como porcentaje del ligante y del llenante.

1.3.2 Objetivos específicos

- Evaluar el comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica convencional tipo MDC-2.
- Identificar el porcentaje óptimo de la mezcla de ceniza como porcentaje del llenante y del ligante.
- Evaluar las propiedades mecánicas de mezclas las asfálticas modificadas.
- Comparar los comportamientos mecánicos de las mezclas densas preparadas.

1.4 RELEVANCIA DEL ESTUDIO

Los estudios llevados a cabo fueron financiados mediante convenios con Ecopetrol. Entidad que busca darle un uso a la ceniza que queda después de quema de lodos, los cuales se obtuvieron en el proceso de excavaciones ductos para la extracción del petróleo, lo que se busca entonces es dar alternativas de uso a la ceniza y aprovecharla.

1.5 ORGANIZACIÓN DE LA TESIS

La investigación que se presentara a continuación se encuentra estructurada en el siguiente orden: En el capítulo 1 se inicia con el planteamiento del problema, seguido de la justificación, alcance, los objetivos, relevancia del estudio y la organización de la tesis. En el capítulo 2 se encuentra el marco teórico o la información sobre la cual se fundamenta la tesis, además se mencionan algunos estudios acerca de mezclas asfálticas modificadas. El capítulo 3 se describe la metodología sobre la cual está encaminada la investigación presente. En el capítulo 4 se presentan los resultados obtenidos de cada ensayo mencionado en el capítulo 3. En el capítulo 5 se encuentra el análisis de resultados de los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio. En este capítulo los datos obtenidos son comparados según las especificaciones de la norma Invias. En el capítulo 6 se presentan las conclusiones de la investigación según el análisis de resultados realizado. Y por último se muestran las referencias bibliográficas, anexos y registro fotográfico de los ensayos realizados.

2. MARCO TEÓRICO

En el siguiente capítulo se expondrá la información científica sobre la cual se basa y desarrolla el trabajo en para la preparación de una mezcla asfáltica modificada, reemplazando un porcentaje del llenante mineral y del asfalto por ceniza. Teniendo en cuenta que los autos día por día evolucionan y se reinventan, también es necesario que las vías se encuentren en óptimas condiciones para poder estar a la altura de los superautos.

2.1 PAVIMENTOS

Un pavimento está constituido por un grupo de capas intercaladas una sobre la otra, de forma horizontal, las cuales son construidas y diseñadas bajo normas técnicas, que exigen materiales adecuados y con un buen nivel de compactación. La estructura de pavimento estará apoyada sobre la subrasante, que es el nivel más bajo que compone una estructura de pavimento, obtenida mediante el proceso excavación. Las estructuras de pavimentos están diseñadas para resistir los esfuerzos que las cargas transmiten constantemente al pavimento, por el periodo de tiempo que fue diseñado según el calculista.¹

Los pavimentos tienen como finalidad permitir que los autos transiten sobre el mismo de manera cómoda y segura, a velocidades operacionales deseadas y bajo cualquier tipo de clima.²

2.1.1 Características que debe reunir un pavimento

A continuación se definirá las funciones que cumple un pavimento que está bien construido y diseñado:

- Debe ser resistente a los esfuerzos producidos por las cargas del tránsito vehicular.
- Debe ser resistente a los fenómenos naturales.

1 MONTEJO FONSECA, Alfonso. Pavimentos, constitución y conceptos generales. En: Ingeniería de pavimentos para carreteras 2ed. Bogotá D.C.: Stela Valbuena de Fierro, 1998. P1-P2

2 Universidad Mayor de San Simón. Función de un pavimento. En: Manual completo de diseño de pavimentos.P2

- Debe ser resistente a la abrasión producida por el paso de los vehículos.
- Debe ser durable y económica.
- Debe drenar adecuadamente.
- Debe tener una regularidad superficial, para que los usuarios se sientan cómodos.
- El ruido producido por el transitar de un vehículo al contacto con la capa de rodadura, debe ser moderado en el interior del vehículo como en el exterior.³

2.1.2 Clasificación de pavimentos

Los pavimentos se clasifican de la siguiente manera: pavimentos flexibles, pavimentos rígidos, pavimentos semirrígidos y pavimentos articulados.

2.1.2.1 Pavimentos flexibles

Este tipo de pavimentos está constituido por tres capas, una carpeta es bituminosa y está se encuentra apoyada sobre dos capas, la base y la sub-base. Las últimas dos capas en conjunto no son siempre necesarias, por lo que se podría utilizar una o la otra, según los requerimientos para el diseño.

2.1.2.2 Pavimentos rígidos

Son aquellos que se componen mayormente por una capa de concreto hidráulico que se apoya directamente sobre la subrasante o sobre una sub-base de material especial. Por las características físico-mecánicas del concreto como la rigidez y la elasticidad, el área de distribución de presión es extensa. Cabe resaltar que el concreto es lo suficientemente bueno para soportar esfuerzos a tensión en áreas donde la sub-rasante es débil, debido a su estructura de acero corrugado interna.⁴

3 MONTEJO FONSECA, Alfonso. Pavimentos, constitución y conceptos generales. En: Ingeniería de pavimentos para carreteras 2ed. Bogotá D.C.: Stela Valbuena de Fierro, 1998. P2

4 MONTEJO FONSECA, Alfonso. Pavimentos, constitución y conceptos generales. En: Ingeniería de pavimentos para carreteras 2ed. Bogotá D.C.: Stela Valbuena de Fierro, 1998. P3-p7

2.1.2.3 Pavimentos semirrígido

Es la combinación entre el pavimento rígido y el flexible, está conformado por una losa de concreto, sobre la cual se apoyan una serie de capas asfálticas. A diferencia de los dos pavimentos descritos anteriormente este produce menos ruido en el entorno.⁵

2.1.2.4 Pavimentos articulados

Se define como pavimento en adoquín o articulado al revestimiento de adoquines hechos en cerámica u hormigón, puesto sobre una capa de arena nivelada, que tiene un espesor entre los 5cm y 3cm. Se usa generalmente para tráfico de bajo nivel y en lugares donde se quiere dar un buen aspecto estético.⁶

2.2 MEZCLAS ASFÁLTICAS

Una mezcla asfáltica es un producto que resulta de mezclar de manera uniforme un material asfáltico con un pétreo.⁷ Las mezclas asfálticas o aglomerados, están compuestas por una mezcla de agregado fino, agregado grueso y asfalto. Generalmente, esta mezcla se fabrica en centrales fijas o móviles, en donde después de mezclada de manera uniforme, es transportada la mezcla, puesta en obra y compactada. Además son utilizadas para la construcción de carreteras en los diferentes escenarios que sean necesarios como aeropuertos, pavimentos industriales, puertos. Las mezclas asfálticas están constituidas por agregado grueso y fino en 90%, 5% de asfalto y 5% de llenante mineral. Cada uno de los materiales que componen la mezcla asfáltica, debe ser de gran calidad, de lo contrario se afectaría forma cómo funciona el conjunto de los mismos.

2.2.1 Mezclas asfálticas densas en caliente

Es la combinación de asfalto, agregados pétreos finos (finos y gruesos) y en algunas ocasiones aditivos. Para la elaboración de este tipo de mezclas, se calientan todos los materiales a una temperatura de 150 grados y después son

5 BAÑON BLAZQUEZ, Luis. Y BEVIA GARCIA, José. Redes viarias. En: Manual de carreteras vol. 2. Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A.2000. p4-5

6 GONZÁLEZ, Montse y María del Portal Latas. Diseño. En: Pavimentos. Nuevos revestimientos. 1 ed. Barcelona. España. Ediciones UPC.2002. p7

7 Secretaria de comunicaciones y transporte de México. Materiales para pavimentos. N-CMT-4-05-003/02

revueltos hasta que la mezcla esta homogénea. Para que la mezcla quede bien compactada, se debe hacer a una temperatura muy superior a la temperatura ambiente.⁸ Se elaboran en caliente en plantas fijas o móviles, que esta provista de los equipos que se necesitan para calentar los materiales de la mezcla.⁹

2.2.1.1 Evolución de los diseños de mezclas asfálticas en caliente

The Hubbard-Field (1920´s)

Este es uno de los primeros métodos para el diseño de mezclas asfálticas. The Hubbard-Field básicamente evalúa la proporción de vacíos en el filler y en la mezcla. Este método, funcionaba bien para evaluar mezclas que tuvieran granulometrías pequeñas o agregado que no fuera de gran tamaño, pero no lo hacía de igual manera para las mezclas que contenían gran cantidad de agregado grueso.

Método Marshall (1930´s)

Método de diseño de mezclas asfálticas. Este método fue desarrollado durante la segunda guerra mundial y después fue adaptado para su uso en carreteras. Como pruebas fundamentales el método Marshall utiliza una estabilidad y porcentaje de vacíos.

Método Hveem (1930´s)

Este método para evaluar mezclas asfálticas, es desarrollado en el mismo año en que se desarrolló el método Marshall y básicamente evalúa una estabilidad pseudotriaxial.

Método de la Western Association of State Highway on Transportation Officials. WASHTO (1984)

Este método a diferencias de los anteriores métodos sugirió cambios para las exigencias del material y las especificaciones de diseño de mezclas, con el fin de mejorar la resistencia a los esfuerzos generados por el paso de los vehículos

Método de Asphalt Aggregate Mixture Analysis System. AAMAS (1987)

Tras dos años de investigación, este método recomendó hacer algunos cambios, debido a las necesidades actuales. Entre los cambios, sugirió un nuevo método de compactación en el laboratorio y la evaluación de propiedades volumétricas,

⁸ ZACARIAS GARCIA, Adrián. Estudio de las deformaciones permanentes de mezclas asfálticas elaboradas con asfalto AC-20, Y adicionadas con polímeros y aditivos, utilizando la pista de ensayo de laboratorio UMICH. Michoacana: Universidad de Michoacana. Facultad de ingeniería civil, 2008,

⁹ Secretaria de comunicaciones y transporte de México. Materiales para pavimentos. N-CMT-4-05-002/06

además desarrollo ensayos para identificar las deformaciones permanentes, grietas y resistencia a las grietas a baja temperatura.

Método SUPERPAVE (1993)

El método AAMAS, es el punto de inicio para el desarrollo del método SUPERPAVE. El cual tiene un diseño nuevo volumétrico completo de mezcla, este diseño nuevo funciona mediante la predicción teniendo en cuenta unos modelos y ensayos en laboratorio, grietas por fatiga y grietas por baja temperatura.¹⁰

2.2.2 Clasificación de mezclas asfálticas

Existen diversos parámetros que podrían definir las características de una mezcla asfáltica y las diferencias entre ellas. Es por ello que existen varios sistemas de clasificación de mezclas asfálticas. A continuación se presentan los sistemas de clasificación:

1) Por fracciones de agregado pétreo empleado

- Masilla asfáltica: combinación de llenante mineral y asfalto.
- Mortero asfáltico: combinación de arena y masilla.
- Concreto asfáltico: combinación de agregado grueso y mortero.
- Macadam asfáltico: combinación de agregado grueso y asfalto.

2) por la temperatura de puesta en obra

- Mezcla asfáltica en caliente: generalmente se hacen con asfalto a una temperatura de 150 centígrados. la temperatura a la que se calienta el asfalto es según las características de viscosidad del mismo, es así que los materiales pétreos deben calentarse también a una temperatura igual a la del asfalto, para que cuando los agregados pétreos entren en contacto con el asfalto, este no se enfríe. La mezcla asfáltica puesta en obra se tiene que llevar a campo con una temperatura superior a la temperatura ambiente, ya que es necesario para que la mezcla sea manejable y pueda alcanzar buen nivel de compactación.

¹⁰ PADILLA RODRIGUEZ, Alejandro. Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista. México: Universidad Politécnica de Cataluña. Facultad de Ingeniería civil, 2004, p47-p48

- Mezcla asfáltica en frío: Es una mezcla de asfalto con materiales pétreos a temperatura ambiente y por lo tanto la puesta en obra es en frío.

3) **Por la proporción de vacíos en la mezcla asfáltica**

Es muy importante tener en cuenta este parámetro, ya que de este depende una buena compactación de la mezcla y en consecuencia que no se produzcan deformaciones plásticas.

Tabla 2. Porcentaje de vacíos según tipo de mezcla

Tipo de mezcla	Porcentaje de vacíos
Densa	6%
Semi-Densa	6%-12%
Abiertas	12%-20%
Porosa	Superior al 20%

Fuente. Padilla Rodríguez Alejandro 2004

4) **por el tamaño máximo del agregado**

- Mezclas gruesas: el tamaño máximo que contiene el agregado grueso de este tipo de mezcla es mayor a 10mm.
- Mezclas finas: también llamados morteros asfálticos, básicamente porque estas mezclas tiene un alto contenido de agregado fino a comparación del agregado grueso. El tamaño máximo del material pétreo sería el espesor mínimo de una capa que se extienda, que al final se podría duplicar o triplicar.

5) **Por la estructura del agregado grueso**

- Mezclas con esqueleto mineral: llamadas así porque tiene un esqueleto mineral resistente, debido al rozamiento o trabazón que se genera entre las Partículas gruesas y finas.
- Mezclas sin esqueleto mineral: Este tipo de mezclas se caracteriza por que no tiene un esqueleto mineral y en consecuencia, la resistencia de la mezcla es producto de la cohesión generada entre la masilla y los materiales pétreos.

6) Por la granulometría

- Mezclas Continuas: se llama mezcla continua, a aquellas que tiene una cantidad distribuida de los diferentes tamices granulométricos.
- Mezclas Discontinuas: Son aquellas que contienen una cantidad desigual de los diferentes tamaños de agregados según la granulometría.¹¹

2.2.3 Tipos de mezclas densas en caliente

Las mezclas asfálticas densas en caliente son el producto de combinar agregados pétreos, asfalto, filler y en algunos casos aditivos. De manera que todos los materiales queden envueltos en una película ligante. En Colombia hay tres tipos de mezclas asfálticas densas en caliente.¹²

MDC-1: Mezcla de ligante asfáltico y agregados pétreos de tamaño máximo de 1”¹³. se puede utilizar como capa intermedia y capa de rodadura, para espesores mayores a 50 mm y a 60 mm respectivamente.

MDC-2: Mezcla de ligante asfáltico y agregados pétreos de tamaño máximo de ¾”. Generalmente es usada para capas de rodadura entre 40mm a 60 mm y en algunos casos para valores que superan los 60mm.

MDC-3: Mezcla asfáltica densa en caliente, que se puede utilizar para capas de rodadura con espesores compactados entre 30mm a 40mm.¹⁴

2.3 ASFALTO

Los asfaltos son aquellas sustancias de color oscuro que pueden ser líquidas, sólidas o semisólidas, compuestas en su mayoría por hidrocarburos solubles en sulfuro de carbono y procedente de yacimientos naturales u obtenido como residuos del tratamiento de determinados crudos de petróleo en el proceso de

11 PADILLA RODRIGUEZ, Alejandro. Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista. México: Universidad Politécnica de Cataluña. Facultad de Ingeniería civil, 2004, p45-p46

12 PADILLA RODRIGUEZ, Alejandro. Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista. México: Universidad Politécnica de Cataluña. Facultad de Ingeniería civil, 2004, p47

13 ASFALTART S.A. Ficha técnica. Mezcla asfáltica en caliente tipo MDC-1.

14 INVIAS. Especificación técnica. ART 450-07. P3

destilación o extracción, es así que debido a sus propiedades aglutinantes, físicas y químicas los hacen ideales para una gran serie de aplicaciones.

2.3.1 Clasificación y especificaciones

Asfaltos naturales

Este tipo de asfalto se encuentra generalmente en depósitos formados por procesos naturales. Los depósitos naturales en los que el asfalto se encuentra dentro de una roca porosa se le llama rocas asfálticas, y su manifestación en la naturaleza se da de diferentes maneras entre las que se destacan los manantiales, lagos y las exudaciones. Cabe resaltar que en algunas ocasiones estos depósitos de asfalto se encuentran acompañados de otros tipos de materiales o sustancias extrañas y otros prácticamente puros.¹⁵

Asfaltos derivados del petróleo

Los asfaltos que se utilizan hoy en día para la construcción de vías, proceden de la refinación del petróleo. Los asfaltos son constituidos por la fracción más pesada obtenida de la destilación al vacío del crudo reducido (fondos de la destilación atmosférica del petróleo). En la norma INV E-706 se indican las características de los asfaltos derivados del petróleo que se producen en Colombia.¹⁶

Tabla 3. Especificaciones del asfalto

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. Norma Invias Art. 400 (2000)

15 ASOPAC. El cemento asfáltico. En: Cartilla del pavimento asfáltico. Asopac.Bogota.2004. p11

16 REYES LIZCANO, Fredy. Tipos y usos de asfalto. En: Diseño Racional de Pavimentos. 1ed. Bogota.CEJA.2003. p77 -p78

Cemento asfáltico sólidos

Los cementos asfálticos se utilizan principalmente en aplicaciones viales como: construcción de carreteras, autopistas, caminos y demás vías. Este es un asfalto refinado, que en ocasiones es combinado con gasóleo. Lo que da como resultado una mezcla con buenas propiedades aglutinantes e impermeabilizantes, flexible, durable y con alta tolerancia a la mayor parte de sales, ácidos y alcoholes. Se prepara comercialmente con base al ensayo de penetración y se usa según el tipo de tráfico al que estará sometido.¹⁷

Tabla 4. Uso del asfalto según el tipo de tránsito

Tipo de cemento asfáltico para emplear según el tráfico	
Tráfico de diseño	Penetración del cemento asfáltico
Tráfico alto(T5 y T4)	60 -70
Tráfico medio (T3)	60-70 u 80-100
Tráfico bajo (T2 y T1)	60-70 u 80-100

Fuente. Libro diseño racional de pavimentos (2003)

Asfaltos líquidos

Son materiales compuestos por una combinación de cemento asfáltico y solvente de hidrocarburos (vecina, queroseno o aceite) en diferentes rangos de destilación, que definen el tiempo de curado de la mezcla asfáltica. Este tipo de asfaltos es aplicado en frío y los más utilizados en la industria son los de curado medio y curado rápido¹⁸. Los asfaltos líquidos son lo que se presentan a continuación¹⁹:

- Asfalto fluidificado.
- Asfalto de curado rápido.
- Asfalto de curado medio.
- Asfalto de curado lento.
- Asfalto emulsificado.
- Emulsión asfáltica inversa

Emulsiones asfálticas

Son aquellas que se componen de dos elementos: agua y cemento asfáltico. En los campos que más se utiliza es en la estabilización de suelos, tratamientos superficiales y lechadas asfálticas. Según la carga eléctrica de los glóbulos de

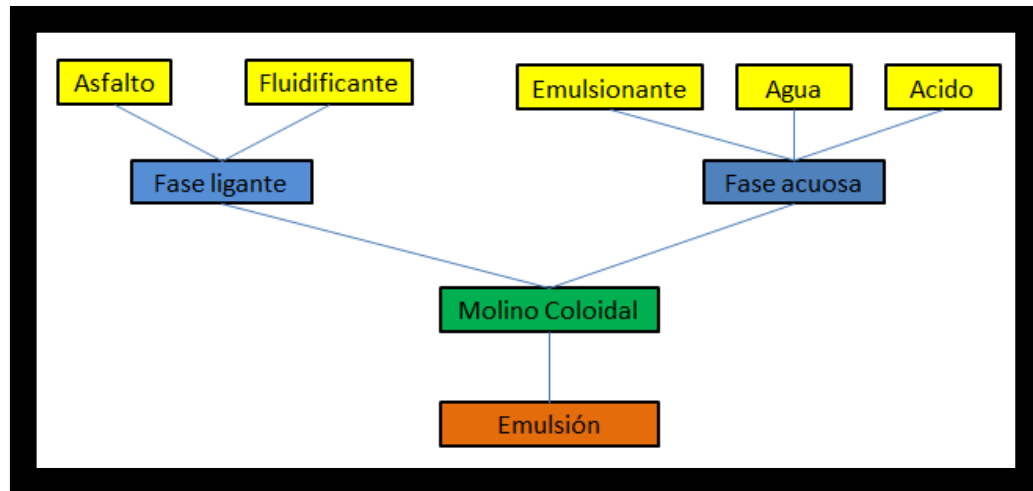
¹⁷ REYES LIZCANO, Fredy. Tipos y usos de asfalto. En: Diseño Racional de Pavimentos. 1ed. Bogotá.CEJA.2003. p78

¹⁸ REPSOL. Asfalto líquidos. [en línea]. [27/08/2014]. Disponible en internet: URL<:http://www.repsol.com/pe_es/productos_y_servicios/productos/peasfaltos/productos/aliquidos/

¹⁹ Alpha Institute. Terminología del asfalto y sus aplicaciones. En: Manual del asfalto. España. URMO S.A EDICIONES. P28-P29

asfalto, pueden ser catiónicas y aniónicas. De acuerdo a la velocidad de rotura las emulsiones asfálticas pueden ser de rompimiento rápido, medio y lento. 20

Figura 1. Esquema de fabricación de las emulsiones asfálticas



Fuente. Repsol (2014)

2.3.2 funciones del asfalto en pavimentos

El asfalto tiene características impermeables, adherentes y cohesivas. Las cuales contribuyen a que los pavimentos soporten grandes cargas continuas en el paso del tiempo. En la construcción de pavimentos el asfalto tiene las siguientes funciones:

- Impermeabilizar la estructura de pavimento, lo que hace que no entre agua al pavimento proveniente de precipitaciones y además la hace poco sensible a la humedad.
- Genera cohesión entre los agregados, lo que ayuda a la capa de rodadura a que se comporte de manera monolítica, para así, soportar los esfuerzos generados a la capa de rodadura, por el paso de los carros y a la misma vez dirigir las cargas de manera distribuida a las capas granulares.²¹

20 REPSOL. Emulsiones asfálticas. [en línea]. [26/08/2014]. Disponible en internet: URL<: http://www.repsol.com/pe_es/productos_y_servicios/productos/peasfaltos/productos/easfalticas/

21 REYES LIZCANO, Fredy. Tipos y usos de asfalto. En: Diseño Racional de Pavimentos. 1ed. Bogota.CEJA.2003. p80

- El asfalto le da características de flexibilidad que hacen que el pavimento no se fisure, ante repentinas consolidaciones de la capas que están por debajo del asfalto.²²

2.4 AGREGADOS PÉTREOS

Los materiales pétreos son un grupo de partículas minerales de diferentes tamaños y formas de procedencia natural o artificial. Este tipo de materiales representa un 90% o más del peso total de una mezcla asfáltica, por lo que se puede decir que son el esqueleto del pavimento.²³

Son agregados solidos inertes que se utilizan en los firmes de carreteras. Se caracterizan por ser materiales granulares, que se extraen de fuentes naturales (ríos, minas, peñas) o mediante procesos industriales, en los que el material rocoso es triturado hasta alcanzar los estándares de granulometrías.²⁴ Los siguientes materiales hacen parte del conjunto de agregados pétreos:

- **Agregado grueso:** También llamado gravas, los agregados grueso según el artículo 400 de la norma Invias es la fracción de agregados retenida en el tamiz No. 4.
- **Agregado fino:** Los agregados finos básicamente es lo que se conocen como arena. Según el sistema de clasificación de suelos SUCS el agregado fino corresponde a la porción total de agregado pétreo retenida entre los tamices No.4 y No. 200.
- **Llenante mineral:** Recibe el nombre también de pasa 200, debido a que el material que pasa por el tamiz 200 es el que se toma como llénate mineral²⁵. Su origen puede provenir del proceso de trituración de rocas, como una fracción mina que hace parte del agregado fino o como un producto industrial, en el que se procesa la piedra caliza y da como resulta el llenante mineral.

22 REYES LIZCANO, Fredy. Tipos y usos de asfalto. En: Diseño Racional de Pavimentos. 1ed. Bogota.CEJA.2003. p80

23 BAÑÓN BLAZQUEZ, Luis. y BEVIA GARCIA, José. Materiales pétreos. En: Manual de carreteras vol. 2. Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A.2000. p20-1

24 PADILLA RODRIGUEZ, Alejandro. Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista. México: Universidad Politécnica de Cataluña. Facultad de Ingeniería civil,2004, p5

25 Alpha Institute.Terminología del asfalto y sus aplicaciones. En: Manual del asfalto. España. URMO S.A EDICIONES. P35

2.4.1 Clasificación de los agregados pétreos

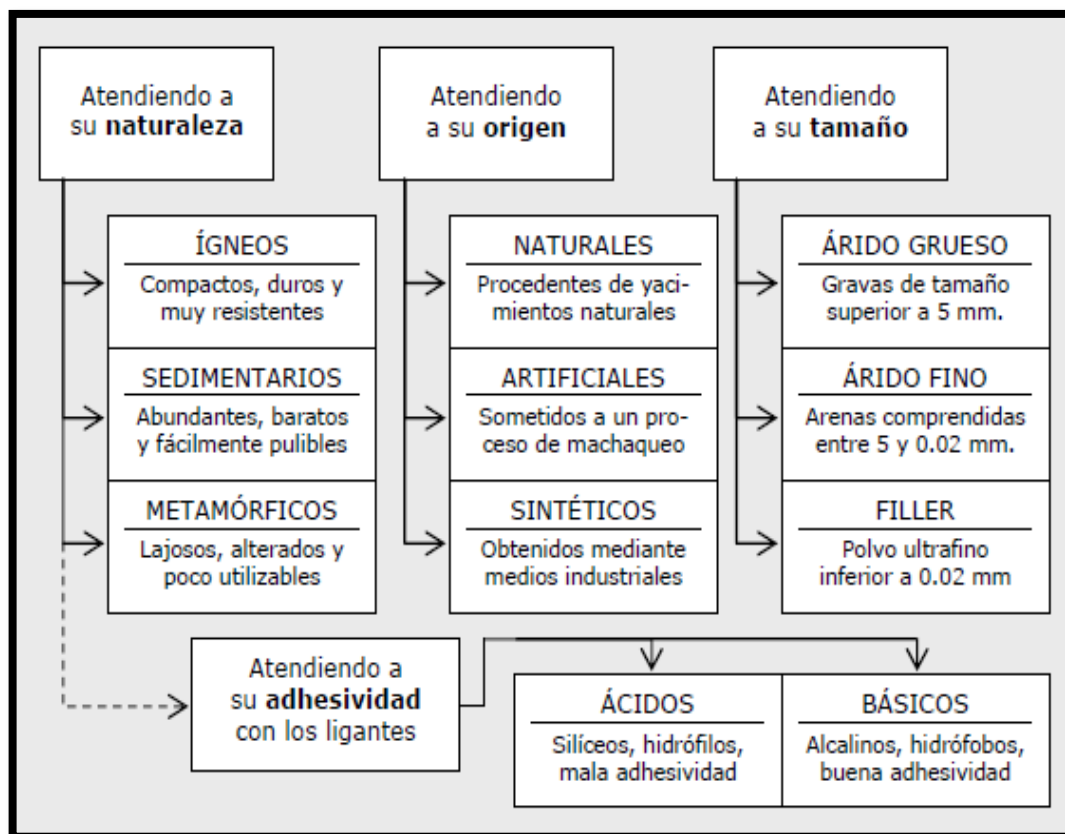
Criterio de naturaleza mineral

Las rocas se dividen en tres grupos genéticos que son: Rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. Estos tres grandes grupos se dividen en subgrupos. La identidad de una roca depende de características intrínsecas de la propia roca, ya que cada una cuenta con características físicas y químicas diferentes.

Criterio de origen

Actualmente se puede obtener materias primas para la construcción de carreteras, siendo estas de diferentes procedencias, en algunos casos no es necesario hacer que los agregados pasen por un sistema de trituración u otro para alcanzar los tamaños comerciales, si no que la fuente de donde se extrajo sirve para utilizarse tal cual como viene.

Figura 2. Esquema de clasificación de los agregados pétreos



Fuente. Manual de carreteras volumen 2 (2000)

Criterio de tamaño

Los materiales áridos obtenidos mediante el proceso de extracción, son posteriormente tratados, separados y clasificados por tamaños. Este criterio enmarca los materiales pétreos en tres grupos: Agregados grueso, finos y Filler. La porción de agregados que se retenga en el tamiz 5mm se denomina agregado grueso. La porción de agregado comprendida entre el tamiz 5mm y 0.075mm se le llama agregado fino y por último la fracción de material que pasa por el tamiz 0.075mm se le denomina filler o llenante mineral.²⁶

2.5 MODIFICADORES

Los modificadores del asfalto son aditivos que proceden de polímero de la trituración de rocas calizas. El fin de los modificadores en el asfalto, es el de mejorar las propiedades físico-mecánicas de la mezcla asfáltica.²⁷

2.5.1 Asfaltos modificados para la fabricación de mezclas asfálticas

Los asfaltos modificados son el producto de diluir o añadir aditivos al asfalto, tales como caucho molido, polímeros entre otros. Este tipo de materiales se caracteriza por que son estables en el tiempo y no son susceptibles a los cambios de temperatura. Su fin es modificar las propiedades físicas, reológicas, y disminuir la susceptibilidad a la temperatura, a la humedad y a la oxidación. Los modificadores generan una actividad en la superficie que es iónica, lo que hace aumentar la adherencia entre los agregados pétreos y el ligante asfáltico. Por otro lado eleva la resistencia de la mezcla asfáltica a la deformación y a los esfuerzos de tensión que son constantes, al agrietamiento y disminuyen la susceptibilidad de la mezcla a las variaciones de temperatura.²⁸

²⁶ BAÑÓN BLAZQUEZ, Luis. Y BEVIA GARCIA, José. Materiales pétreos. En: Manual de carreteras vol. 2. Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A.2000. p20-2 a p20-4

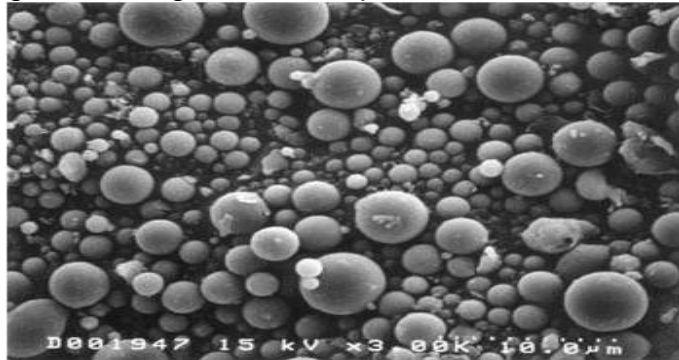
²⁷ CAMARGO, Hugo y SUAREZ, Andrea. Diagnóstico de las nuevas tecnologías empleadas para el diseño de mezclas asfálticas densas en caliente mdc-2. Título de grado Especialista en Ingeniería de pavimentos. Bogotá. D.C: universidad militar nueva granada. facultad de ingeniería. 2010. P28

²⁸ FIGUEROA INFANTE, Ana Sofía, FONSECA SALTANILLA, Elsa Beatriz y REYES LIZCANO, Freddy Alberto. Caracterización físicoquímica y morfológica de asfaltos modificados con material reciclado. En: Ing. Univ. Bogotá. Enero – Junio de 2009. 47 p. ISSN 0123-2126 10Ibid. 50 – 52 p.

2.6 CENIZA VOLANTE

Las cenizas volantes son materiales inorgánicos pulverulentos, que resulta de los procesos de combustión y gasificación de carbón²⁹. Su composición química y mineralógica depende fundamentalmente de la cantidad de minerales que no son combustibles que tiene el carbón y de las reacciones que sucedieron en el momento de la combustión.

Figura 3. Imagen microscópica de la ceniza volante



Fuente. flyash Australia (2014)

Las cenizas volantes, según la norma española UNE-EN 450. Es un Polvo fino, que en su mayoría se compone físicamente de partículas esféricas, cristalinas, procedente de la combustión del carbón pulverizado, que en algunos casos tiene o no materiales de combustión, a la que se le es atribuida propiedades puzolánicas y que químicamente está compuesta principalmente SiO_2 , Al_2O_3 . Y en menor proporción por óxidos de Ca, Fe, S.

2.6.1 Clasificación de cenizas volantes

Las cenizas volantes se clasifican principalmente por su composición química, física, en otros casos se hace según su origen.

²⁹ GIL VIANCHA, Claudia, PLAZAS ROLDAN, Ricardo. PROPUESTA PARA LA UTILIZACION DE LA CENIZA VOLANTE COMO ADICION EN LA FABRICA DE CEMENTO TIPO 1 EN LA PLANTA CEMENTERA HOLCIM COLOMBIA S.A. Especialización en gerencia de producción y operaciones. Chía. Universidad de la Sabana.2007. p16.

Según la NTC 3493 se definen:

Clase F: Son producidas cuando se calcina carbón antracítico o bituminoso, se caracterizan por contener pequeñas cantidades de cal, que son de alrededor del 15%, además la combinación de sílice, aluminio y hierro es alta. Este tipo de cenizas tiene propiedades puzolánicas.

Clase C: Son producidas a partir de lignitos y carbón subbituminosos. A este tipo de cenizas se le atribuyen propiedades cementicias y puzolánicas. Para ser empleadas en hormigones, las cenizas deben tener un cantidad máxima en cal del 20% y un contenido mínimo $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ del 50%.

Clase N: Puzolanas naturales, crudas o calcinadas, que por sí mismo poseen poco o ningún valor cementante. Esta clase de material requiere de calcinación para que se puedan obtener propiedades satisfactorias del mismo.

Según su composición química y el origen del carbón se definen:

Cenizas sílicoaluminosas: clase F según la ASTM C618. Llamadas también por su nombre puzolánicas, se caracterizan por tener un contenido de CaO inferior al 10%. Las cenizas sílicoaluminosas se destacan por que son las más usadas y las que más se generan. Las propiedades ligantes aparecen cuando tienen presencia de activadores de puzolanidad, para esto se utiliza cal o cemento. Los componentes químicos que más se destacan son el sílice, alúmina, y óxidos de hierro. El ph de este tipo de ceniza puede ser superior a 10.

Cenizas sulfocálcicas: clase C según la ASTM C618. Se les da el nombre también de hidráulicas o activas. Se identifica por tener alto contenidos de CaO superiores al 10%, las cenizas sulfocálcicas tiene propiedades aglomerantes, que a diferencias de las cenizas sílicoaluminosas, cuando son mezcladas con agua se hidratan, fraguan y se endurecen después de un tiempo.

Cenizas sílico-calcáreas: Este tipo de ceniza pertenece a un nivel medio, entre los tipos de ceniza F y C. se consideran débiles desde el punto de vista hidráulico. Las cenizas sílico-calcáreas se componen de etringita, aluminio cálcico hidratado y gehlenita hidratada.³⁰

³⁰ Revista de educación tecnología [en línea].Universidad Militar Nueva Granada.[citado 2 de agosto 2014].2001.Disponible en internet: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91101007>. ISSN : 0124-8170

2.6.2 Composición química

La composición química de las cenizas varía según el carbón de procedencia. Según la NTC 3493 las cenizas y las puzolanas cumplen con los siguientes requisitos para poder ser clasificadas.

Tabla 5. Composición química de la ceniza

Requisitos	Clase de aditivo mineral		
	N	F	C
- Dióxido de sílice (SiO_2) + óxido de aluminio (Al_2O_3) + óxido de hierro (Fe_2O_3), (% mín.)	70.00	70.0	50.0
- Trióxido de azufre (SO_3), (% máx.)	4.0	5.0	5.0
- Contenido de humedad, (% máx.)	3.0	3.0	3.0
- Pérdida al fuego, (% máx.)	10.0	6.0 ^A	6.0

Fuente Norma técnica Colombiana 3493 (1993)

2.6.3 Composición física

Las características físicas de las cenizas volantes dependen de muchas variables. Entre los que se destacan: la composición química de los componentes, incombustibles del carbón, el grado de pulverización de la ceniza, el tipo de caldera, el tipo de extractor.

Tabla 6. Composición física de la ceniza

Requisitos	Clase de aditivo mineral		
	N	F	C
Finura: - Cantidad retenida cuando se realiza un tamizado húmedo con un tamiz de 45 µm (No 325), (% máx.) ^a	34	34	34
Índice de actividad de resistencia. ^a .			
- Con cemento Pórtland a los siete días mínimo, porcentaje de control.	75 ^b	75 ^b	75 ^b
- Con cemento Pórtland a los 28 d, mínimo, porcentaje de control.	75 ^b	75 ^b	75 ^b
- Con cal. a los siete días. mínimo (kPa).	5 500	5 500	-
- Agua requerida máx. porcentaje de control.	115	105	105
Estabilidad: ^b			
- Contracción o expansión en el autoclave. % máx.	0.8	0.8	0,8
Requisitos de uniformidad :			
La gravedad específica y finura de las muestras individuales no deberá diferir del promedio establecido por los diez ensayos anteriores o de todos los ensayos anteriores, si su número es menor que 10, en más de:			

Fuente Norma técnica Colombiana 3493 (1993)

Según la NTC 3493 las cenizas y las puzolanas cumplen con los siguientes requisitos para poder ser clasificadas.

2.7 REALIZACION DE ESTUDIOS PARA MODIFICAR MEZCLAS ASFLATICAS

Modificar el asfalto ha sido una técnica ampliamente usada para mejorar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas convencionales, cuando éstas se someten a tránsitos elevados y temperaturas altas.³¹ En seguida se presentaran estudios realizados en Colombia acerca de la modificación de mezclas asfálticas en caliente.

31 FIGUERO INFANTE, Infante y REYES LIZCANO, Fredy. Estado del conocimiento del estudio sobre mezclas asfálticas modificadas en Colombia. En: Infraestructura Vial.2008. Vol. 10. P1

➤ **Comportamiento mecánico y dinámico de una mezcla asfáltica con adición de ceniza volante**

Esta investigación consistió en determinar la incidencia de reemplazar el llenante mineral por cenizas volantes en la deformación permanente y las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica. Se utilizaron diferentes porcentajes de reemplazo de llenante mineral por ceniza volante entre el 15% y el 100%. Entre los resultados

obtenidos se determinó un incremento de la resistencia del 19% para un reemplazo del 20%. La deformación permanente disminuyó 10% y 38% para el reemplazo de 20% y 45%.³²

➤ **Determinación de las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica densa en caliente tipo 2 utilizando ceniza como una proporción del agregado fino y del llenante.**

Esta tesis tiene como propósito evaluar la incidencia de la ceniza volante en una mezcla asfáltica reemplazando una parte del llenante mineral y del agregado fino por ceniza volante. Las proporciones de reemplazo fueron de un 30%, 50% y 70% de ceniza por filler y por llenante mineral. Los resultados arrojaron un aumento en la estabilidad del 47.70% y el flujo se mantuvo estable.³³

➤ **Influencia de las características del relleno mineral en la resistencia de una mezcla asfáltica**

Esta investigación tuvo como objetivo hallar el efecto en la resistencia a tracción indirecta de reemplazar el relleno mineral por otros materiales diferentes a los convencionales como: cemento, cal y ceniza volante con diferentes porcentajes. La investigación comienza con la caracterización de los materiales (agregados, asfaltos, cal, cemento y ceniza volante), una vez se caracterizan los materiales se prosigue determinar el porcentaje óptimo de asfalto mediante el método Marshall. Se seleccionaron para el estudio la granulometría MD10 y el asfalto con penetración 60/70, así mismo se sustituyó el relleno mineral en porcentajes de 0, 25, 50, 75 y 100. Se halló un incremento en la resistencia del 58 % al reemplazar el 100 % de relleno mineral por cal, del 22 % al sustituir el 50 % de relleno por ceniza volante y el 5 % al reemplazar el 75 % por cemento. Según los datos arrojados con respecto a la deformación

32 REYES ORTIZ, Oscar Javier. RIVERA RICARDO, Juan Troncoso y CAMACHO TAUTA, Javier Fernando. comportamiento mecánico y dinámico de una mezcla asfáltica con adición de cenizas volantes. En: Ingeniería y universidad. 2006. vol 10. P1

33 AGUILAR PEDROZO, Luis Alejandro. AYALA ROBAYO, Edward Andrés, Proyecto de Grado para obtener el título de Ingeniero Civil. Bucaramanga. Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga. Facultad de Ingeniería civil. 2013. 104 paginas.

de las probetas, todos los porcentajes de sustitución de cal y cemento, la mezcla soporta mayor deformación para la carga máxima, por otro lado para el reemplazo de ceniza volante, sólo al 100 % de reemplazo aumenta la deformación con la carga máxima.³⁴

➤ **Mezclas asfálticas modificadas con un elastómero (caucho) y un plastómero (tiras de bolsas de leche con asfalto 80-100)**

Esta investigación está encaminada a modificar mezclas asfálticas con materiales se votan a la basura. Lo que se quiere es reducir, reutilizar y reciclar las bolsas de leche y caucho para mejorar las propiedades mecánicas del asfalto. Mediante esta investigación se puede llegar a una reducción en los residuos sólidos y adicionalmente mejorar el desempeño de los pavimentos en Colombia. En esta investigación, se primero se hizo la caracterización dinámica de la mezcla asfáltica con los óptimos de adición de plástico proveniente de bolsas de leche y de caucho proveniente de las llantas usadas, llegando a la conclusión de que reducen el ahuellamiento un 8%, producen un aumento del módulo dinámico del 14%, lo que quiere decir que para un diseño mecanicista de pavimentos un incremento de la durabilidad del 25%.³⁵

34 JAVIER REYES, óscar y RINCÓN, Fredy. Influencia de las características del relleno mineral en la resistencia de una mezcla asfáltica. En: Escuela de Ingeniería de Antioquia.Vol 10. Junio 2009. No.

35 REYES LIZCANO, Fredy. Madrid Ahumada, María y SALAS CALLEJAS, Sandra. Mezclas asfálticas modificadas con un elastómero (caucho) y un plastómero (tiras de bolsas de leche con asfalto 80-100).[En línea].Bogotá D.C.2007.[07 octubre de 2014]. Disponible en internet:<URL: http://www.lanamme.ucr.ac.cr/riv/index.php?option=com_content&view=article&id=247&Itemid=328

3. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo esta tesis fue necesario obtener materiales pétreos y asfalto provenientes del departamento de Santander, los cuales cumplieron con las especificaciones requeridas por la norma Invias, por otro lado la ceniza volante fue suministrada por el ICP (Instituto Colombiano del Petróleo).

3.1 MATERIALES UTILIZADOS

3.1.1 Materiales granulares

Procedencia

El lugar de donde se extrajo el material pétreo se encuentra a las orillas del Río Chicamocha ubicado en el centro-oriente de Colombia, localizado en el departamento de Santander, en el sector conocido como el pescadero. Los recursos económicos para comprar los diferentes materiales necesarios para llevar a cabo la tesis, fueron obtenidos por medio del convenio ICP 5211508 entre la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga y el Instituto Colombiano de Petróleo.

Ensayos exigidos por la norma INVIAS para materiales granulares

- Índice de aplanamiento y alargamiento (INV.E- 230)
- Granulometría de los agregados gruesos y finos (INV.E- 213)
- Gravedad específica y absorción de los agregados gruesos (INV.E - 223)
- Gravedad específica y absorción de los agregados finos (INV.E - 222)
- Resistencia al desgaste de los agregados con tamaños menores 1 ½” por medio de la máquina de los ángeles (INV.E - 218)
- Equivalente de arena (INV. E – 133)

3.1.1.1 Descripción de los ensayos para la caracterización de los materiales granulares

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

Este ensayo tiene como objeto determinar el índice de aplanamiento y alargamiento que representa la muestra de materia grueso que se desea caracterizar. Para comenzar con este ensayo, se debe tamizar la muestra. Una vez tamizada se pesan los pesos retenidos en cada tamiz. Posteriormente se preparan las partículas planas de cada fracción y se tamiza por el tamiz de barras paralelas, para después separar y pesar la masa de las partículas que pasaron por el tamiz.

El procedimiento para determinar el índice de alargamiento es parecido, a diferencia del tamiz separador. Una vez más después de haber pasado todas las fracciones por el tamiz, se separan y se pesan las que pasaron.

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

Este ensayo tiene como fin determinar cuantitativamente como se distribuyen los diferentes tamaños de las partículas de los agregados pétreos, por medio de tamices con aberturas cuadradas que se ponen uno sobre el otro de manera decreciente según la norma INVIAS. Antes de comenzar con el procedimiento de este ensayo, se debe preparar la muestra que se va a utilizar. Para lo que la norma INV.E 213-07 exige que la muestra sea cuarteada de manera manual o con máquina para garantizar la homogeneidad de la muestra. Una vez cuarteada la muestra se deben tomar la mitad de la muestra cuarteada, ya que esta es representativa del material fino o grueso que se va a usar. En seguida se procede a lavar la muestra por el tamiz N°200 para limpiar la muestra de aquellas partículas que pasen por el tamiz ya mencionando. Después se lleva la muestra a un horno con una temperatura de $110\pm^{\circ}\text{C}$ por un tiempo de 24 horas. Una vez pasada las 24 horas se pesa la muestra y se compara con el peso antes del lavado. Inmediatamente se seleccionan una serie de tamices que se colocan uno sobre el otro de mayor a menor abertura, de esta forma lo exige la Norma INV.E 213-07 para una correcta gradación de la muestra. Posteriormente se pasa la muestra por los tamices y se pesa el porcentaje retenido en cada tamiz, para después construir la curva granulométrica.

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

Para dar inicio a este ensayo la norma INV. E-123 especifica que la muestra sea sumergida 24 horas, una vez realizado lo mencionado. Se procede a extender el material sobre una superficie plana pero absorbente, hasta que la arena pierda un porcentaje de la humedad tal que cuando la arena se meta en un cono hueco, se

le den 25 golpes distribuido en tres capas y se retire el cono lentamente, la arena se desmorone solo un poco. Ya que en ese momento la arena esta aparentemente seca.

Después se llena el picnómetro con 500gr del material aparentemente seco, y se llena el picnómetro hasta la línea que este indica. Una vez el picnómetro este con agua, se gira sobre una superficie para que salgan las burbujas producidas al mezclarse el agua con la arena. Posteriormente se llena con más agua el picnómetro, para sacar las impurezas de la arena y se procede a pesar el picnómetro y la muestra. Por último se saca la arena del picnómetro y se pone a secar en un horno a una temperatura de $110\pm^{\circ}\text{C}$ por un tiempo de 24 horas. Para después pesar la muestra seca.

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

El objeto de este ensayo es determinar la gravedad específica Bulk, Bulk saturada, superficialmente seca y superficialmente aparente. Inicialmente se toma una muestra de aproximadamente 2kg cuando el tamaño máximo nominal del agregado grueso es de $\frac{1}{2}$ ", el material a utilizar es el que se retiene en el tamiz #4, una vez tomada la muestra se procede a sumergir la muestra por 15 horas. Después del tiempo de inmersión se seca la muestra con una toalla de tal manera que el agregado se seque superficialmente. A continuación, se pesa la muestra. Posteriormente se pone la muestra en el interior de la canastilla para determinar la masa sumergida en el agua. Finalmente se saca la muestra de la canastilla y se mete al horno a una temperatura de $110\pm^{\circ}\text{C}$ por un tiempo de 3 a 4 horas, y se determina su masa.

Resistencia al desgaste de los agregados con tamaños menores $1\frac{1}{2}$ " por medio de la máquina de los ángeles (INV.E - 218)

Este ensayo es utilizado para hallar la resistencia al desgaste de los agregados gruesos por medio de la máquina de los ángeles. El primer paso para iniciar este ensayo es limpiar el tambor de la máquina y se hace girar el cilindro a una velocidad que oscila entre 188 y 208 rad/min hasta completar 500 revoluciones. Posteriormente se retira el material del tambor de la máquina y se procede a tamizar la muestra por el tamiz No.12. Después de haber separado el material fino del grueso, se procede a lavar el material grueso y después seca en un horno a $110\pm^{\circ}\text{C}$, hasta alcanzar una masa constante para determinar la masa.

Equivalente de arena (INV. E – 133)

(Método con agitador mecánico)

El fin de este ensayo es determinar la proporción relativa del contenido de material arcilloso. Para comenzar este ensayo se debe gradar la arena por el tamiz 4.75 (No.4), ya que el material que se utilizara será el que pasa por este tamiz. Después se apartan 85 ml del material a utilizar. Posteriormente se mete la muestra al horno a una temperatura de $100 \pm 15^{\circ}\text{C}$ y se enfría a temperatura ambiente. Una vez realizado el procedimiento anterior, se procede a verter una solución de cloruro de calcio en el cilindro graduado hasta una altura de $101,6 \pm 2.54$ mm, con la ayuda de un embudo, se vierta la muestra a ensayar en el cilindro graduado. Después se golpea el fondo del cilindro para sacar las burbujas de aire y remojar la muestra completa. Se deja en reposo la muestra durante un periodo de 10 ± 1 minuto. Al finalizar los 10 minutos, se tapa el cilindro y se gira el material para desprender el material que está en el fondo. Posteriormente se fija el cilindro y se pone en el agitador mecánico por un periodo de 45 ± 1 segundo.

(Procedimiento de irrigación)

El cilindro debe estar en posición vertical, se introduce el tubo irrigador dentro del cilindro, la pinza de la manguera es aflojada para lavar las paredes del cilindro en el que se encuentran partículas adheridas al mismo. Este procedimiento de lavado se debe hacer hasta el fondo del cilindro. Después se aplica presión suavemente y giros a las misma vez entre tanto la solución de trabajo fluye por la boca del irrigador para que el material que está en el fondo salga de una forma más eficaz. Posteriormente se le da continuidad a lavado de los finos hasta que el cilindro este lleno, es decir hasta que marque 381mm (15"). Una vez lleno el cilindro se procede a sacar la manguera tratando de que la solución no se siga esparciendo. Finalmente se deja en reposa el cilindro por un tiempo de 20 minutos.

(Determinación de la lectura de arcilla)

Pasados 20 minutos de cimentación, se toma la lectura del nivel superior. Este valor se le denomina lectura arcillosa. Si la lectura no es tomada después de 30 minutos como máximo el procedimiento deberá repetirse.

(Determinación de la lectura de arena)

Una vez tomada la lectura de arcilla, se inserta el conjunto del disco, barra y el sobrepeso, este se baja de manera controlada y suave hasta llegar a la arena. Cuando el pie descansa sobre la arena, se inclina el dispositivo hacia las graduaciones del cilindro hasta que el indicador toque las paredes del cilindro, al final se le restan 254mm (10") y se registra el valor como lectura de la arena.

3.1.2 Material Bituminoso

Procedencia

El asfalto utilizado para la elaboración de las 99 briquetas procede de la planta de asfaltos ASFALTAR la cual se encuentra localizada en el Kilómetro 5 de vía el anillo vial entre Girón y Floridablanca. Productora de mezclas asfálticas. Suministro el material asfáltico con características bituminosas de un asfalto 60-70.

Ensayos exigidos por la norma INVIAS para el asfalto

- Punto de ignición y llama mediante la copa de Cleveland (INV. E- 709)
- Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (INV. E -712)
- Penetración de materiales bituminosos (INV.E- 706)
- Peso específico del asfalto sólido (INV. E -711)
- Viscosidad del asfalto (INV. E- 716)

3.1.2.1 Descripción de los ensayos para la caracterización del asfalto

Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (aparato anillo y bola) (INV. E-712)

Este ensayo determina el punto de ablandamiento (estado viscoso y fácil de manejar) de los materiales bituminosos, el cual en general se encuentra establecido en una escala de 30°C a 150°C, para lograrlo se utiliza el aparato de anillo y bola (equipo de montaje conformado por dos anillos y dos bolas), que será sumergido en agua destilada, esta debe tener una temperatura inicial de 4°C. En la medida en que aumente la temperatura las esferas (cubiertas de asfalto) deberán tocar el soporte a una caída de 25 mm (1”), cuanto esto sucede se procederá a anotar la temperatura, a menos que se difiera de 1°C entre el toque de las dos esferas, en este caso es necesario volver a repetir el procedimiento.

Gracias a este proceso podemos establecer la temperatura mínima en que el asfalto se torna manejable y es posible transportarlo de un recipiente a otro sin tener la necesidad de reducir sus características físicas y químicas sometiéndolo a altas temperaturas.

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

Por medio de este ensayo podemos determinar la consistencia del material bituminoso ya sea a temperatura ambiente, en un estado sólido o semisólido. Esta consistencia se mide como la distancia (expresada en decimas de milímetros) de la caída de una aguja que pertenece al penetrómetro, la cual tiene 100 g de carga móvil y 50 g de carga de fija, registrada después de 5 segundos de haber aplicado toda la carga. Generalmente este ensayo es usado para determinar la clase de asfalto. Cabe aclarar que la norma INV. E-706 exige como mínimo que una muestra sea penetrada 3 veces, para tener un porcentaje de error estimado y tomar los datos que sean más convenientes. Las penetraciones deberán estar a 1cm de cada penetración y del borde del recipiente.

Peso específico del asfalto (INV. E-711)

Este ensayo tiene como fin encontrar el peso específico de los materiales bituminosos, por medio del desplazamiento de agua que pueda producir el asfalto previamente preparado en forma de esfera en un picnómetro, y de esta forma saber el volumen que ocupa con la nueva medida que presente el picnómetro, cuando la bola de asfalto se mete al picnómetro. Después de saber el volumen que ocupa la esfera de asfalto se pesa la esfera.

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

Este ensayo sirve para determinar la temperatura mínima a la que el asfalto produce flamas al estar en contacto con una llama, como también la que comienza la combustión. Por otro lado busca reducir el riesgo de accidentes ya que al saber el punto de ignición y llama del asfalto, se sabrá la temperatura del asfalto a la que puede ser manejable por personas. El procedimiento de este ensayo consiste en calentar el asfalto de manera paulatina y a la misma vez pasar una llama constante por un periodo corto (1 segundo), tan pronto en el asfalto se encienda una llama por un periodo de 1 segundo, se puede decir que se ha encontrado el punto de ignición. Y cuando la llama se mantiene por 5 segundos, se ha encontrado el punto de llama.

Viscosidad del asfalto (INV. E 716)

Este método es utilizado para medir la viscosidad de los materiales bituminosos por medio de un tubo capilar. El ensayo consiste en medir el tiempo necesario para hacer que por medio del vacío, un volumen fijo a través de un tubo capilar, en condiciones controladas de temperatura y vacío. Una vez alcanzados los procedimientos anteriormente descritos, se procede a calcular la viscosidad poises multiplicando el tiempo de flujo, en segundos, por el factor de calibración del viscosímetro.

3.1.3 Ceniza volante

Procedencia

La ceniza fue suministrada por Ecopetrol S.A a la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, esta proviene de la quema de lodos, los cuales quedan como residuo del proceso de excavación en la búsqueda de yacimientos de petróleo. Mediante esta investigación se pretende identificar cuáles son las propiedades fisicomencanicas de la ceniza y de esta manera aprovecharlas en una mezcla asfáltica, con el fin de contribuir al desarrollo sostenible de las vías y disminuir los costos económicos por metro cubico de una mezcla asfáltica.

Ensayos realizados a la ceniza

- Granulometría de los agregados gruesos y finos (INV.E- 213)
- Gravedad específica y absorción de los agregados finos (INV.E - 222)
- Superficie unitaria (INV. E- 302)

3.1.3.1 Descripción de los ensayos para la caracterización de la ceniza

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

El ensayo tiene como fin determinar cuantitativamente como se distribuyen los diferentes tamaños de las partículas de los agregados pétreos, por medio de tamices con aberturas cuadradas que se ponen uno sobre el otro de manera decreciente según la norma INVIAS. Antes de comenzar con el procedimiento de este ensayo, se debe preparar la muestra que se va a utilizar. Para lo que la norma INV.E 213-07 exige que la muestra sea cuarteada de manera manual o con máquina para garantizar la homogeneidad de la muestra. Una vez cuarteada la muestra se deben tomar la mitad de la muestra cuarteada, ya que esta es representativa del material fino o grueso que se va a usar. En seguida se procede a lavar la muestra por el tamiz N°200 para limpiar la muestra de aquellas partículas que pasen por el tamiz ya mencionando. Después se lleva la muestra a un horno con una temperatura de $110\pm^{\circ}\text{c}$ por un tiempo de 24 horas. Una vez pasada las 24 horas se pesa la muestra y se compara con el peso antes del lavado. Inmediatamente se seleccionan una serie de tamices que se colocan uno sobre el otro de mayor a menor abertura, de esta forma lo exige la Norma INV.E

213-07 exige para una correcta gradación de la muestra. Posteriormente se pasa la muestra por los tamices y se pesa el porcentaje retenido en cada tamiz, para después construir la curva granulométrica.

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

Para dar inicio a este ensayo la norma INV. E 123 especifica que la muestra sea sumergida 24 horas, una vez realizado lo mencionado. Se procede a extender el material sobre una superficie plana pero absorbente, hasta que la arena pierda un porcentaje de la humedad tal que cuando la arena se meta en un cono hueco, se le den 25 golpes distribuido en tres capas y se retire el cono lentamente. la arena se desmorone solo un poco. Ya que en ese momento la arena esta aparentemente seco.

Después se llena el picnómetro con 500gr del material aparentemente seco, y se llena el picnómetro hasta la línea que este indica. Una vez el picnómetro este con agua, se gira sobre una superficie para que salgan las burbujas producidas al mezclarse el agua con la arena. Por último se saca la arena del picnómetro y se pone a secar en un horno a una temperatura de $110\pm^{\circ}\text{C}$ por un tiempo de 24 horas. Para después pesar la muestra seca.

Superficie unitaria (INV. E 302)

Este método consiste en pasar una cantidad de aire atreves de una capa de ceniza definida. Para esto primeramente la muestra debe estar a temperatura ambiente. Después pese en la balanza 6 gramos de ceniza y tomo el peso del crisol también. Una vez tomados los dos pesos anteriores se procede a pesar el crisol más la ceniza, estando la ceniza por dentro del crisol. Prepare el lecho de ceniza según el método a utilizar y determine el tiempo de flujo del material. Con estos datos calcule la superficie unitaria según el método.

3.2 PREPARACIÓN DE LAS BRIQUETAS

Para el diseño de las briquetas se contó con las especificaciones de la norma Invias. Más exactamente con el artículo 405-02, el cual ayuda a determinar los porcentajes de agregado grueso, agregado fino y llenante mineral, que debe tener la mezcla asfáltica tipo MDC-2, mediante dos curvas granulométricas que representan el límite superior e inferior según el tamiz granulométrico. Estos límites granulométricos previenen segregaciones y garantizan los niveles de

compactación y resistencia exigidos. El conjunto de agregado grueso, agregado fino y llenante mineral deberá ajustarse a alguna de las siguientes gradaciones.

Tabla 7. Porcentaje de material que pasa según el tipo de mezcla asfáltica y tamiz

TIPO DE MEZCLA		TAMIZ(mm/US Standard)									
		37.5	25	19	12.5	9.5	4.75	2	0.425	0.18	0.075
		1½"	1"	¾"	½"	⅜"	No.4	No.10	No.40	No.80	No.200
		%PASA									
Densa	MDC-1		100	80-95	67-85	60-77	43-59	29-45	14-25	8-17	4-8
	MDC-2			100	80-95	70-88	49-65	29-45	14-25	8-17	4-8
	MDC-3					100	65-80	43-61	16-29	9-19	5-10
Semidensa	MSC-1		100	80-95	65-80	55-70	40-55	24-38	9-20	6-12	3-7
	MSC-2			100	80-95	65-80	40-55	24-38	9-20	6-12	3-7
Dura	MGC-0	100	75-95	65-85	47-67	40-60	28-46	17-32	7-17	4-11	2-6
	MGC-1		100	75-95	55-75	40-60	28-46	17-32	7-17	4-11	2-6
Alto modulo	MAM		100	80-95	65-80	55-70	40-55	24-38	10-20	8-14	6-9

Fuente. Artículo 450 de la norma Invias (2007)

Para poder cumplir con la gradación de una mezcla tipo MDC-2 según la norma Invias, se propuso hacer la cantidad de ensayos granulométricos que fueran necesarios, cambiando los porcentajes de agregado fino y agregado grueso hasta alcanzar una granulometría que este lo más cerca posible dentro de los límites de una mezcla MDC-2. En la siguiente tabla se muestra la gradación deseada según una mezcla tipo MDC-2.

Tabla 8. Granulometría óptima para una MDC-2

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA		
Alterno	Normal	L. INFERIOR	L. SUPERIOR	IDEAL
1"	25.00mm	100	100	100
¾"	19.00mm	100	100	100
½"	12.50mm	80	100	90
⅜"	9.5mm	70	88	79
No. 4	4.75mm	49	65	57
No. 10	2.00mm	29	45	37
No. 40	425µm	14	25	19.5
No. 80	180µm	8	17	12.5
No. 200	75µm	4	8	6
Pasa 200		-	-	-

Fuente. Apuntes de clase de Norma Solarte (2013)

Por otro lado los porcentajes de asfalto con los que se va diseñar la mezcla asfáltica son de 4.5%,5%,5.5%. Esta investigación tiene como fin reemplazar un porcentaje del llenante mineral y asfalto por ceniza. Se propuso diseñar 11 tipos de mezclas asfálticas, 9 briquetas por cada tipo de mezcla en las que las dosificaciones cambian. En la siguiente tabla se resumen las dosificaciones.

3.2.1 Método Marshall para las briquetas

Tabla 9. Dosificación de briquetas

Tipo de Briquetas	No. Briquetas	% Filler	% Asfalto	Agregado grueso y fino
A	9	Filler 200	Asfalto	Normal
B	9	Filler 200	95 asfalto-5 ceniza	Normal
C	9	75 Filler-25 ceniza	90 asfalto-10 ceniza	Normal
D	9	50 Filler-50 ceniza	90 asfalto-10 ceniza	Normal
E	9	25 Filler-75 ceniza	90 asfalto-10 ceniza	Normal
F	9	75 Filler-25 ceniza	80 asfalto-20 ceniza	Normal
G	9	50 Filler-50 ceniza	80 asfalto-20 ceniza	Normal
H	9	25 Filler-75 ceniza	80 asfalto-20 ceniza	Normal
I	9	75 Filler-25 ceniza	70 asfalto-30 ceniza	Normal
J	9	50 Filler-50 ceniza	70 asfalto-30 ceniza	Normal
K	9	25 Filler-75 ceniza	70 asfalto-30 ceniza	Normal

3.2.2 Compactación de las briquetas

El proceso de compactación de las briquetas inicia limpiando el ensamblaje de la muestra y la cara del martillo compactador, una vez limpios se calientan los dos instrumentos mencionados y los agregados en un horno a una temperatura comprendida entre los 110°C a 140°C. Luego se sacan los instrumentos y se ensamblan y seguidamente se prepara la mezcla asfáltica en el menor tiempo posible de manera que quede homogénea. Se colocan 2 piezas de papel filtro del mismo diámetro de la briketa uno en la parte inferior y superior sucesivamente después de haber introducido la mezcla en el montaje de collarines. Puestos los papeles filtro después de haber introducido la mezcla se procede a compactarla dando 75 golpes por cada cara de la briketa. Luego de compactada la mezcla se saca el espécimen cuidadosamente y se deja al aire libre por un periodo de 24 horas para poderse fallar después.

3.2.2.1 Ensayos para la determinación de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas

Según la norma Invia, para determinar el contenido de asfalto óptimo se deberá llevar a cabo los siguientes ensayos a las briquetas:

- Densidad Bulk (INV. E- 734)
- Estabilidad y flujo (INV.E- 748)

Descripción de los ensayos para las briquetas

Densidad Bulk (INV.E-734)

Antes de comenzar con el procedimiento del ensayo, se necesitan tomar tres medidas de altura y espesor del espécimen con el fin de tener un margen de error en las medias. Pasadas 24 horas de estar a temperatura ambiente $25^{\circ} \pm 5^{\circ}$ el espécimen, se pesa y se anota este dato como masa A. A continuación se sumerge la probeta por un tiempo de 5 minutos en agua a temperatura ambiente $25^{\circ} \pm 5^{\circ}$ y se toma el peso sumergido (masa B). Después se saca la muestra y se seca superficialmente y se pesa (Masa C). Luego de obtener las masas mencionados, se calcula la densidad Bulk aplicándole un factor de corrección al agua de 0.997.

Estabilidad y flujo (INV.E- 748)

El ensayo consiste en meter los especímenes en baño de agua maria por un periodo de 30 minutos a una temperatura de 60°C . Se limpian las barras guías y las superficies interiores de la mordaza antes de comenzar con el ensayo, una vez realizado el montaje para fallar las briquetas, se retira la briketa del baño y se pone centrada en la mordaza inferior, después se coloca la mordaza superior y encima de esta el deformímetro. Luego se pone el medidor de flujo en cero y se aplica la carga de ensayo, la cual es a una rata de deformación de 50.8 mm(2") por minuto hasta que se dé la falla. Durante la aplicación de fuerza con la prensa se debe tomar el valor máximo de fuerza aplicado a la probeta y a la misma vez registrar la deformación en ese momento.

4. RESULTADOS

4.1 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL GRANULAR

En el siguiente capítulo se presentara los resultados de la caracterización de los diferentes materiales utilizados para la elaboración de la investigación.

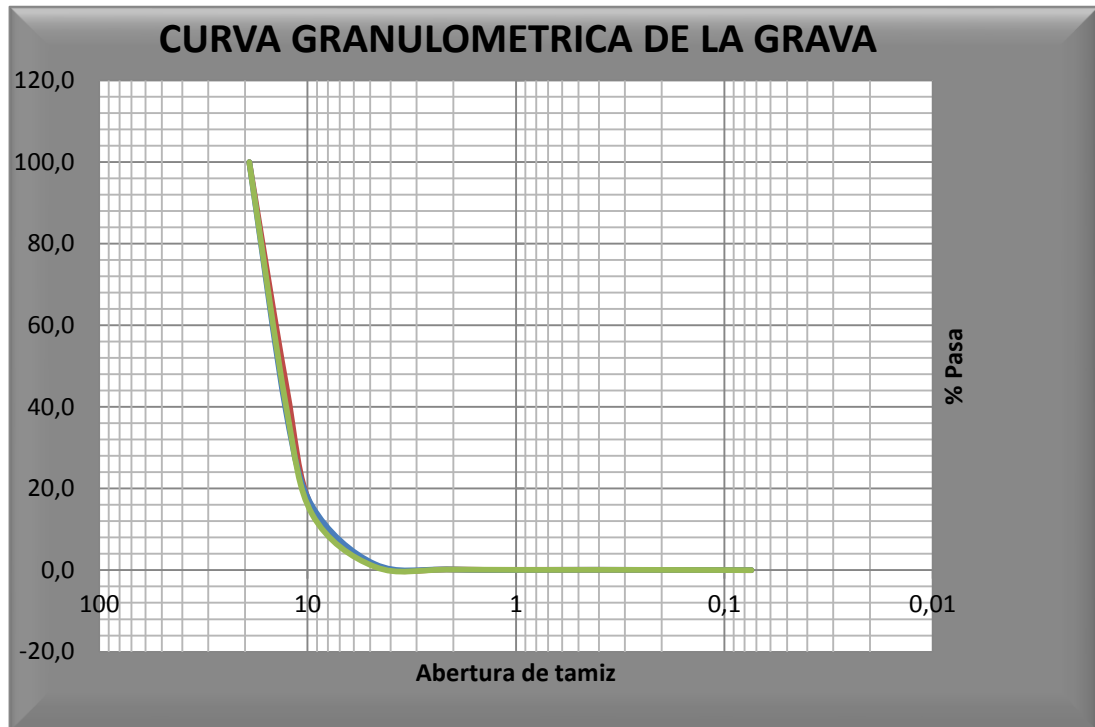
Granulometría de agregados grueso y fino (INV.E- 213)

Los ensayos realizados a los agregados pétreos se desarrollaron teniendo en cuenta las especificaciones de la norma Invia, la cual especifica las series de tamices con los cuales se debe cernir los agregados gruesos y finos.

Figura 4. Curvas granulométricas de la arena



Figura 5. Curvas granulométricas de la grava

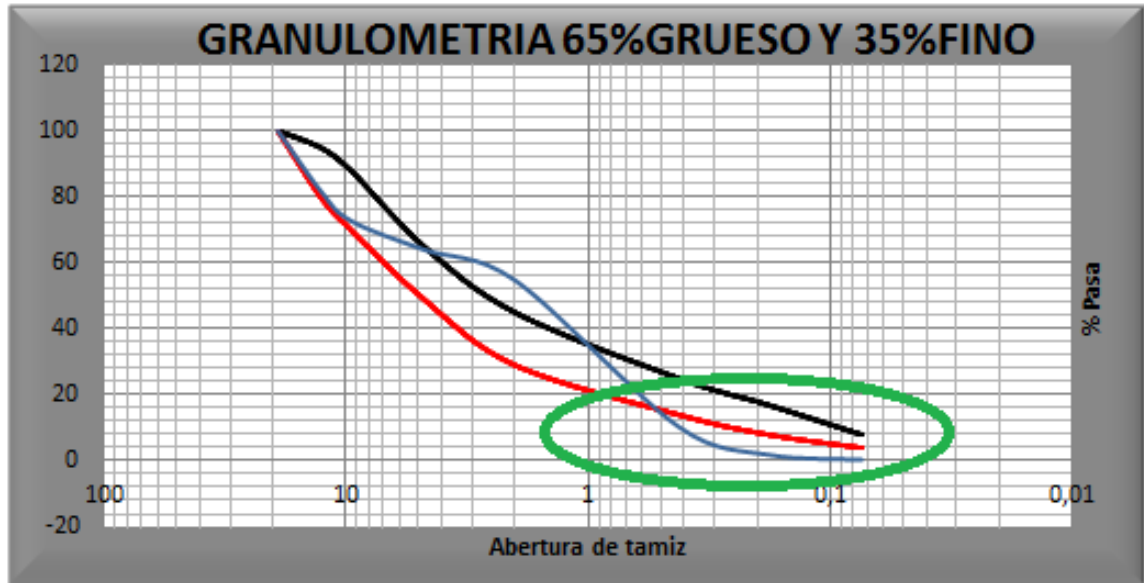


Se realizaron 3 ensayos granulométricos para cada tipo de agregado (grueso y fino). Con el fin de obtener un porcentaje de error entre las 3 granulometrías, en las que a su vez se puede observar que hay uniformidad según los tamices dispuestos.

Para el diseño de la mezcla la norma Invias en el artículo 450, especifica que la combinación de porcentajes de agregado grueso, fino y pasa 200, deberán estar dentro de una franja granulométrica según el tipo de mezcla. Esto con el fin de prevenir en las mezclas asfálticas segregaciones y garantizar los niveles de compactación y resistencia exigidos.

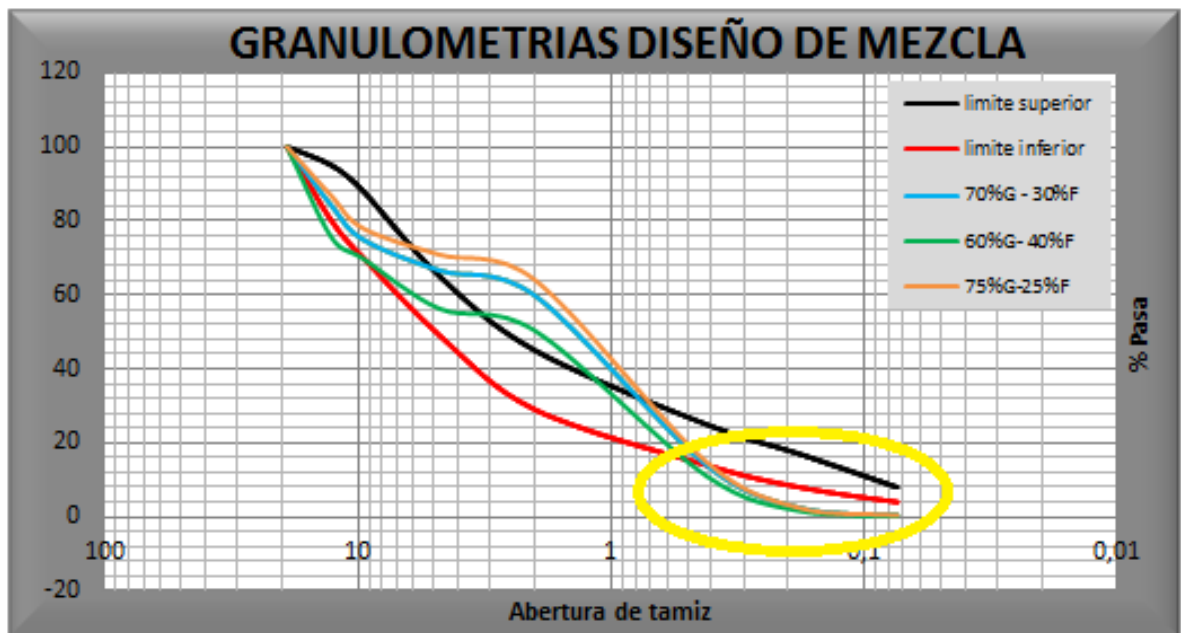
El primer valor que se tomó fue 65% agregado grueso y 35% agregado fino, pero la granulometría que daba como resultado quedaba por fuera de la franja granulométrica inferior debido a la falta de ausencia de filler en los agregados. Lo mencionado anteriormente se ve con más claridad en la figura 9.

Figura 6. Granulometría 65% Agregado grueso y 35% Agregado fino



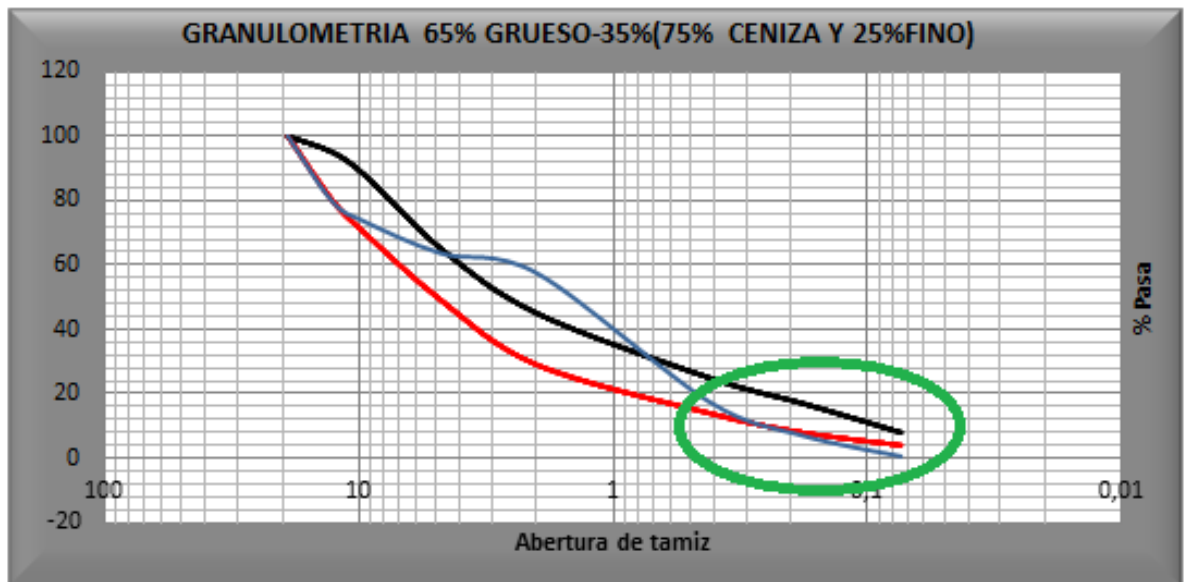
Después Los porcentajes de agregados a los que se realizó el ensayo granulométrico fueron los siguientes respectivamente: 60% grueso y 40% fino, 70% grueso y 30% fino, 75% grueso y 25% fino. En la figura 10 se muestra el resultado.

Figura 7. Granulometrías para el diseño de mezcla ajustado a la norma Invias



Se puede ver en la figura 9 y 10 que hay deficiencia de las partículas más finas (filler) de las de diferentes mezclas de agregados. Por lo que se optó por modificar la mezcla de agregados 65% grueso y 35% fino. Debido que los resultados apuntan a que es la granulometría que mejor se ajusta, de esta manera se reemplaza porcentaje del agregado fino por ceniza. Esto para mejorar la cantidad de finos de la mezcla de agregados 65% grueso y 35% fino. En la figura 11 se observan los resultados.

Figura 8. Granulometría de Diseño



La modificación de la mezcla de agregados 65%grueso y 35%fino, consistió en convertir el 35%fino en (75%ceniza y 25%fino) y el 65%grueso queda como estaba. Mejorando así la cantidad de partículas más finas (partículas retenidas del tamiz 40 hasta el pasa 200) en la mezcla de agregados. Valga aclarar que el agregado fino usado en las mezclas asfálticas preparadas fue en su totalidad arena, esto con el fin de no cambiar los diseños de las mezclas asfálticas planteadas. Al fin de cuentas, de la mezcla de agregados modificada solo se tomaron los valores de porcentajes de material retenido en cada tamiz según la granulometría obtenida de la misma. Por qué estos valores eran los que más interesaban al momento del diseño de las mezclas asfálticas, según el criterio del artículo 400 Invias el cual exige que los porcentajes de agregados al ser gradados debieran encontrarse dentro de las franjas (superior e inferior) con el fin de prevenir segregaciones y garantizar los niveles de compactación y resistencia exigidos por las especificaciones en el mismo artículo.

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

A continuación se presentan la media de los resultados de gravedad específica y absorción de agregados gruesos para los materiales pétreos usados. En el anexo 22, 23 y 24 se exponen los resultados de los ensayos.

Tabla 10. Peso específico de los agregados gruesos

Gravedad específica aparente $=((A/(A-C))$	g/cm ³	2.63
Gravedad específica Bulk SSS $=((B/(B-C))$	g/cm ³	2.57
Gravedad específica Bulk $=((A/(B-C))$	g/cm ³	2.56
%Absorción $= ((B-A)/A)*100$	%	0.51

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

Los resultados de gravedad específica y absorción de los agregados finos hallados en los materiales granulares se muestran en la tabla 11. Los resultados de gravedad específica aparente, gravedad específica Bulk sss y gravedad específica Bulk son el promedio de 3 valores obtenidos de 3 ensayos realizados. Los cuales se presentan con detalle en el anexo 19, 20 y 21.

Tabla 11. Peso específico de los agregados finos

Gravedad específica aparente $=((A/(B+A-C))$	g/cm ³	2.67
Gravedad específica Bulk SSS $=((S/(B+S-C))$	g/cm ³	2.63
Gravedad específica Bulk $=((A/(B+S-C))$	g/cm ³	2.60
%Absorción $=((S-A)/A)*100$	%	1.05

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

En la tabla 12 se presentan los resultados del promedio de tres ensayos de resistencia al desgaste realizados a los agregados gruesos.

Tabla 12. Resistencia al desgaste de los agregados gruesos

Granulometría	B
Carga abrasiva	11
Revoluciones	500
% De desgaste	25,78

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

Los resultados del ensayo de índice de aplanamiento y alargamiento cumple según las especificaciones de la Norma Invias, en la tabla 13 se puede observar el promedio de índice de aplanamiento y alargamiento del material grueso. En los anexo 26, 27 y 28 se encuentran los resultados de los tres ensayos de índice de aplanamiento y alargamiento hechos.

Tabla 13. Resumen del índice de aplanamiento y alargamiento

Índice alargamiento	Índice aplanamiento
21,08	17,53

Equivalente de arena (INV. E – 133)

Los resultados de equivalente de arena se presentan en la tabla 14. Para el material utilizado se cumplen dentro de las especificaciones de la norma Invias. En el anexo 29 se presentan los detalles de los datos tomados y resultados. El valor 86.50% pertenece al promedio de tres resultados

Tabla 14. Resultados ensayo de equivalente de arena

Equivalente de arena
86.50 %

4.2 CARACTERIZACIÓN DEL ASFALTO

Para la realización de los ensayos del asfalto, se tuvo como marco de referencia la norma Invias. Más exactamente en los ensayos que se mencionaran a continuación:

- Punto de ignición y llama mediante la copa de Cleveland (INV. E- 709)
- Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (INV. E -712)
- Penetración de materiales bituminosos (INV.E- 706)
- Peso específico del asfalto solido (INV. E -711)
- Viscosidad del asfalto (INV. E- 716)

Tabla 15. Resultados de caracterización del asfalto

Muestra	Pesos		Punto de Ignición	Punto de Llama	Viscosidad (Poises)	Punto de Abto.	Penetración	Peso Especifico (g/cm ³)
	Ceniza (g)	Asfalto (g)						
Asfalto 100%	0	2537	176C°	250C°	2034.246	47.5C°	62.20mm	1,003
Asfalto 95% Ceniza 5%	125	2375	157°	268°	2112.751	48C°	61.48mm	1,000
Asfalto 90% Ceniza 10%	250	2250	161°	276°	2393.822	49C°	61.15mm	0,983
Asfalto 80% Ceniza 20%	400	1600	172°	284°	2790.786	50C°	60.65mm	0,994
Asfalto 70% Ceniza 30%	600	1400	180°	293°	2731.568	50C°	60.06mm	0,976

Los detalles de los resultados de cada uno de los ensayos expuestos se encuentran en los anexos. 30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40.

4.3 CARACTERIZACIÓN DE LA CENIZA

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

En la tabla 16 se presentan los resultados obtenidos de la gravedad o peso específico de la ceniza utilizada en el proyecto.

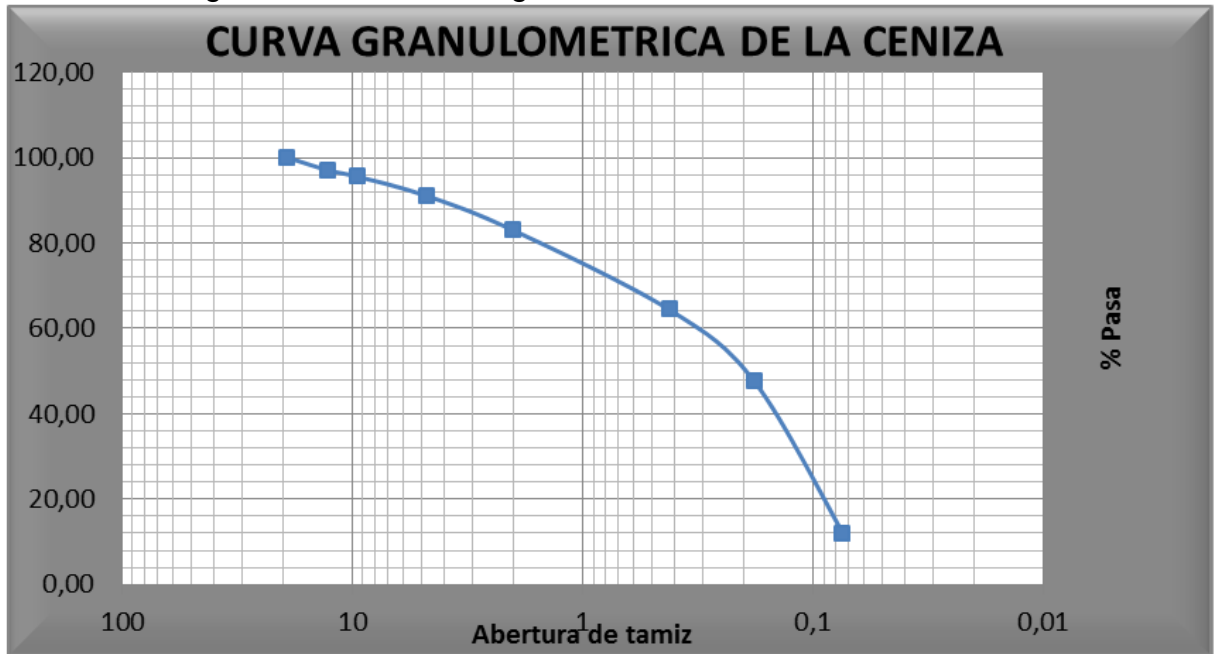
Tabla 16. Peso específico de la ceniza

Gravedad específica aparente $=((A/(B+A-C))$	g/cm ³	2.42
Gravedad específica Bulk $SSS=((S/(B+S-C))$	g/cm ³	2.17
Gravedad específica Bulk $=((A/(B+S-C))$	g/cm ³	1.998
%Absorción $= ((B-A)/A)*100$	%	8.70

Granulometría de agregados grueso y fino (INV.E- 213)

El ensayo de granulometría para la ceniza, tuvo en cuenta los tamices que la norma Invias exige para conocer la homogeneidad de la muestra

Figura 9. Resultado de granulometría realizada a la ceniza



En el anexo 41 se presentan los detalles de los resultados y datos tomados.

Superficie específica (INV.E 302)

La densidad de la ceniza es de aproximadamente $2(\text{g}/\text{cm}^3)$. Siendo el tiempo promedio registrado fue de 16,1(s) y la constante $N_{1/2}$ 0,0135 el resultado de superficie específica para la muestra de ceniza fue de $148,61 \text{ cm}^2/\text{g}$

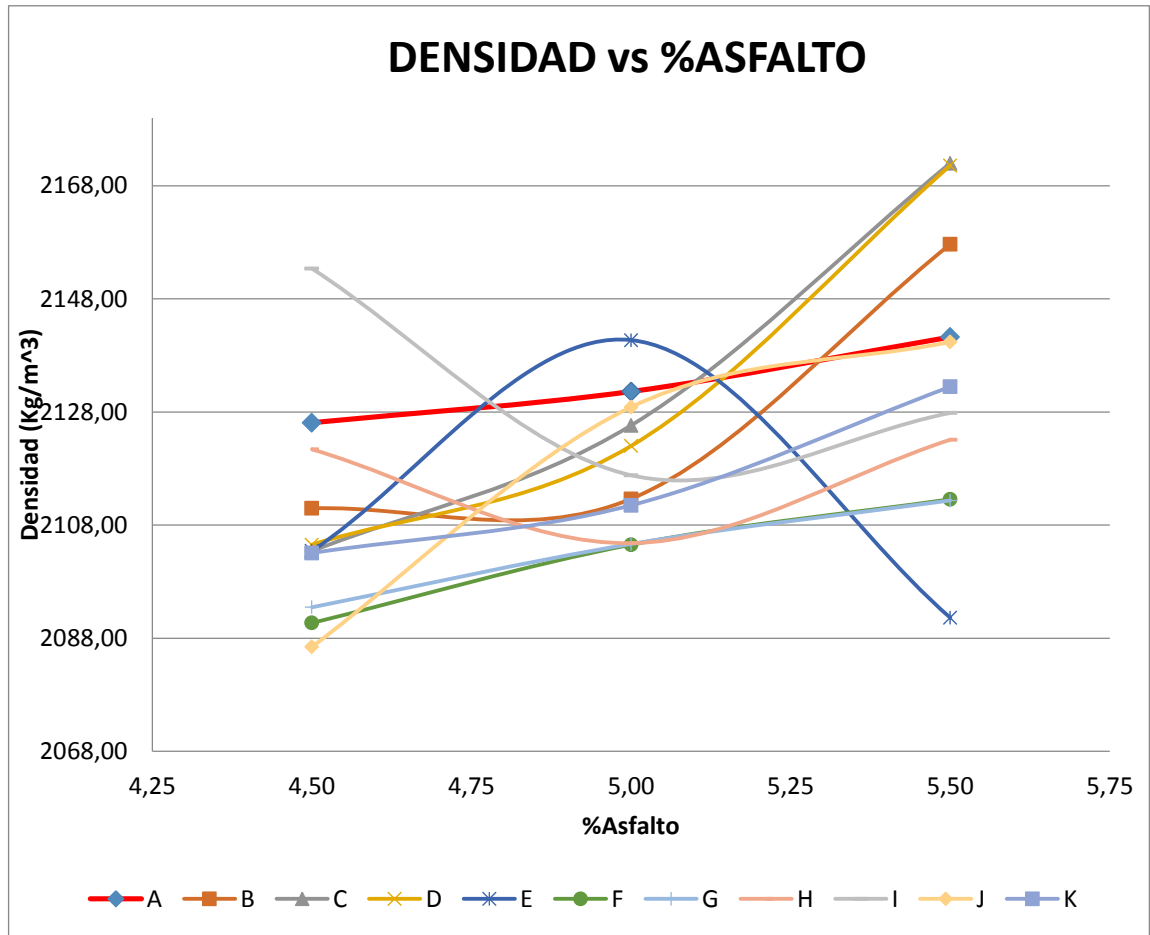
4.4 RESULTADOS DE ENSAYO MARSHALL

A continuación se presenta en la Tabla 17 los resultados de densidad obtenidos del ensayo de Marshall, realizado a cada una de las briquetas falladas. En las figuras 13 están representados gráficamente los datos tabulados de la tabla 17.

Tabla 17. Resultados Densidad Bulk

Tipo Mezcla	%ceniza	%Filler	%ceniza	%asfalto	Contenido de asfalto	Densidad (Kg/m ³)
A	-	100	-	100	4,5	2126,11
	-	100	-	100	5	2131,62
	-	100	-	100	5,5	2141,25
B	-	100	5	95	4,275	2110,96
	-	100	5	95	4,75	2112,64
	-	100	5	95	5,225	2157,66
C	25	75	10	90	4,05	2103,39
	25	75	10	90	4,5	2125,63
	25	75	10	90	4,95	2172,00
D	50	50	10	90	4,05	2104,55
	50	50	10	90	4,5	2122,00
	50	50	10	90	4,95	2171,59
E	75	25	10	90	4,05	2103,43
	75	25	10	90	4,5	2140,71
	75	25	10	90	4,95	2091,61
F	25	75	20	80	3,6	2090,69
	25	75	20	80	4	2104,53
	25	75	20	80	4,4	2112,56
G	50	50	20	80	3,6	2093,47
	50	50	20	80	4	2104,66
	50	50	20	80	4,4	2112,35
H	75	25	20	80	3,6	2121,39
	75	25	20	80	4	2104,80
	75	25	20	80	4,4	2123,10
I	25	75	30	70	3,15	2153,36
	25	75	30	70	3,5	2116,81
	25	75	30	70	3,85	2127,83
J	50	50	30	70	3,15	2086,47
	50	50	30	70	3,5	2128,87
	50	50	30	70	3,85	2140,39
K	75	25	30	70	3,15	2103,07
	75	25	30	70	3,5	2111,50
	75	25	30	70	3,85	2132,46

Figura 10. Densidad de las mezclas densas en calientes según ensayo Marshall

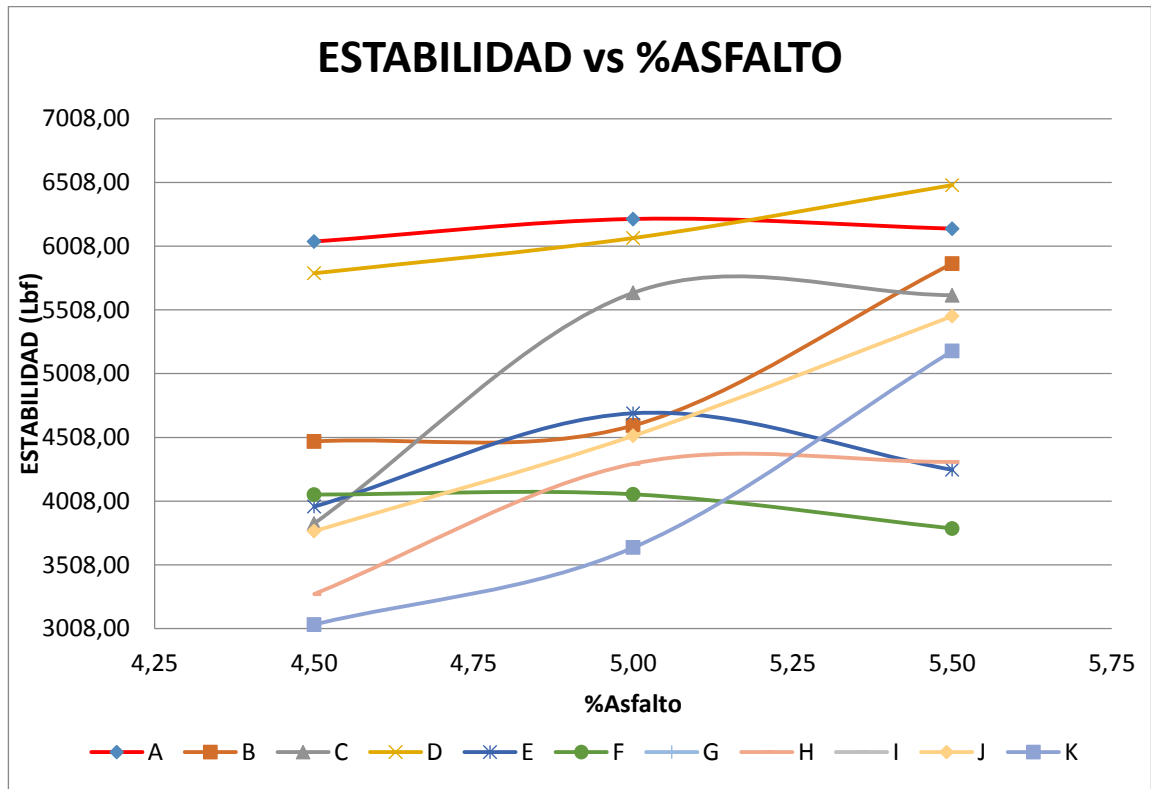


En la tabla 18 se presentan los resultados obtenidos de estabilidad de las tipos de mezclas definidos. Las unidades están en Libra fuerza ya que la INV.E- 748 exige los resultados estén de esta manera. La figura 14 muestra el comportamiento grafico de los datos tabulados en la tabla 18.

Tabla 18. Resultados de Estabilidad

Tipo Mezcla	%ceniza	%Filler	%ceniza	%asfalto	Contenido de asfalto	Estabilidad (Lbf)
A	-	100	-	100	4,5	6044,53
	-	100	-	100	5	6221,38
	-	100	-	100	5,5	6145,28
B	-	100	5	95	4,275	4476,27
	-	100	5	95	4,75	4601,62
	-	100	5	95	5,225	5871,36
C	25	75	10	90	4,05	3832,97
	25	75	10	90	4,5	5642,23
	25	75	10	90	4,95	5623,18
D	50	50	10	90	4,05	5795,31
	50	50	10	90	4,5	6071,91
	50	50	10	90	4,95	6487,17
E	75	25	10	90	4,05	3965,23
	75	25	10	90	4,5	4697,42
	75	25	10	90	4,95	4253,68
F	25	75	20	80	3,6	4059,67
	25	75	20	80	4	4061,55
	25	75	20	80	4,4	3793,90
G	50	50	20	80	3,6	4121,30
	50	50	20	80	4	3954,92
	50	50	20	80	4,4	4356,70
H	75	25	20	80	3,6	3279,42
	75	25	20	80	4	4300,64
	75	25	20	80	4,4	4315,92
I	25	75	30	70	3,15	5755,47
	25	75	30	70	3,5	4583,56
	25	75	30	70	3,85	4441,85
J	50	50	30	70	3,15	3773,13
	50	50	30	70	3,5	4520,48
	50	50	30	70	3,85	5459,45
K	75	25	30	70	3,15	3040,50
	75	25	30	70	3,5	3643,76
	75	25	30	70	3,85	5185,60

Figura 11. Estabilidad de las mezclas densas en calientes según ensayo Marshall

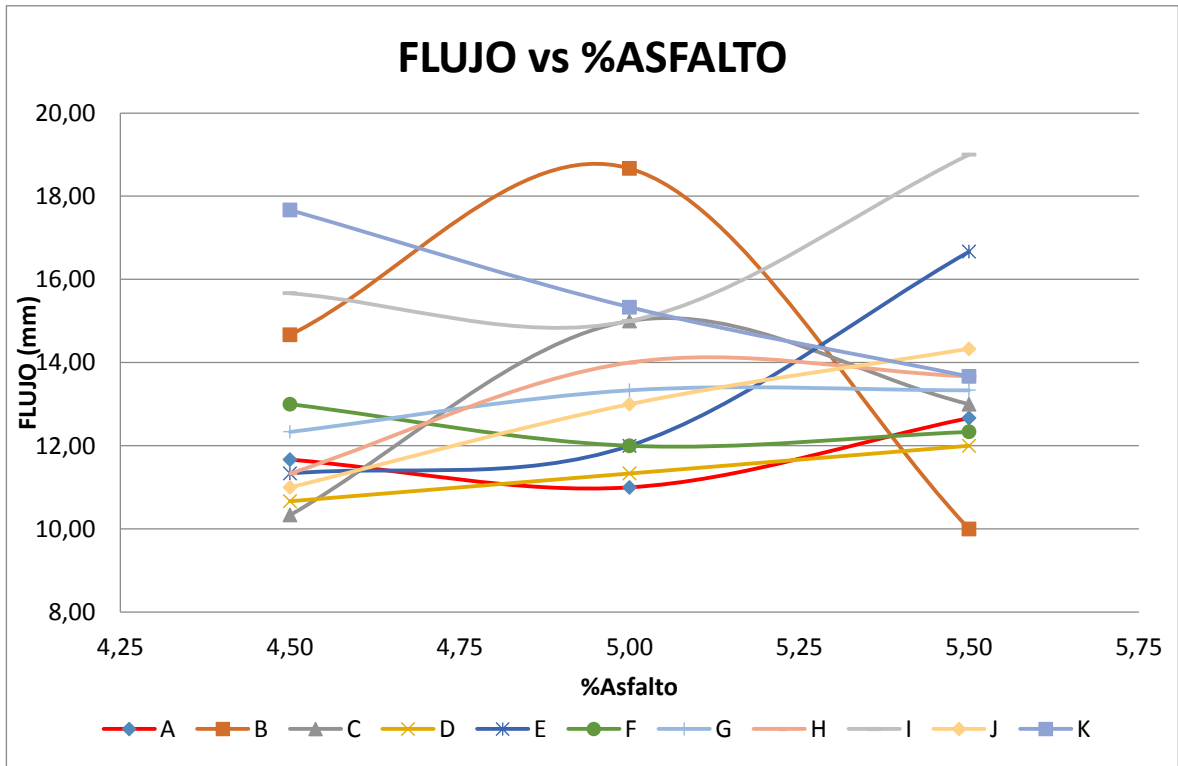


Los resultados de flujo se muestran en la tabla 19. En esta tabla se presentan los datos obtenidos de todas los tipos de MDC-2 definidas para el proyecto. En las figuras 15 están representados gráficamente los valores de flujo obtenidos para cada tipo de briqueta con respecto al porcentaje de asfalto de cada briqueta.

Tabla 19. Resultados de Flujo

Tipo Mezcla	%ceniza	%Filler	%ceniza	%asfalto	Contenido de asfalto	Flujo (mm)
A	-	100	-	100	4,5	11,67
	-	100	-	100	5	11,00
	-	100	-	100	5,5	12,67
B	-	100	5	95	4,275	14,67
	-	100	5	95	4,75	18,67
	-	100	5	95	5,225	10,00
C	25	75	10	90	4,05	10,33
	25	75	10	90	4,5	15,00
	25	75	10	90	4,95	13,00
D	50	50	10	90	4,05	10,67
	50	50	10	90	4,5	11,33
	50	50	10	90	4,95	12,00
E	75	25	10	90	4,05	11,33
	75	25	10	90	4,5	12,00
	75	25	10	90	4,95	16,67
F	25	75	20	80	3,6	13,00
	25	75	20	80	4	12,00
	25	75	20	80	4,4	12,33
G	50	50	20	80	3,6	12,30
	50	50	20	80	4	13,33
	50	50	20	80	4,4	13,33
H	75	25	20	80	3,6	11,33
	75	25	20	80	4	14,00
	75	25	20	80	4,4	13,67
I	25	75	30	70	3,15	15,67
	25	75	30	70	3,5	15,00
	25	75	30	70	3,85	19,00
J	50	50	30	70	3,15	11,00
	50	50	30	70	3,5	13,00
	50	50	30	70	3,85	14,33
K	75	25	30	70	3,15	17,67
	75	25	30	70	3,5	15,33
	75	25	30	70	3,85	13,67

Figura 12. Flujo de las mezclas densas en calientes según ensayo Marshall



5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Hoy por hoy, el porvenir de las generaciones futuras está en manos de los que viven el presente. Es por eso que se creó esta investigación, con el fin de garantizar el diseño de pavimentos flexibles que cumplen las calidades estándares de un pavimento convencional pero a menor precio. El diseño de una mezcla asfáltica que reutiliza materiales que antes se botaban a la basura como la ceniza, genera beneficios tanto a la naturaleza como a los seres humanos. Ya que el desarrollo de tecnologías que mejoren las condiciones actuales de los pavimentos asfálticos y descontaminar la tierra, promueve el equilibrio entre la humanidad y el medio ambiente.

5.1 CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES GRANULARES

Según la tabla 20 el material pétreo cumple con la mayoría de las especificaciones que la Norma Invias exige en el artículo 400, a diferencia del porcentaje de desgaste del agregado grueso, que supera por 0,78% el umbral de lo permitido. En términos generales los materiales pétreos usados se considera que son aceptables para la construcción de pavimentos.

Tabla 20. Caracterización de los agregados pétreos

ENSAYO	NORMA INVIAS	MEZCLA DENSA EN CALIENTE	RESULTADO
Granulometría de agregados fino y gruesos	E-213	-	-
Gravedad específica de los agregados gruesos	E-223	-	2.56
Absorción agregados gruesos	E-223	-	0.51
Gravedad específica de los agregados finos	E-222	-	2.60
Absorción agregados finos	E-222	-	1.05
Resistencia al desgaste	E-218	25% Máximo	25,78
Índice de alargamiento	E-230	30% Máximo	21,08
Índice de aplanamiento	E-230	30% Máximo	17,53
Equivalente de arena	E-133	50% Mínimo	86.50 %

5.2 CARACTERIZACIÓN DEL ASFALTO

Según las especificaciones del artículo 400 de la norma Invias, se puede observar según la tabla 21 que el asfalto convencional 60-70 y el asfalto 60-70 modificado cumplen con las especificaciones exigidas a cabalidad. Por lo que se considera que son asfaltos aptos para el diseño de mezclas asfálticas.

Tabla 21. Caracterización del asfalto

ENSAYO	NORMA INVIAS	ASFALTO 60-70		RESULTADO				
		min	máx	0% Cen.	5% Cen.	10% Cen.	20% Cen.	30% Cen.
Punto de ablandamiento de materiales bituminosos(C°)	E-712	-	-	47,5	48	49	50	50
Punto de ignición (C°)	E-709	-	-	176	15	161	172	180
Punto de flama (C°)	E-709	230	-	250	268	276	284	293
Penetración de materiales bituminosos(mm)	E-706	60	70	62.2	61.48	61.15	60.65	60.06
Densidad(g/cm ³)	E-711	-	-	1,00	1,00	0,983	0,994	0,976
Viscosidad Absoluta(60°)	E-716	1500	-	2034	2112	2393	2790	2731

5.3 CARACTERIZACIÓN DE LA CENIZA

La ceniza tiene una gradación similar a la de los agregados finos, por lo que se caracterizó con ensayos para agregados finos. En la tabla 22 se muestra la comparación entre las especificaciones de Invias y los resultados obtenidos.

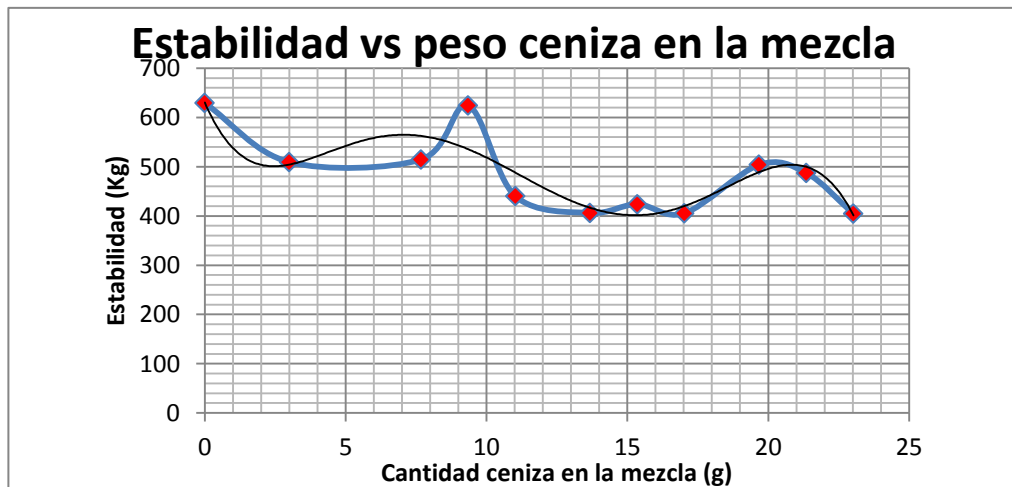
Tabla 22. Caracterización de la ceniza

ENSAYO	NORMA	Ceniza		RESULTADOS
		min	Máx.	
Gravedad específica de los agregados finos	E-222	-	-	1.998(g/cm ³)
Absorción de los agregados finos	E-222	-	-	8.70%
Granulometría de agregados finos	E-213	-	-	-
Superficie específica	E-302	-	-	148,61 (cm ² /g)

5.4 ANÁLISIS DE ENSAYOS MARSHALL

- Según un análisis de la figura 16, se determinó que existe una tendencia a que el promedio de estabilidad disminuya a medida que se incrementa la cantidad de ceniza en la mezcla. El valor más alto estabilidad promedio fue el de la briqueta convencional con un valor de 629,33 Kg. El valor que más llama la atención para la investigación en cuanto estabilidad, es el arrojado por la mezcla D, la cual presentan un valor promedio de 624,24 Kg, cercano a la estabilidad promedio que arrojó la mezcla convencional. Más sin embargo la ceniza disminuye la estabilidad de las mezclas asfálticas. Provocando fallas prematuras en las mezclas.

Figura 13. Resultados de estabilidad vs peso de ceniza en la mezcla

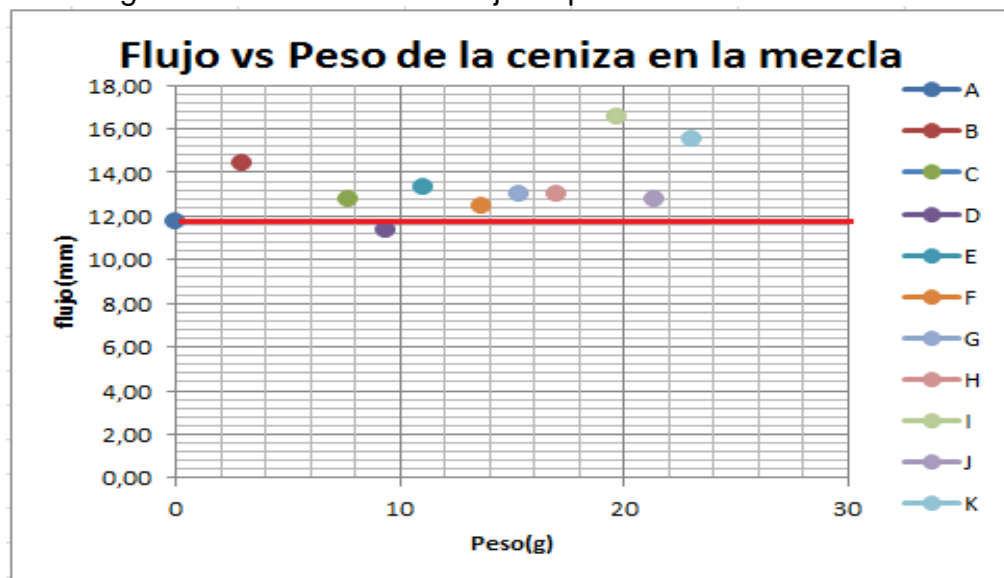


- El promedio de flujo es mayor cuando se complementa el asfalto y el llenante con ceniza a comparación de la mezcla convencional, lo que puede producir deformaciones plásticas en una capa de rodadura cuando se expone al altas temperaturas y a los esfuerzos a las que se someten normalmente. A excepción de la mezcla D, la cual presenta un valor menor de flujo con respecto a la mezcla convencional, que aun así sigue siendo alto para estar dentro de los valores estipulados por el Invias (2mm a 4mm); La figura 17 fue elaborada en base a los resultados de los ensayos Marshall, y la tabla 23.

Tabla 23. Cálculos para determinar cantidad de ceniza en mezclas

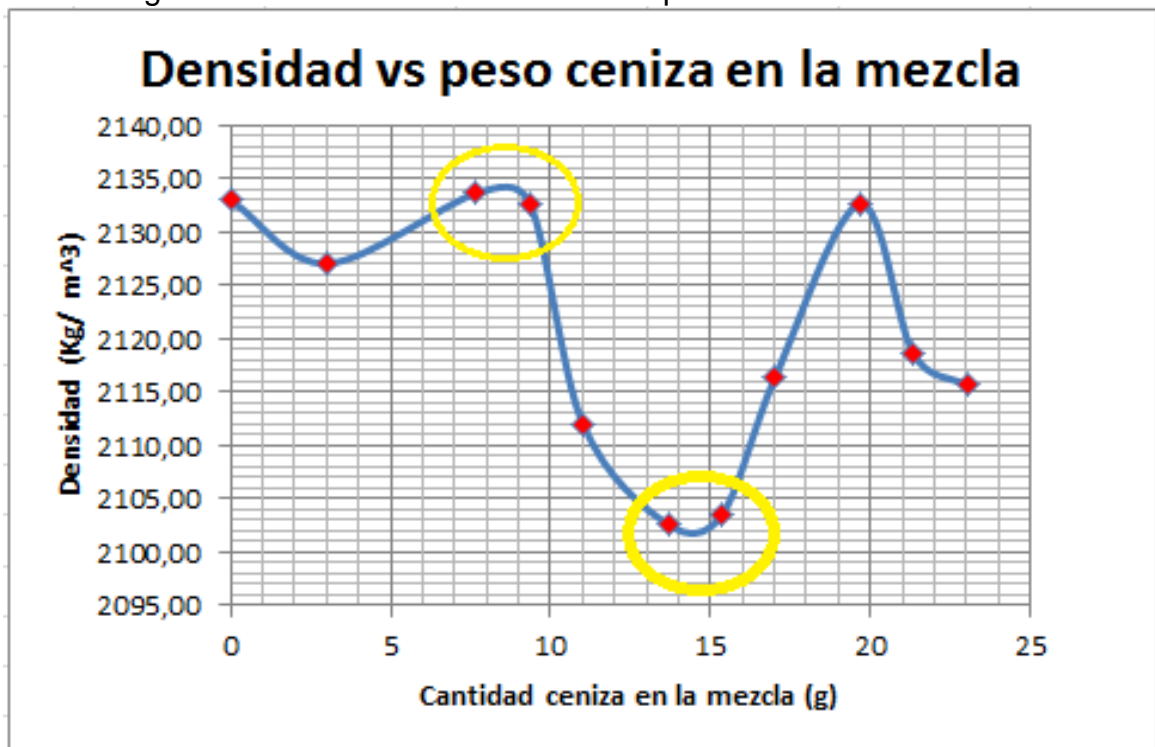
Tipo mezcla	Peso asfalto (g)	Peso filller (g)	peso ceniza por filler (g)	peso ceniza por asfalto (g)	Peso ceniza en la mezcla
A	60	6,7	0	0	0
B	60	6,7	0	3	3
C	60	6,7	1,675	6	7,675
D	60	6,7	3,35	6	9,35
E	60	6,7	5,025	6	11,025
F	60	6,7	1,675	12	13,675
G	60	6,7	3,35	12	15,35
H	60	6,7	5,025	12	17,025
I	60	6,7	1,675	18	19,675
J	60	6,7	3,35	18	21,35
K	60	6,7	5,025	18	23,025

Figura 14. Resultados de flujo vs peso ceniza en la mezcla



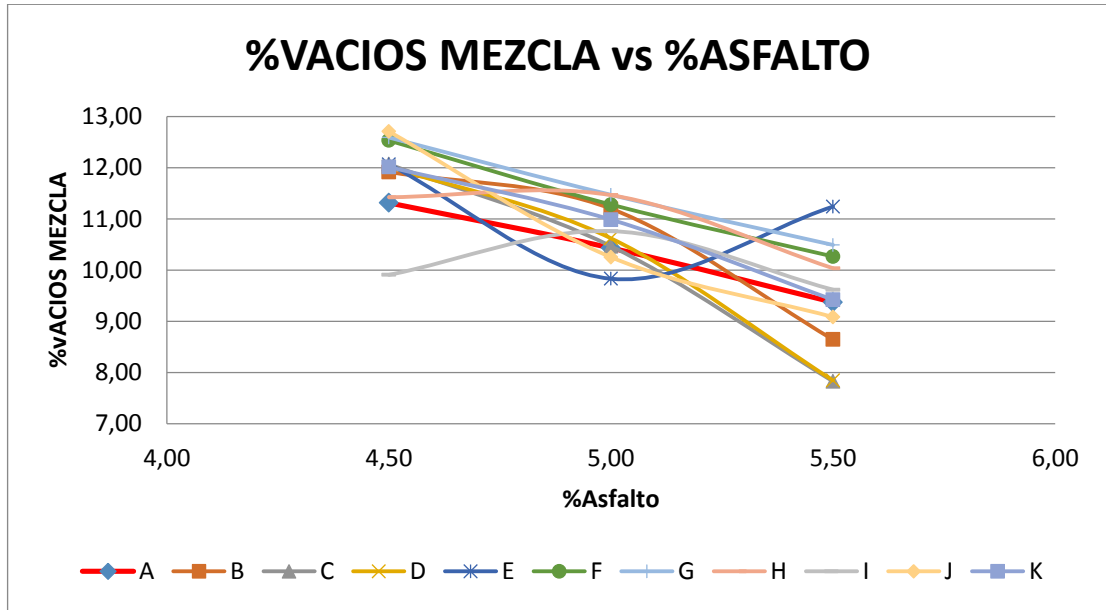
- La densidad varía según el contenido de ceniza en la mezcla; No hay un patrón de tendencia definido según muestra la figura 18. El valor más alto de densidad promedio es de 2133,67 Kg/m³, lo que indica que la ceniza disminuya el porcentaje de vacíos en la mezcla, aumentando la cohesión entre las materiales que componen las briquetas y a su vez mejorando la estabilidad de la briketa. El más bajo es de 2102,59 kg/m³ lo que significa menor cohesión entre partículas y disminución de resistencia en la briketa. Por eso es recomendable complementar la mezcla con cantidades entre 7 y 10 gramos de ceniza.

Figura 15. Resultados de densidad vs peso de ceniza en la mezcla



- En la figura 19 se puede observar que las briquetas con adición de ceniza presenta un porcentaje de vacíos en la mezcla superior al de la mezcla asfáltica convencional, ya sea en los tres porcentajes de asfalto de cada briketa (4,5%;5%;5.5%) o en tan solo. El porcentaje de vacíos en la mezcla no cumple lo exigido por el invias en ninguna de las briquetas elaboradas el cual debiera estar entre el 3% y 5%.

Figura 16. Resultados de %vacíos en la mezcla vs %asfalto



- El porcentaje de vacíos en los agregados cumple según exigencias de la norma Invia ya que los valores deben ≥ 15 para NT2. Como en los agregados naturales solo se remplazó un porcentaje del llenante mineral el cual representa un porcentaje pequeño frente al muestra total, la varianza del %vacíos en agregados resulto de 0,170, siendo diminuta debido a la mínima modificación de los agregados pétreos (llenante mineral).

Figura 17. %vacíos en los agregados vs peso ceniza en la mezcla

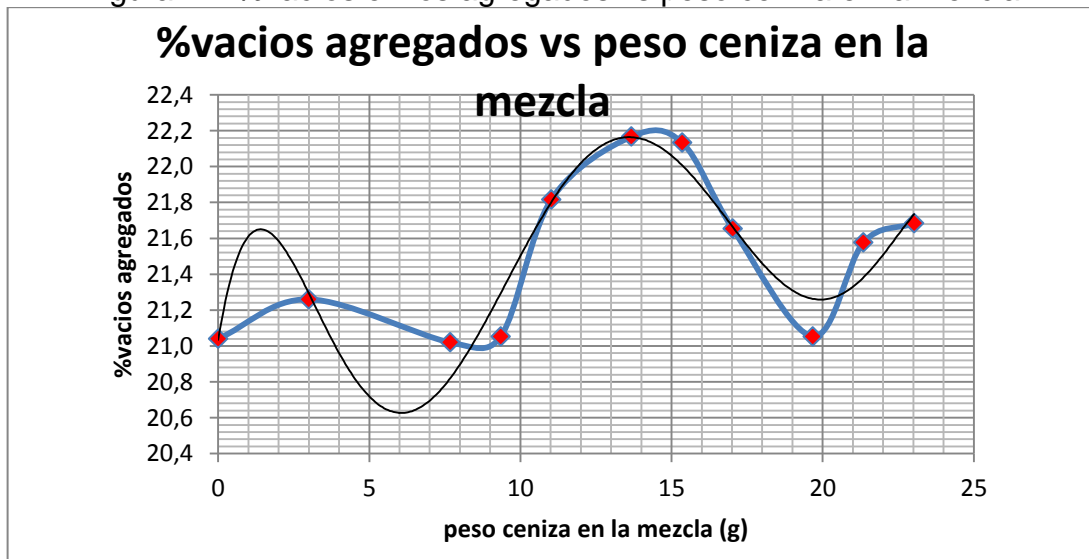


Tabla 24. Resultados diseño Marshall

Tipo Mezcla	%ceniza	%Filler	%ceniza	%asfalto	Densidad (Kg/m ³)	Estabilidad (Kg)	Flujo (mm)	% Vacíos Mezcla	%Vacíos Agregados
A	-	100	-	100	2126,11	618,05	11,67	11,31	20,88
	-	100	-	100	2131,62	641,61	11	10,43	21,09
	-	100	-	100	2141,25	628,35	12,67	9,37	21,15
	PROMEDIO				2132,99	629,34	11,78	10,37	21,04
B	-	100	5	95	2110,96	457,70	14,67	11,92	21,44
	-	100	5	95	2112,64	470,51	18,67	11,2	21,79
	-	100	5	95	2157,66	600,34	10	8,65	20,55
	PROMEDIO				2127,09	509,52	14,45	10,59	21,26
C	25	75	10	90	2103,39	391,92	10,33	12,07	21,73
	25	75	10	90	2125,63	576,91	15	10,47	21,31
	25	75	10	90	2172	574,97	13	7,83	20,02
	PROMEDIO				2133,67	514,60	12,78	10,12	21,02
D	50	50	10	90	2104,55	592,57	10,67	12,02	21,68
	50	50	10	90	2122	620,85	11,33	10,62	21,45
	50	50	10	90	2171,59	659,32	12	7,85	20,03
	PROMEDIO				2132,71	624,25	11,33	10,16	21,05
E	75	25	10	90	2103,43	405,44	11,33	12,07	21,72
	75	25	10	90	2140,71	480,31	12	9,83	20,75
	75	25	10	90	2091,61	434,94	16,67	11,24	22,98
	PROMEDIO				2111,92	440,23	13,33	11,05	21,82
F	25	75	20	80	2090,69	415,10	13	12,53	22,2
	25	75	20	80	2104,53	415,29	12	11,28	22,09
	25	75	20	80	2112,56	387,92	12,33	10,27	22,21
	PROMEDIO				2102,59	406,10	12,44	11,36	22,17
G	50	50	20	80	2093,47	421,40	12,33	12,59	22,09
	50	50	20	80	2104,66	404,39	13,33	11,47	22,09
	50	50	20	80	2112,35	445,47	13,33	10,49	22,22
	PROMEDIO				2103,49	423,75	13,00	11,52	22,13
H	75	25	20	80	2121,39	335,32	11,33	11,42	21,06
	75	25	20	80	2104,8	439,74	14	11,46	22,08
	75	25	20	80	2123,1	441,30	13,67	10,04	21,82
	PROMEDIO				2116,43	405,45	13,00	10,97	21,65
I	25	75	30	70	2153,36	588,49	15,67	9,91	19,87
	25	75	30	70	2116,81	468,67	15	10,76	21,64
	25	75	30	70	2127,83	454,18	19	9,62	21,65
	PROMEDIO				2132,67	503,78	16,56	10,10	21,05
J	50	50	30	70	2086,47	441,56	11	12,71	22,36
	50	50	30	70	2128,87	462,22	13	10,25	21,19
	50	50	30	70	2140,39	558,23	14,33	9,09	21,18
	PROMEDIO				2118,58	487,33	12,78	10,68	21,58
K	75	25	30	70	2103,07	310,89	17,67	12,01	21,74
	75	25	30	70	2111,5	372,57	15,33	10,99	21,84
	75	25	30	70	2132,46	530,22	13,67	9,42	21,47
	PROMEDIO				2115,68	404,56	15,56	10,81	21,68

6. CONCLUSIONES

Una vez hecha la caracterización de la ceniza se procede a complementar un porcentaje del llenante mineral y asfalto, por el material retenido en el pasa 200. Se concluye lo siguiente:

Ceniza volante:

- Cuando se adiciona ceniza al asfalto se aumenta la viscosidad del asfalto. Lo cual indica que frente a altas temperaturas el asfalto modificado con ceniza presenta resistencia a fluir. Entonces un asfalto modificado con ceniza volante disminuye la susceptibilidad del asfalto a altas temperaturas hasta en un 37% con respecto al asfalto convencional 60-70. Y esto puede ayudar a disminuir las fallas por ahuellamiento en una mezcla.
- La ceniza es una fuente importante de partículas muy finas (tamiz 200 a pasa 200), ya que a comparación del material granular usado, el material que pasa por el tamiz 200 es del 12% aproximadamente del peso total de una muestra de ceniza que oscila de 1Kg a 2Kg. Y para el agregado fino el material que pasa por el tamiz 200 es del 0,28% aproximadamente del total de una porción de agregado fino que oscila entre 1kg a 3kg.
- La ceniza tiene propiedades aglomerantes y prueba de ellos es que en las mezclas C y D aumento la densidad de la mezcla asfáltica. Por lo que se garantiza un mejor comportamiento monolítico de toda la mezcla asfáltica, frente a cargas que se impongan.
- Se determina que variables como la gravedad específica de la ceniza es menor que la de los agregados finos y el porcentaje de absorción de la ceniza es mayor que la de los agregados finos. Si se comparan la densidades, la ceniza es un 9.36% menor que la densidad aparente del agregado fino. Y la absorción de la ceniza es un 87.58% mayor a la del agregado fino.

Agregados pétreos:

Los agregados pétreos según la norma Invias son aptos para ser usados en mezclas asfálticas tipo MDC-2. Para el diseño de las briquetas se realizaron cuatro tipos de granulometrías cada uno con porcentaje diferente de agregado fino y grueso. Según los resultados se determinó que el material tiene carencias filler y que no cumple con las exigencias del artículo del Invias 450 en cuanto granulometría, el cual estipula que la granulometría ideal debería ser paralela a los límites superior e inferior para la gradación según el tipo de mezcla a diseñar. Entonces para mejorar la carencia de material pasa 200, se cambió un porcentaje del agregado fino por ceniza, así que en vez de 65% grueso y 35% fino, se cambia el 35% de fino por 75% ceniza 25% fino. Lo que mejoro la cantidad de finos (tamiz 200 a pasa 200) en los materiales pétreos y se logró con esto que la granulometría sea más paralela a los límites granulométricos impuestos. Para los agregados pétreos se concluye lo siguiente:

- Los materiales pétreos obtenidos de la región de Santander, más exactamente en el sector denominado el pescadero. Usados para la elaboración de las briquetas, cumplen con los requerimiento exigidos por la norma Invias en el artículo 450, por lo tanto se considera una buena fuente de materiales para la construcción de carreteras.
- Los materiales pétreos contaban con bajas cantidades de materiales muy finos (desde tamiz 200 hasta pasa 200) por lo que se complementó el agregado fino con ceniza, ya que esta cuenta con un porcentaje peso retenido del 12% aproximadamente de pasa 200 para muestras que oscilan entre 1kg a 2kg. De esta manera se aseguró estar más adentro de las franjas granulométricas para mezclas densas en caliente tipo 2, recomendadas para evitar segregaciones y buenos niveles de compactación en la mezcla.
- la varianza del %vacíos en agregados resulto de 0,170, siendo diminuta debido a la mínima modificación de los agregados pétreos (agregado grueso, agregado fino y llenante mineral por ceniza).

Mezcla asfáltica

- La ceniza se podría considerar como un material de construcción para las carreteras, en la medida que se utilice para tránsitos livianos o NT1 ya que los requerimientos son menores y variables como la estabilidad si se cumplirían. Además teniendo en cuenta que ayuda a evitar la contaminación debido a que no ahí muchos lugares para disponer la ceniza.
- Según los resultados de los ensayos de estabilidad y flujo, utilizando el método Marshall, realizado a los especímenes, indica que el porcentaje óptimo de ceniza en la mezcla es de 4.30% que representa en una mezcla asfáltica que pesa 216g unos 9.3g. siendo la mezcla D, la que contenía la cantidad de ceniza mencionada anteriormente no se cumplieron los requisitos mínimos exigidos para un nivel de transito 2, a excepción del porcentaje de vacíos en los agregados.
- El porcentaje de vacíos en la mezcla no satisface las especificaciones de la norma Invias para ninguna de las briquetas elaboradas ya que están por encima de lo estipulado por el Invias (3% a 5%). Porcentajes de vacíos como los obtenidos que oscilan entre el 8% y 13%, hace mezclas más porosas y menos resistentes que una mezcla convencional.
- La estabilidad en la mezclas tiene a disminuir a medida que se aumenta la cantidad de ceniza en la mezcla. Lo que hace que la mezcla sea susceptible a rupturas prematuras. Por otro lado el flujo tiende a aumentar cuando se adiciona ceniza a la mezcla de manera aleatoria. lo que puede producir deformaciones plásticas en una capa de rodadura cuando se expone a altas temperaturas y a los esfuerzos a las que se someten normalmente.
- La densidad de las probetas no tiene un patrón de incremento o disminución según el contenido de ceniza en la mezcla, pero la densidad aumenta cuando se adiciona ceniza a las mezclas, A excepción de la mezcla D. Lo que si se identifica claramente es que las mezclas C(10% de ceniza por asfalto y 25% de ceniza por filler) y D(10% de ceniza por asfalto y 50% de ceniza por filler) obtuvieron las mayores densidades con valores de 2133,67kg/m³ y 2132,71kg/m³ respectivamente. Lo que indica que la

ceniza disminuya el porcentaje de vacíos en la mezcla, aumentando la cohesión entre los materiales que componen las briquetas y a su vez mejorando la estabilidad de la briketa. Por otro lado las mezclas F(20% de ceniza por asfalto y 25% de ceniza por filler) Y G(20% de ceniza por asfalto y 75% de ceniza por filler) obtuvieron los menores resultados de densidad generando resultados contrarios a los descritos a las mezclas C y D.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda para este tipo de investigaciones, disminuir la cantidad de mezclas asfálticas principalmente por la dificultad que se produce al momento de comparar resultados de 11 tipos de briquetas diferentes con 3 porcentajes de asfalto cada una.
- Se recomienda realizar estudios en mezclas asfálticas densas en caliente modificadas con ceniza que se enfoque a ensayos que determinen la deformación permanente, el envejecimiento de la carpeta asfáltica y la fatiga en la rodadura.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUILAR PEDROZO, Luis Alejandro. AYALA ROBAYO, Edward Andrés, Proyecto de Grado para obtener el título de Ingeniero Civil. Bucaramanga. Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga. Facultad de Ingeniería civil. 2013. 104 paginas.
- Alpha Institute. Manual del asfalto. España. URMO S.A EDICIONES. 477 paginas.
- ASFALTART S.A. Ficha técnica mezcla asfáltica en caliente tipo MDC-1.
- ASOPAC. Cartilla del pavimento asfaltico. Editado ASOPAC. Bogotá. 2004.51paginas.
- BAÑÓN BLAZQUEZ, Luis. Y BEVIA GARCIA, José. Manual de carreteras vol. 2. Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A.2000. 328Paginas.
- CAMARGO, Hugo y SUAREZ, Andrea. Diagnóstico de las nuevas tecnologías empleadas para el diseño de mezclas asfálticas densas en caliente mdc-2.Título de grado Especialista en Ingeniería de pavimentos. Bogotá. D.C: universidad militar nueva granada. facultad de ingeniería. 2010. 146Paginas.
- CASTILLER, William. Características conformaciones y aplicaciones de los polímeros. En: Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales 2. Barcelona. Editorial Reverta s.a. 1996. 656 Paginas.
- FIGUEROA INFANTE, Ana Sofía, FONSECA SALTANILLA, Elsa Beatriz y REYES LIZCANO, Freddy Alberto. Caracterización fisicoquímica y morfológica de asfaltos modificados con material reciclado. En: Ingeniería y Universidad. Bogotá. Enero 2009.Vol 13. No. 70 paginas.

- FIGUEROA INFANTE, Ana Sofía y REYES LIZCANO, Fredy. Estado del conocimiento del estudio sobre mezclas asfálticas modificadas en Colombia. En: Infraestructura Vial. vol 10.2008.no.
- GIL VIANCHA, Claudia, PLAZAS ROLDAN, Ricardo. propuesta para la utilización de la ceniza volante como adición en la fábrica de cemento tipo 1 en la planta cementera Holcim Colombia s.a. Trabajo de grado Especialista en gerencia de producción y operaciones. Chía. Universidad de la Sabana.2007. 50 paginas.
- INVIAS. Especificación técnica. ART 450-07.
- JAVIER REYES, óscar. RINCÓN, Fredy. Influencia de las características del relleno mineral en la resistencia de una mezcla asfáltica. En: Escuela de Ingeniería de Antioquia.Vol 10. Junio 2009. No.
- MONTEJO FONSECA, Alfonso. 2ed.Bogota D.C.: Stela Valbuena de Fierro. 1998. 733paginas.
- MONTSE BOSCH, González y DEL PORTAL LATAS, María. Pavimentos. Nuevos revestimientos. 1 ed. Barcelona. España. Ediciones UPC.2002. 215paginas.
- PADILLA RODRIGUEZ, Alejandro. Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista. México: Universidad Politécnica de Cataluña. Facultad de Ingeniería civil,2004, 161paginas.
- REYES LIZCANO, Fredy. MADRID AHUMADA, María y SALAS CALLEJAS, Sandra. Mezclas asfálticas modificadas con un elastómero (caucho) y un plastómero (tiras de bolsas de leche con asfalto 80-100). En: Infraestructura Vial.Vol 9. 2007. No
- REYES ORTIZ, Oscar Javier. TRONCOSO RIVERA, Ricardo. CAMACHO TAUTA. Javier Fernando. comportamiento mecánico y dinámico de una mezcla asfáltica con adición de cenizas volantes. En: Ingeniería y universidad.2006. vol 10. 16paginas.

- REPSOL. Asfalto líquidos. [en línea].[27/08/2014].Disponible en internet:URL<:http://www.repsol.com/pe_es/productos_y_servicios/productos/peasfaltos/productos/aliquidos/
- REPSOL. Emulsiones asfálticas. [en línea].[26/08/2014].Disponible en internet:URL<<http://www.repsol.com/pe_es/productos_y_servicios/productos/peasfaltos/productos/easfalticas/.
- SANTAELLA VALENCIA, luz. Caracterización física química y mineralógica de las cenizas volantes. En: Ciencia e Ingeniería Neogranadina, núm. 10, julio 2001.no. 60 paginas.
- Secretaria de comunicaciones y transporte de México. Materiales para pavimentos. Diciembre 2002.N-CMT-4-05-002/06. 16 paginas.
- Secretaria de comunicaciones y transporte de México. Materiales para pavimentos. Septiembre 2006.N-CMT-4-05-003/02.8paginas.
- Universidad Mayor de San Simón. Manual completo de diseño de pavimentos. 459paginas.
- ZACARIAS GARCIA, Adrián. Estudio de las deformaciones permanentes de mezclas asfálticas elaboradas con asfalto AC-20, Y adicionadas con polímeros y aditivos, utilizando la pista de ensayo de laboratorio UMICH. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Universidad de Michoacana. Facultad de ingeniería civil, 2008. 113Pagina.

ANEXOS

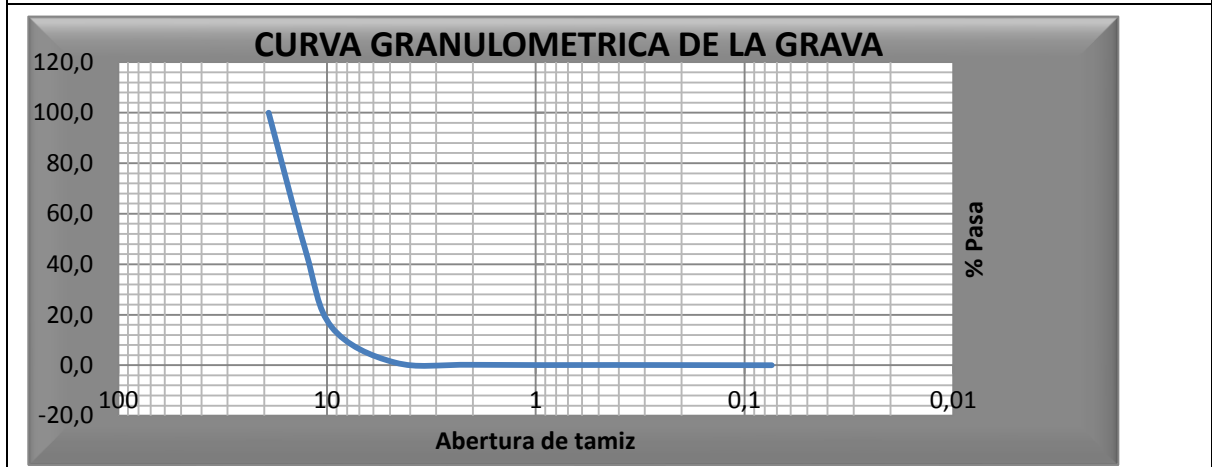
Anexo 1. Granulometría para agregados gruesos #1

 <p style="font-size: 1.2em; font-weight: bold; margin: 0;">Universidad Pontificia Bolivariana</p> <p style="font-size: 0.8em; margin: 0;">SECCIONAL BUCARAMANGA</p>	N° Ensayo 1	Anexo 1
	Fecha de ensayo 11 mayo 2014	
	Directora proyecto María Serrano Guzmán	
Estudiantes Sergio Andrés Sánchez Otálora		ID 000167157
Nombre del ensayo Granulometría de agregados gruesos		Norma INV.E-213

Datos tomados

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		

Grafica



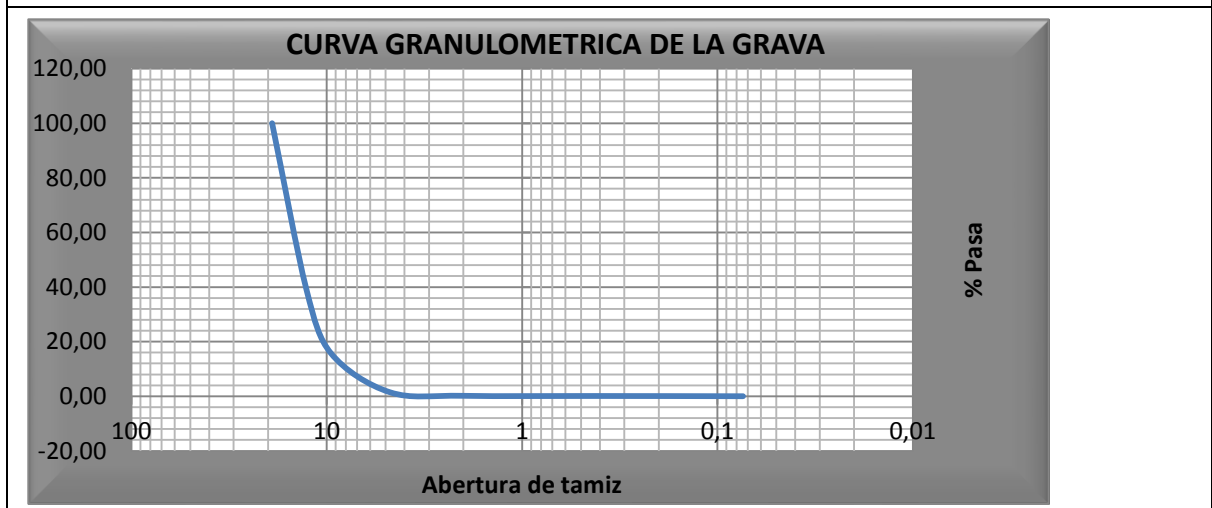
Anexo 2. Granulometría para agregados gruesos # 2

 <p>Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA</p>	N° Ensayo 2	Anexo 2
	Fecha de ensayo 11 mayo 2014	
	Directora proyecto María Serrano Guzmán	
Estudiantes Sergio Andrés Sánchez Otálora	ID 000167157	
Nombre del ensayo Granulometría de agregados gruesos	Norma INV.E-213	


Datos tomados

Tamiz	Peso retenido	% Peso retenido	%Retenido acumulado	% Pasa
3/4"	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	2170,30	61,01	61,01	38,99
3/8"	827,00	23,25	84,26	15,74
Nº 4	507,4	14,26	98,53	1,47
Nº 10	46,3	1,30	99,83	0,17
Nº40	2,4	0,07	99,90	0,10
N80	1,2	0,03	99,93	0,07
N200	1,9	0,05	99,99	0,01
PASA 200	0,5	0,01	100,00	0,00
	3557,00	100,00		

Grafica



Anexo 3. Granulometría para agregados gruesos # 3

	N° Ensayo 3	Anexo 3
	Fecha de ensayo 11 mayo 2014	
	Directora proyecto María Serrano Guzmán	
Estudiantes Sergio Andrés Sánchez Otálora		ID 000167157
Nombre del ensayo Granulometría de agregados gruesos		Norma INV.E-213

Datos tomados

Tamiz	Peso retenido	% Peso retenido	%Retenido acumulado	% Pasa
3/4"	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	2338,47	59,62	59,62	40,38
3/8"	1044,17	26,62	86,25	13,75
Nº 4	506,866	12,92	99,17	0,83
Nº 10	26,6	0,68	99,85	0,15
Nº40	2,3	0,06	99,91	0,09
N80	1,2	0,03	99,94	0,06
N200	2,2	0,06	99,99	0,01
PASA 200	0,2	0,01	100,00	0,00
	3922,00	100,00		

Grafica



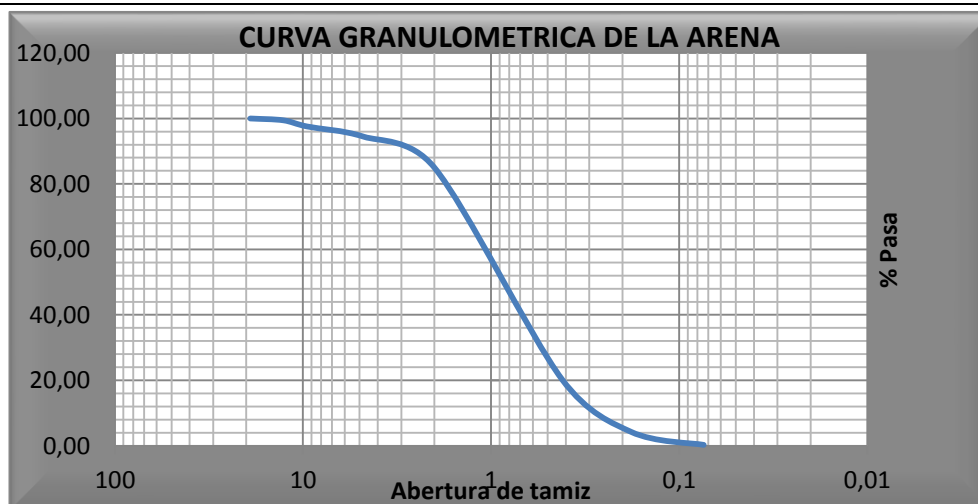
Anexo 4. Granulometría para agregados finos # 1

 <p>Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA</p>	N° Ensayo 1	Anexo 4
	Fecha de ensayo 11 mayo 2014	
	Directora proyecto María Serrano Guzmán	
Estudiantes Sergio Andrés Sánchez Otálora		ID 000167157
Nombre del ensayo Granulometría de agregados finos		Norma INV.E-213

Datos tomados

Tamiz	Peso retenido	% Peso retenido	%Retenido acumulado	% Pasa
3/4"	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	16,20	0,57	0,57	99,43
3/8"	53,70	1,88	2,44	97,56
Nº 4	89,6	3,13	5,57	94,43
Nº 10	270,1	9,44	15,01	84,99
Nº40	1850,4	64,65	79,66	20,34
N80	460,5	16,09	95,74	4,26
N200	113,8	3,98	99,72	0,28
PASA 200	8	0,28	100,00	0,00
	2862,30	100,00		

Grafica



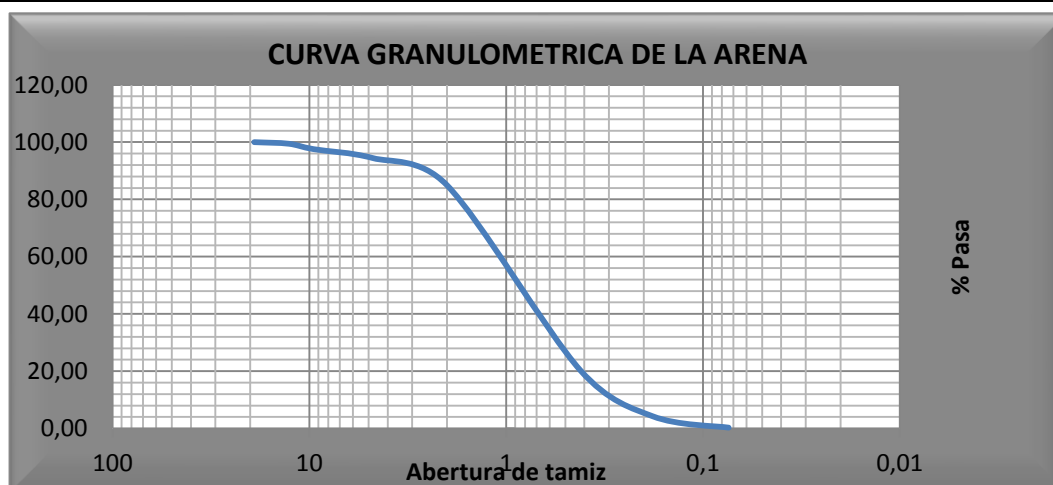
Anexo 5. Granulometría para agregados finos # 2

 <p>Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA</p>	N° Ensayo 2	Anexo 5
	Fecha de ensayo 11 mayo 2014	
	Directora proyecto María Serrano Guzmán	
Estudiantes Sergio Andrés Sánchez Otálora	ID 000167157	
Nombre del ensayo Granulometría de agregados finos	Norma INV.E-213	

Datos tomados

Tamiz	Peso retenido	% Peso retenido	%Retenido acumulado	% Pasa
3/4"	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	36,54	1,26	1,26	98,74
3/8"	67,04	2,31	3,57	96,43
Nº 4	127,53	4,40	7,96	92,04
Nº 10	279,9	9,65	17,61	82,39
Nº40	1830,4	63,08	80,69	19,31
N80	437,3	15,07	95,76	4,24
N200	114,5	3,95	99,70	0,30
PASA 200	8,6	0,30	100,00	0,00
	2901,81	100,00		

Grafica

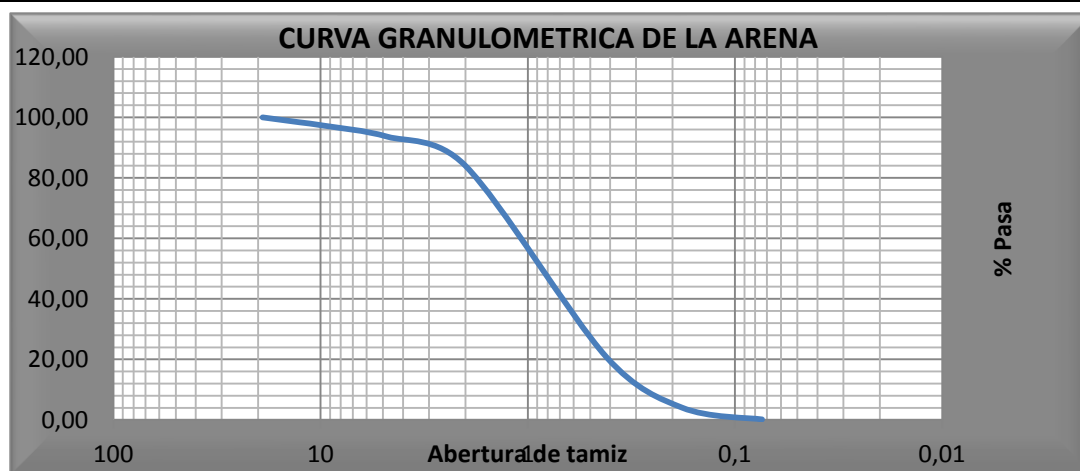


Anexo 6. Granulometría para agregados finos # 3


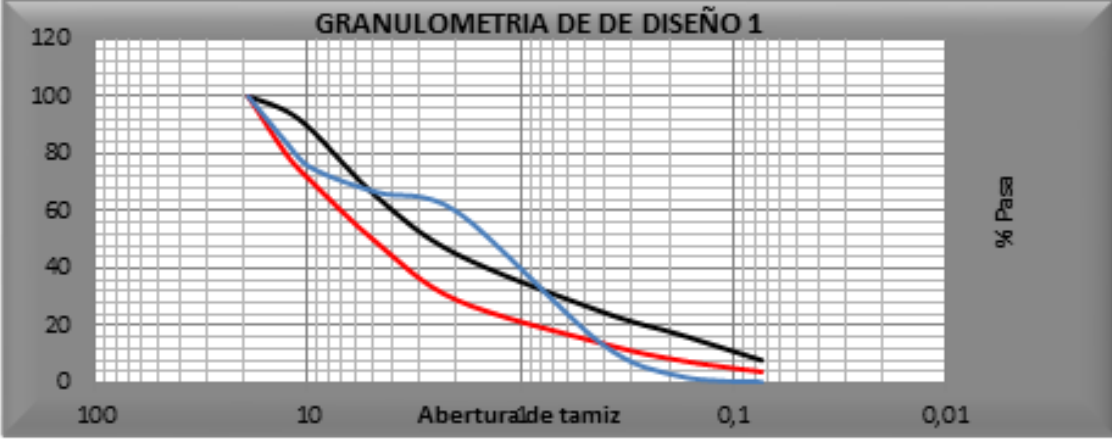
 <p>Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA</p>	N° Ensayo 3	Anexo 6
	Fecha de ensayo 11 mayo 2014	
	Directora proyecto María Serrano Guzmán	
Estudiantes Sergio Andrés Sánchez Otálora	ID 000167157	
Nombre del ensayo Granulometría de agregados finos	Norma INV.E-213	

Datos tomados


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		



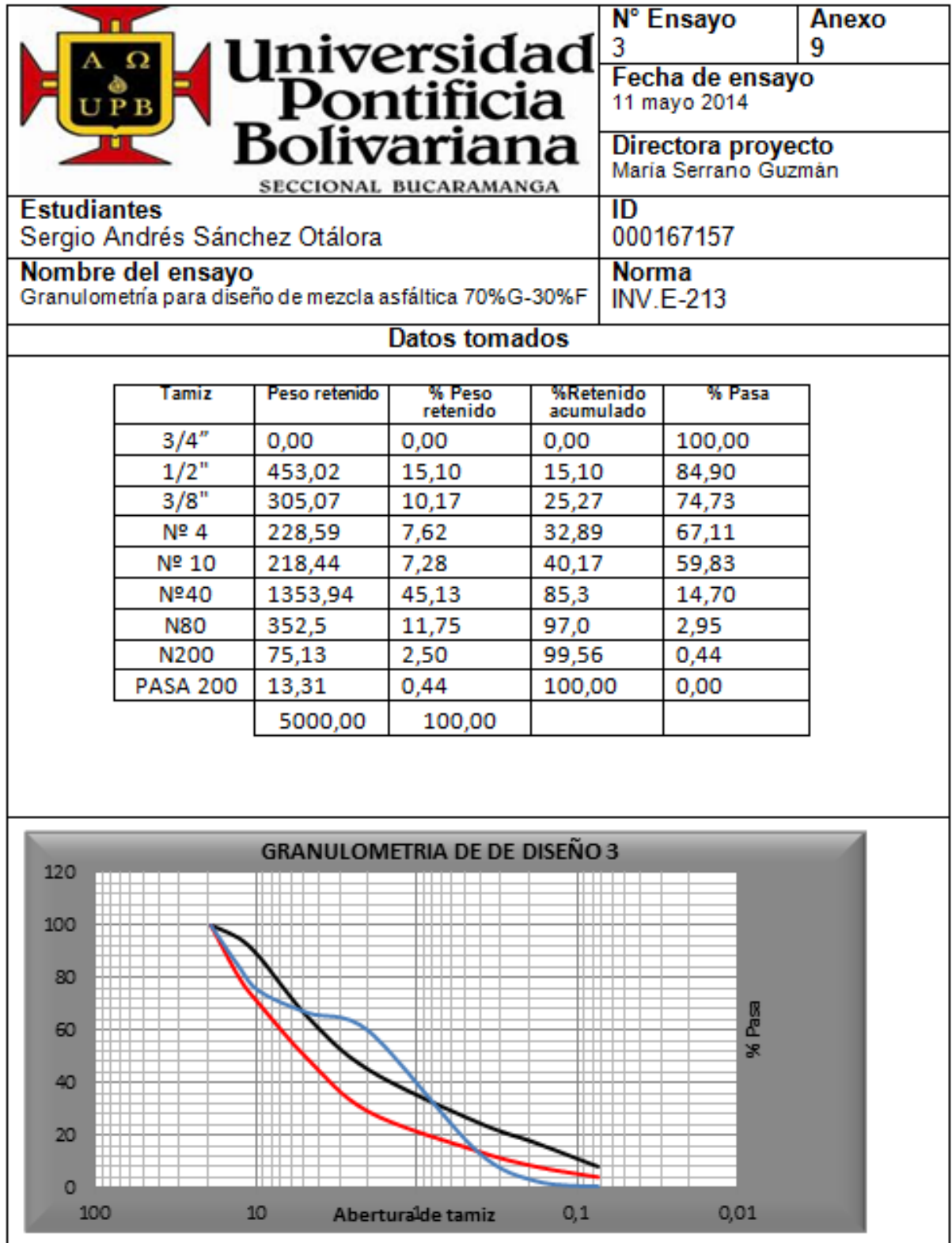
Anexo 7. Granulometria para diseño de mezcla asfáltica 70%grueso – 30%fino #1

 <p>Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA</p>	<p>N° Ensayo 1</p>	<p>Anexo 7</p>																																																							
	<p>Fecha de ensayo 11 mayo 2014</p>																																																								
	<p>Directora proyecto María Serrano Guzmán</p>																																																								
<p>Estudiantes Sergio Andrés Sánchez Otálora</p>		<p>ID 000167157</p>																																																							
<p>Nombre del ensayo Granulometría para diseño de mezcla asfáltica 70%G-30%F</p>		<p>Norma INV.E-213</p>																																																							
Datos tomados																																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tamiz</th> <th>Peso retenido</th> <th>% Peso retenido</th> <th>%Retenido acumulado</th> <th>% Pasa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3/4"</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>1/2"</td> <td>453,02</td> <td>15,10</td> <td>15,10</td> <td>84,90</td> </tr> <tr> <td>3/8"</td> <td>305,07</td> <td>10,17</td> <td>25,27</td> <td>74,73</td> </tr> <tr> <td>Nº 4</td> <td>228,59</td> <td>7,62</td> <td>32,89</td> <td>67,11</td> </tr> <tr> <td>Nº 10</td> <td>218,44</td> <td>7,28</td> <td>40,17</td> <td>59,83</td> </tr> <tr> <td>Nº40</td> <td>1353,94</td> <td>45,13</td> <td>85,3</td> <td>14,70</td> </tr> <tr> <td>N80</td> <td>352,5</td> <td>11,75</td> <td>97,0</td> <td>2,95</td> </tr> <tr> <td>N200</td> <td>75,13</td> <td>2,50</td> <td>99,56</td> <td>0,44</td> </tr> <tr> <td>PASA 200</td> <td>13,31</td> <td>0,44</td> <td>100,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td></td> <td>3000,00</td> <td>100,00</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			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		3000,00	100,00		
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																																																					
	3000,00	100,00																																																							
Grafica																																																									
																																																									


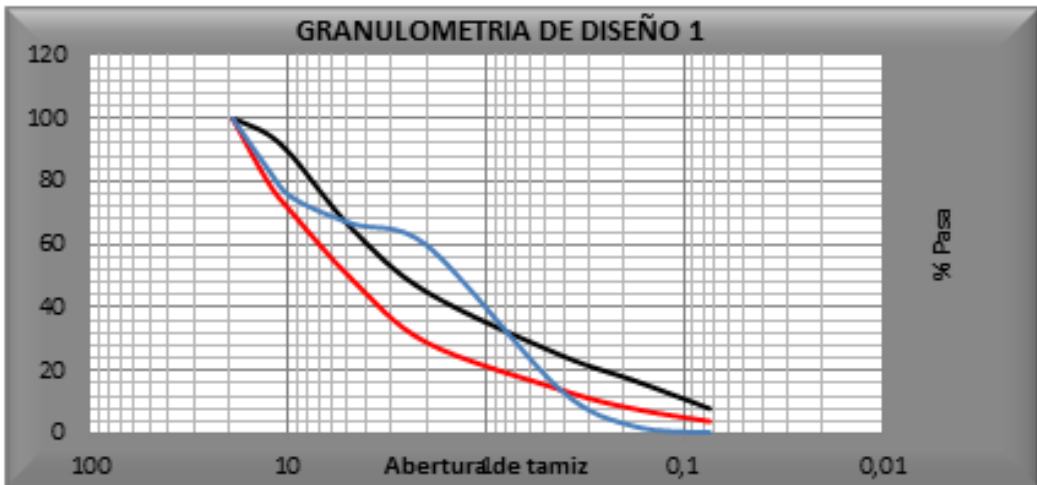
Anexo 8. Granulometría para diseño de mezcla asfáltica 70%grueso – 30%fino #2

 <p>Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA</p>	<p>N° Ensayo 2</p>	<p>Anexo 8</p>																																																							
	<p>Fecha de ensayo 11 mayo 2014</p>																																																								
	<p>Directora proyecto Maria Serrano Guzmán</p>																																																								
<p>Estudiantes Sergio Andrés Sánchez Otálora</p>		<p>ID 000167157</p>																																																							
<p>Nombre del ensayo Granulometría para diseño de mezcla asfáltica 70%G-30%F</p>		<p>Norma INV.E-213</p>																																																							
<p>Datos tomados</p>																																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tamiz</th> <th>Peso retenido</th> <th>% Peso retenido</th> <th>%Retenido acumulado</th> <th>% Pasa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3/4"</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>1/2"</td> <td>570,99</td> <td>14,27</td> <td>14,27</td> <td>85,73</td> </tr> <tr> <td>3/8"</td> <td>384,46</td> <td>9,61</td> <td>23,89</td> <td>76,11</td> </tr> <tr> <td>Nº 4</td> <td>323,84</td> <td>8,10</td> <td>31,98</td> <td>68,02</td> </tr> <tr> <td>Nº 10</td> <td>288,68</td> <td>7,22</td> <td>39,20</td> <td>60,80</td> </tr> <tr> <td>Nº40</td> <td>1830,69</td> <td>45,77</td> <td>84,97</td> <td>15,03</td> </tr> <tr> <td>N80</td> <td>473,84</td> <td>11,85</td> <td>96,81</td> <td>3,19</td> </tr> <tr> <td>N200</td> <td>104,3</td> <td>2,61</td> <td>99,42</td> <td>0,58</td> </tr> <tr> <td>PASA 200</td> <td>23,2</td> <td>0,58</td> <td>100,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td></td> <td>4000,00</td> <td>100,00</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Tamiz	Peso retenido	% Peso retenido	%Retenido acumulado	% Pasa	3/4"	0,00	0,00	0,00	100,00	1/2"	570,99	14,27	14,27	85,73	3/8"	384,46	9,61	23,89	76,11	Nº 4	323,84	8,10	31,98	68,02	Nº 10	288,68	7,22	39,20	60,80	Nº40	1830,69	45,77	84,97	15,03	N80	473,84	11,85	96,81	3,19	N200	104,3	2,61	99,42	0,58	PASA 200	23,2	0,58	100,00	0,00		4000,00	100,00		
Tamiz	Peso retenido	% Peso retenido	%Retenido acumulado	% Pasa																																																					
3/4"	0,00	0,00	0,00	100,00																																																					
1/2"	570,99	14,27	14,27	85,73																																																					
3/8"	384,46	9,61	23,89	76,11																																																					
Nº 4	323,84	8,10	31,98	68,02																																																					
Nº 10	288,68	7,22	39,20	60,80																																																					
Nº40	1830,69	45,77	84,97	15,03																																																					
N80	473,84	11,85	96,81	3,19																																																					
N200	104,3	2,61	99,42	0,58																																																					
PASA 200	23,2	0,58	100,00	0,00																																																					
	4000,00	100,00																																																							
<p>Grafica</p>																																																									
<p style="text-align: center;">GRANULOMETRIA DE DE DISEÑO 2</p>																																																									


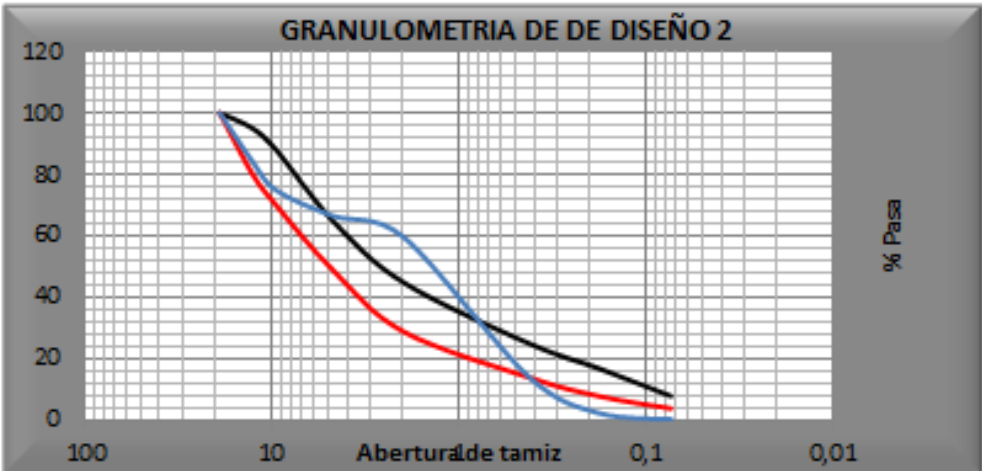
Anexo 9. Granulometría para diseño de mezcla asfáltica 70%grueso – 30%fino #3




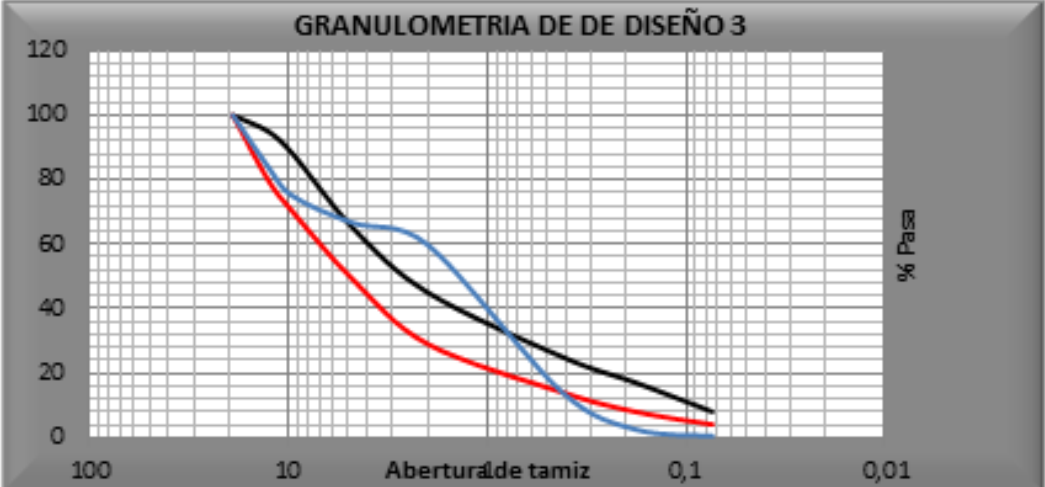
Anexo10. Granulometría para diseño de mezcla asfáltica 65%grueso – 35%fino #1

 <p>Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA</p>	N° Ensayo 1	Anexo 10																																																							
	Fecha de ensayo 11 mayo 2014																																																								
	Directora proyecto Maria Serrano Guzmán																																																								
Estudiantes Sergio Andrés Sánchez Otálora	ID 000167157																																																								
Nombre del ensayo Granulometría para diseño de mezcla asfáltica 65%G-35%F	Norma INV.E-213																																																								
Datos tomados																																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tamiz</th> <th>Peso retenido</th> <th>% Peso retenido</th> <th>%Retenido acumulado</th> <th>% Pasa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3/4"</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>1/2"</td> <td>507,00</td> <td>16,90</td> <td>16,90</td> <td>83,10</td> </tr> <tr> <td>3/8"</td> <td>315,20</td> <td>10,51</td> <td>27,41</td> <td>72,59</td> </tr> <tr> <td>Nº 4</td> <td>315</td> <td>10,50</td> <td>37,91</td> <td>62,09</td> </tr> <tr> <td>Nº 10</td> <td>253,81</td> <td>8,46</td> <td>46,37</td> <td>53,63</td> </tr> <tr> <td>Nº40</td> <td>1290,65</td> <td>43,02</td> <td>89,39</td> <td>10,61</td> </tr> <tr> <td>N80</td> <td>266,8</td> <td>8,89</td> <td>98,28</td> <td>1,72</td> </tr> <tr> <td>N200</td> <td>42,04</td> <td>1,40</td> <td>99,68</td> <td>0,32</td> </tr> <tr> <td>PASA 200</td> <td>9,5</td> <td>0,32</td> <td>100,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td></td> <td>3000,00</td> <td>100,00</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Tamiz	Peso retenido	% Peso retenido	%Retenido acumulado	% Pasa	3/4"	0,00	0,00	0,00	100,00	1/2"	507,00	16,90	16,90	83,10	3/8"	315,20	10,51	27,41	72,59	Nº 4	315	10,50	37,91	62,09	Nº 10	253,81	8,46	46,37	53,63	Nº40	1290,65	43,02	89,39	10,61	N80	266,8	8,89	98,28	1,72	N200	42,04	1,40	99,68	0,32	PASA 200	9,5	0,32	100,00	0,00		3000,00	100,00		
Tamiz	Peso retenido	% Peso retenido	%Retenido acumulado	% Pasa																																																					
3/4"	0,00	0,00	0,00	100,00																																																					
1/2"	507,00	16,90	16,90	83,10																																																					
3/8"	315,20	10,51	27,41	72,59																																																					
Nº 4	315	10,50	37,91	62,09																																																					
Nº 10	253,81	8,46	46,37	53,63																																																					
Nº40	1290,65	43,02	89,39	10,61																																																					
N80	266,8	8,89	98,28	1,72																																																					
N200	42,04	1,40	99,68	0,32																																																					
PASA 200	9,5	0,32	100,00	0,00																																																					
	3000,00	100,00																																																							
Grafica																																																									
																																																									


Anexo11. Granulometría para diseño de mezcla asfáltica 65%grueso – 35%fino #2

 Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA	N° Ensayo 2	Anexo 11			
	Fecha de ensayo 11 mayo 2014				
	Directora proyecto María Serrano Guzmán				
Estudiantes Sergio Andrés Sánchez Otálora	ID 000167157				
Nombre del ensayo Granulometría para diseño de mezcla asfáltica 65%G-35%F	Norma INV.E-213				
Datos tomados					
	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	1750,40	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		
Grafica					
 <p style="text-align: center;">GRANULOMETRIA DE DE DISEÑO 2</p>					


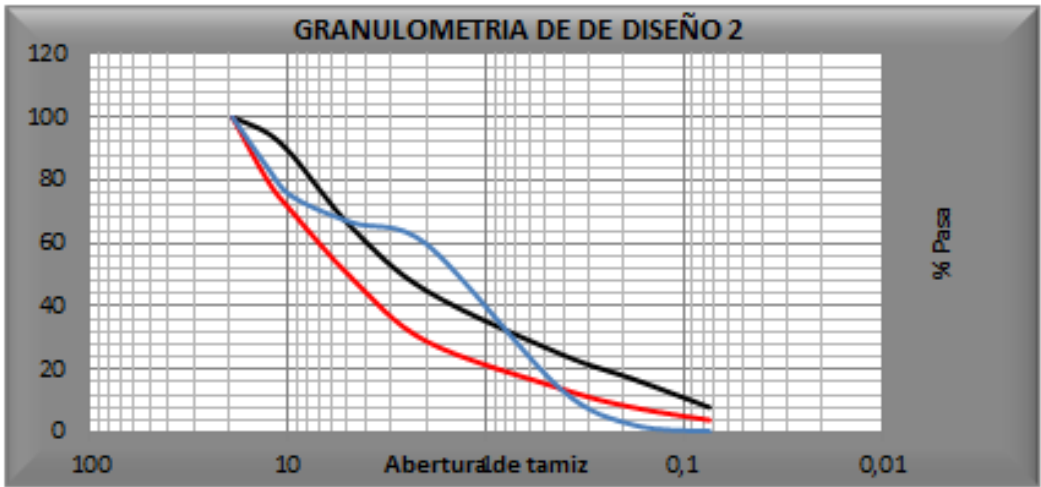
Anexo12. Granulometría para diseño de mezcla asfáltica 65%grueso – 35%fino #3

 <p>Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA</p>	<p>N° Ensayo 3</p>	<p>Anexo 12</p>																																																							
	<p>Fecha de ensayo 11 mayo 2014</p>																																																								
	<p>Directora proyecto María Serrano Guzmán</p>																																																								
<p>Estudiantes Sergio Andrés Sánchez Otálora</p>		<p>ID 000167157</p>																																																							
<p>Nombre del ensayo Granulometría para diseño de mezcla asfáltica 65%G-35%F</p>		<p>Norma INV.E-213</p>																																																							
<p>Datos tomados</p>																																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tamiz</th> <th>Peso retenido</th> <th>% Peso retenido</th> <th>%Retenido acumulado</th> <th>% Pasa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3/4"</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>1/2"</td> <td>906,22</td> <td>18,12</td> <td>18,12</td> <td>81,88</td> </tr> <tr> <td>3/8"</td> <td>454,73</td> <td>9,09</td> <td>27,22</td> <td>72,78</td> </tr> <tr> <td>Nº 4</td> <td>437,27</td> <td>8,75</td> <td>35,96</td> <td>64,04</td> </tr> <tr> <td>Nº 10</td> <td>462,74</td> <td>9,25</td> <td>45,22</td> <td>54,78</td> </tr> <tr> <td>Nº40</td> <td>2225,45</td> <td>44,51</td> <td>89,73</td> <td>10,27</td> </tr> <tr> <td>N80</td> <td>418,63</td> <td>8,37</td> <td>98,10</td> <td>1,90</td> </tr> <tr> <td>N200</td> <td>75,75</td> <td>1,52</td> <td>99,62</td> <td>0,38</td> </tr> <tr> <td>PASA 200</td> <td>19,21</td> <td>0,38</td> <td>100,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td></td> <td>5000,00</td> <td>100,00</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Tamiz	Peso retenido	% Peso retenido	%Retenido acumulado	% Pasa	3/4"	0,00	0,00	0,00	100,00	1/2"	906,22	18,12	18,12	81,88	3/8"	454,73	9,09	27,22	72,78	Nº 4	437,27	8,75	35,96	64,04	Nº 10	462,74	9,25	45,22	54,78	Nº40	2225,45	44,51	89,73	10,27	N80	418,63	8,37	98,10	1,90	N200	75,75	1,52	99,62	0,38	PASA 200	19,21	0,38	100,00	0,00		5000,00	100,00		
Tamiz	Peso retenido	% Peso retenido	%Retenido acumulado	% Pasa																																																					
3/4"	0,00	0,00	0,00	100,00																																																					
1/2"	906,22	18,12	18,12	81,88																																																					
3/8"	454,73	9,09	27,22	72,78																																																					
Nº 4	437,27	8,75	35,96	64,04																																																					
Nº 10	462,74	9,25	45,22	54,78																																																					
Nº40	2225,45	44,51	89,73	10,27																																																					
N80	418,63	8,37	98,10	1,90																																																					
N200	75,75	1,52	99,62	0,38																																																					
PASA 200	19,21	0,38	100,00	0,00																																																					
	5000,00	100,00																																																							
<p>Grafica</p>																																																									
																																																									


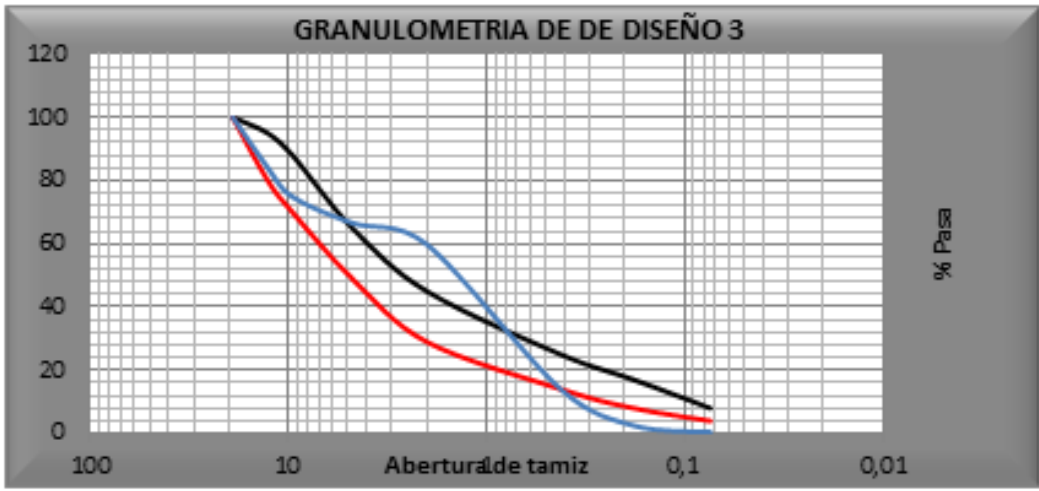
Anexo13. Granulometría para diseño de mezcla asfáltica 75%grueso – 25%fino #1

 <p>Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA</p>	N° Ensayo 1	Anexo 13																																																							
	Fecha de ensayo 11 mayo 2014																																																								
	Directora de proyecto María Fernanda Serrano																																																								
Estudiantes Sergio Andrés Sánchez Otálora	ID 000167157																																																								
Nombre del ensayo Granulometría para diseño de mezcla asfáltica 75%G-25%F	Norma INV.E-213																																																								
Datos tomados																																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tamiz</th> <th>Peso retenido</th> <th>% Peso retenido</th> <th>%Retenido acumulado</th> <th>% Pasa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>1/2"</td> <td>503,02</td> <td>16,77</td> <td>16,77</td> <td>83,23</td> </tr> <tr> <td>3/8"</td> <td>180,98</td> <td>6,03</td> <td>22,80</td> <td>77,20</td> </tr> <tr> <td>Nº 4</td> <td>222,23</td> <td>7,41</td> <td>30,21</td> <td>69,79</td> </tr> <tr> <td>Nº 10</td> <td>227,43</td> <td>7,58</td> <td>37,79</td> <td>62,21</td> </tr> <tr> <td>Nº40</td> <td>1472,60</td> <td>49,09</td> <td>86,88</td> <td>13,12</td> </tr> <tr> <td>N80</td> <td>306,19</td> <td>10,21</td> <td>97,08</td> <td>2,92</td> </tr> <tr> <td>N200</td> <td>77,73</td> <td>2,59</td> <td>99,67</td> <td>0,33</td> </tr> <tr> <td>PASA 200</td> <td>9,76</td> <td>0,33</td> <td>100,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td></td> <td>3000,00</td> <td>100,00</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			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	1472,60	49,09	86,88	13,12	N80	306,19	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		
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	1472,60	49,09	86,88	13,12																																																					
N80	306,19	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																																																							
Grafica																																																									
<p style="text-align: center;">GRANULOMETRIA DE DE DISEÑO 1</p>																																																									


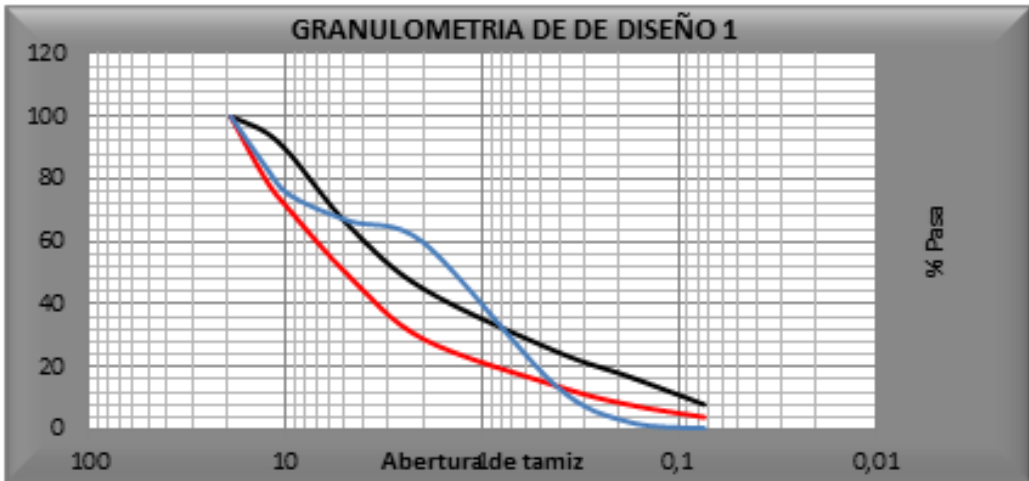
Anexo14. Granulometría para diseño de mezcla asfáltica 75%grueso – 25%fino #2

 <p>Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA</p>	<p>N° Ensayo 2</p>	<p>Anexo 14</p>																																																							
	<p>Fecha de ensayo 11 mayo 2014</p>																																																								
	<p>Directora proyecto Maria Serrano Guzmán</p>																																																								
<p>Estudiantes Sergio Andrés Sánchez Otálora</p>		<p>ID 000167157</p>																																																							
<p>Nombre del ensayo Granulometría para diseño de mezcla asfáltica 75%G-25%F</p>		<p>Norma INV.E-213</p>																																																							
<p>Datos tomados</p>																																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tamiz</th> <th>Peso retenido</th> <th>% Peso retenido</th> <th>%Retenido acumulado</th> <th>% Pasa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>1/2"</td> <td>531,70</td> <td>13,29</td> <td>13,29</td> <td>86,71</td> </tr> <tr> <td>3/8"</td> <td>350,28</td> <td>8,76</td> <td>22,05</td> <td>77,95</td> </tr> <tr> <td>Nº 4</td> <td>284,94</td> <td>7,12</td> <td>29,17</td> <td>70,83</td> </tr> <tr> <td>Nº 10</td> <td>271,39</td> <td>6,78</td> <td>35,96</td> <td>64,04</td> </tr> <tr> <td>Nº40</td> <td>1967,20</td> <td>49,18</td> <td>85,14</td> <td>14,86</td> </tr> <tr> <td>N80</td> <td>498,12</td> <td>12,45</td> <td>97,59</td> <td>2,41</td> </tr> <tr> <td>N200</td> <td>77,52</td> <td>1,94</td> <td>99,53</td> <td>0,47</td> </tr> <tr> <td>PASA 200</td> <td>18,84</td> <td>0,47</td> <td>100,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td></td> <td>4000,00</td> <td>100,00</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Tamiz	Peso retenido	% Peso retenido	%Retenido acumulado	% Pasa		0,00	0,00	0,00	100,00	1/2"	531,70	13,29	13,29	86,71	3/8"	350,28	8,76	22,05	77,95	Nº 4	284,94	7,12	29,17	70,83	Nº 10	271,39	6,78	35,96	64,04	Nº40	1967,20	49,18	85,14	14,86	N80	498,12	12,45	97,59	2,41	N200	77,52	1,94	99,53	0,47	PASA 200	18,84	0,47	100,00	0,00		4000,00	100,00		
Tamiz	Peso retenido	% Peso retenido	%Retenido acumulado	% Pasa																																																					
	0,00	0,00	0,00	100,00																																																					
1/2"	531,70	13,29	13,29	86,71																																																					
3/8"	350,28	8,76	22,05	77,95																																																					
Nº 4	284,94	7,12	29,17	70,83																																																					
Nº 10	271,39	6,78	35,96	64,04																																																					
Nº40	1967,20	49,18	85,14	14,86																																																					
N80	498,12	12,45	97,59	2,41																																																					
N200	77,52	1,94	99,53	0,47																																																					
PASA 200	18,84	0,47	100,00	0,00																																																					
	4000,00	100,00																																																							
<p>Grafica</p>																																																									
 <p style="text-align: center;">GRANULOMETRIA DE DE DISEÑO 2</p>																																																									


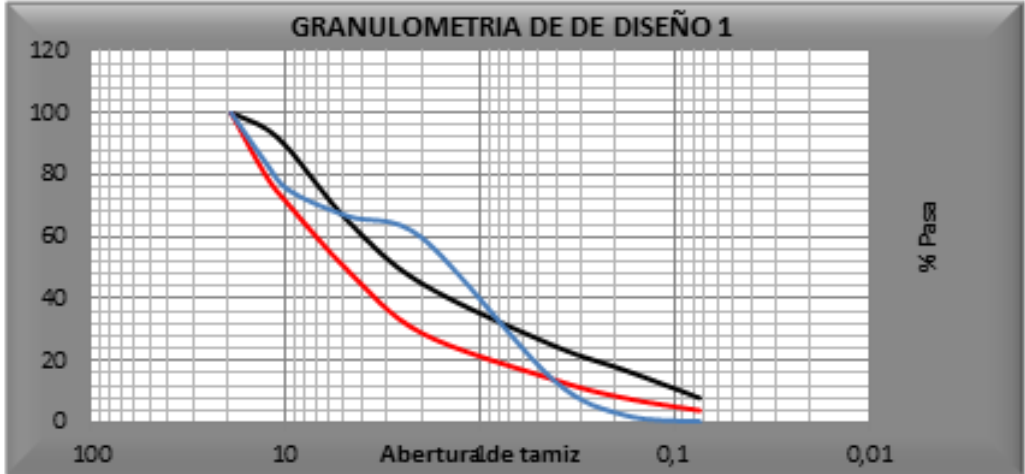
Anexo15. Granulometría para diseño de mezcla asfáltica 75%grueso – 25%fino #3

 <p>Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA</p>	N° Ensayo 3	Anexo 15																																																							
	Fecha de ensayo 11 mayo 2014																																																								
	Directora proyecto Maria Serrano Guzmán																																																								
Estudiantes Sergio Andrés Sánchez Otálora	ID 000167157																																																								
Nombre del ensayo Granulometría para diseño de mezcla asfáltica 75%G-25%F	Norma INV.E-213																																																								
Datos tomados																																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tamiz</th> <th>Peso retenido</th> <th>% Peso retenido</th> <th>%Retenido acumulado</th> <th>% Pasa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3/4"</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>1/2"</td> <td>868,19</td> <td>17,36</td> <td>17,36</td> <td>82,64</td> </tr> <tr> <td>3/8"</td> <td>278,65</td> <td>5,57</td> <td>22,94</td> <td>77,06</td> </tr> <tr> <td>Nº 4</td> <td>343,76</td> <td>6,88</td> <td>29,81</td> <td>70,19</td> </tr> <tr> <td>Nº 10</td> <td>526,36</td> <td>10,53</td> <td>40,34</td> <td>59,66</td> </tr> <tr> <td>Nº40</td> <td>2482,18</td> <td>49,64</td> <td>89,98</td> <td>10,02</td> </tr> <tr> <td>N80</td> <td>421,64</td> <td>8,43</td> <td>98,42</td> <td>1,58</td> </tr> <tr> <td>N200</td> <td>65,04</td> <td>1,30</td> <td>99,72</td> <td>0,28</td> </tr> <tr> <td>PASA 200</td> <td>14,17</td> <td>0,28</td> <td>100,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td></td> <td>5000,00</td> <td>100,00</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Tamiz	Peso retenido	% Peso retenido	%Retenido acumulado	% Pasa	3/4"	0,00	0,00	0,00	100,00	1/2"	868,19	17,36	17,36	82,64	3/8"	278,65	5,57	22,94	77,06	Nº 4	343,76	6,88	29,81	70,19	Nº 10	526,36	10,53	40,34	59,66	Nº40	2482,18	49,64	89,98	10,02	N80	421,64	8,43	98,42	1,58	N200	65,04	1,30	99,72	0,28	PASA 200	14,17	0,28	100,00	0,00		5000,00	100,00		
Tamiz	Peso retenido	% Peso retenido	%Retenido acumulado	% Pasa																																																					
3/4"	0,00	0,00	0,00	100,00																																																					
1/2"	868,19	17,36	17,36	82,64																																																					
3/8"	278,65	5,57	22,94	77,06																																																					
Nº 4	343,76	6,88	29,81	70,19																																																					
Nº 10	526,36	10,53	40,34	59,66																																																					
Nº40	2482,18	49,64	89,98	10,02																																																					
N80	421,64	8,43	98,42	1,58																																																					
N200	65,04	1,30	99,72	0,28																																																					
PASA 200	14,17	0,28	100,00	0,00																																																					
	5000,00	100,00																																																							
Grafica																																																									
																																																									


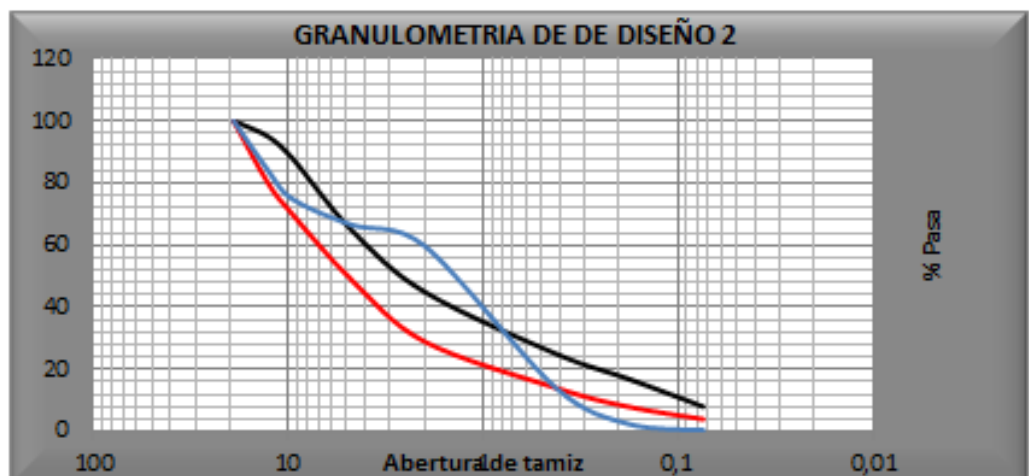
Anexo16. Granulometría para diseño de mezcla asfáltica 60%grueso – 40%fino #1

 Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA	N° Ensayo 1	Anexo 16																																																							
	Fecha de ensayo 11 mayo 2014																																																								
	Directora proyecto Maria Serrano Guzmán																																																								
Estudiantes Sergio Andrés Sánchez Otálora	ID 000167157																																																								
Nombre del ensayo Granulometría para diseño de mezcla asfáltica 60%G-40%F	Norma INV.E-213																																																								
Datos tomados																																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tamiz</th> <th>Peso retenido</th> <th>% Peso retenido</th> <th>%Retenido acumulado</th> <th>% Pasa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3/4"</td> <td>0</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>1/2"</td> <td>742,336</td> <td>24,48</td> <td>24,48</td> <td>75,52</td> </tr> <tr> <td>3/8"</td> <td>174,64</td> <td>5,76</td> <td>30,24</td> <td>69,76</td> </tr> <tr> <td>Nº 4</td> <td>409,97</td> <td>13,52</td> <td>43,75</td> <td>56,25</td> </tr> <tr> <td>Nº 10</td> <td>179,32</td> <td>5,91</td> <td>49,67</td> <td>50,33</td> </tr> <tr> <td>Nº40</td> <td>1190,83</td> <td>39,27</td> <td>88,93</td> <td>11,07</td> </tr> <tr> <td>N80</td> <td>286,43</td> <td>9,44</td> <td>98,38</td> <td>1,62</td> </tr> <tr> <td>N200</td> <td>39,46</td> <td>1,30</td> <td>99,68</td> <td>0,32</td> </tr> <tr> <td>PASA 200</td> <td>9,81</td> <td>0,32</td> <td>100,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td></td> <td>3032,81</td> <td>100,00</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			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		
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																																																							
Grafica																																																									
 <p style="text-align: center;">GRANULOMETRIA DE DE DISEÑO 1</p>																																																									

Anexo17. Granulometría para diseño de mezcla asfáltica 65%grueso – 35%fino modificada con ceniza #1

 <p>Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA</p>	N° Ensayo 1	Anexo 17																																																								
	Fecha de ensayo 11 mayo 2014																																																									
	Directora proyecto Maria Serrano Guzmán																																																									
Estudiantes Sergio Andrés Sánchez Otálora	ID 000167157																																																									
Nombre del ensayo Granulometría para diseño de mezcla asfáltica 65G-35F Modificada con ceniza	Norma INV.E-213																																																									
Datos tomados																																																										
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tamiz</th> <th>Peso retenido</th> <th>% Peso retenido</th> <th>%Retenido acumulado</th> <th>% Pasa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3/4"</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>1/2"</td> <td>611,88</td> <td>20,40</td> <td>20,40</td> <td>79,60</td> </tr> <tr> <td>3/8"</td> <td>182,12</td> <td>6,07</td> <td>26,47</td> <td>73,53</td> </tr> <tr> <td>Nº 4</td> <td>298,07</td> <td>9,94</td> <td>36,40</td> <td>63,60</td> </tr> <tr> <td>Nº 10</td> <td>183,14</td> <td>6,10</td> <td>42,51</td> <td>57,49</td> </tr> <tr> <td>Nº40</td> <td>1197,97</td> <td>39,93</td> <td>82,44</td> <td>17,56</td> </tr> <tr> <td>N80</td> <td>316,67</td> <td>10,56</td> <td>93,00</td> <td>7,00</td> </tr> <tr> <td>N200</td> <td>192,49</td> <td>6,42</td> <td>99,41</td> <td>0,59</td> </tr> <tr> <td>PASA 200</td> <td>17,66</td> <td>0,59</td> <td>100,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td></td> <td>3000,00</td> <td>100,00</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Tamiz	Peso retenido	% Peso retenido	%Retenido acumulado	% Pasa	3/4"	0,00	0,00	0,00	100,00	1/2"	611,88	20,40	20,40	79,60	3/8"	182,12	6,07	26,47	73,53	Nº 4	298,07	9,94	36,40	63,60	Nº 10	183,14	6,10	42,51	57,49	Nº40	1197,97	39,93	82,44	17,56	N80	316,67	10,56	93,00	7,00	N200	192,49	6,42	99,41	0,59	PASA 200	17,66	0,59	100,00	0,00		3000,00	100,00				
Tamiz	Peso retenido	% Peso retenido	%Retenido acumulado	% Pasa																																																						
3/4"	0,00	0,00	0,00	100,00																																																						
1/2"	611,88	20,40	20,40	79,60																																																						
3/8"	182,12	6,07	26,47	73,53																																																						
Nº 4	298,07	9,94	36,40	63,60																																																						
Nº 10	183,14	6,10	42,51	57,49																																																						
Nº40	1197,97	39,93	82,44	17,56																																																						
N80	316,67	10,56	93,00	7,00																																																						
N200	192,49	6,42	99,41	0,59																																																						
PASA 200	17,66	0,59	100,00	0,00																																																						
	3000,00	100,00																																																								
Grafica																																																										
																																																										

Anexo18. Granulometría para diseño de mezcla asfáltica 65%grueso – 35%fino modificada con ceniza #2

 <p>Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA</p>	N° Ensayo 2	Anexo 18			
	Fecha de ensayo 11 mayo 2014				
	Directora proyecto María Serrano Guzmán				
Estudiantes Sergio Andrés Sánchez Otálora	ID 000167157				
Nombre del ensayo Granulometría para diseño de mezcla asfáltica 65G-35F Modificada con ceniza	Norma INV.E-213				
Datos tomados					
	Tamiz	Peso retenido	% Peso retenido	%Retenido acumulado	% Pasa
	3/4"	0,00	0,00	0,00	100,00
	1/2"	411,96	20,60	20,60	79,40
	3/8"	144,97	7,25	27,85	72,15
	Nº 4	186,04	9,30	37,15	62,85
	Nº 10	145,79	7,29	44,44	55,56
	Nº40	818,88	40,94	85,38	14,62
	N80	201,1	10,06	95,44	4,56
	N200	83,1	4,16	99,59	0,41
	PASA 200	8,16	0,41	100,00	0,00
		2000,00	100,00		
Grafica					
					

Anexo19. Gravedad específica y absorción de los agregados finos #1

 <p>Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA</p>	N° Ensayo 1	Anexo 19															
	Fecha de ensayo 11 mayo 2014																
	Directora proyecto María Serrano Guzmán																
Estudiantes Sergio Andrés Sánchez Otálora	ID 000167157																
Nombre del ensayo Gravedad específica y absorción de los agregados finos	Norma INV.E-223																
Datos tomados																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tipo de peso</th> <th>Masa(g)</th> <th>Nomenclatura</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Arena sss</td> <td>500</td> <td>S</td> </tr> <tr> <td>Pic+agua</td> <td>618.15</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>Pic+agua +arena</td> <td>927.64</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>Arena seca</td> <td>495.40</td> <td>A</td> </tr> </tbody> </table>			Tipo de peso	Masa(g)	Nomenclatura	Arena sss	500	S	Pic+agua	618.15	B	Pic+agua +arena	927.64	C	Arena seca	495.40	A
Tipo de peso	Masa(g)	Nomenclatura															
Arena sss	500	S															
Pic+agua	618.15	B															
Pic+agua +arena	927.64	C															
Arena seca	495.40	A															
Cálculos																	
<p>Gravedad específica aparente $=((A/(B+A-C)))= 2.66 \text{ g/cm}^3$</p> <p>Gravedad específica Bulk S.S.S $=((S/(B+S-C)))=2.62 \text{ g/cm}^3$</p> <p>Gravedad específica Bulk $=((A/(B+S-C)))=2.60 \text{ g/cm}^3$</p> <p>%Absorción $=((S-A)/A)*100=0.92\%$</p>																	


Anexo20. Gravedad específica y absorción de los agregados finos #2

 <p>Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA</p>	N° Ensayo 2	Anexo 20															
	Fecha de ensayo 11 mayo 2014																
	Directora proyecto María Serrano Guzmán																
Estudiantes Sergio Andrés Sánchez Otálora	ID 000167157																
Nombre del ensayo Gravedad específica y absorción de los agregados finos	Norma INV.E-223																
Datos tomados																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tipo de peso</th> <th>Masa(g)</th> <th>Nomenclatura</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Arena sss</td> <td>500</td> <td>S</td> </tr> <tr> <td>Pic+agua</td> <td>619.32</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>Pic+agua +arena</td> <td>929.12</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>Arena seca</td> <td>494.30</td> <td>A</td> </tr> </tbody> </table>			Tipo de peso	Masa(g)	Nomenclatura	Arena sss	500	S	Pic+agua	619.32	B	Pic+agua +arena	929.12	C	Arena seca	494.30	A
Tipo de peso	Masa(g)	Nomenclatura															
Arena sss	500	S															
Pic+agua	619.32	B															
Pic+agua +arena	929.12	C															
Arena seca	494.30	A															
Cálculos																	
<p>Gravedad específica aparente $=((A/(B+A-C)))= 2.67\text{g/cm}^3$</p> <p>Gravedad específica Bulk S.S.S $=((S/(B+S-C)))=2.63\text{ g/cm}^3$</p> <p>Gravedad específica Bulk $=((A/(B+S-C)))=2.59\text{ g/cm}^3$</p> <p>%Absorción $=((S-A)/A)*100=1.15\%$</p>																	

Anexo21. Gravedad específica y absorción de los agregados finos #3

 <p>Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA</p>	N° Ensayo 3	Anexo 21															
	Fecha de ensayo 11 mayo 2014																
	Directora proyecto María Serrano Guzmán																
Estudiantes Sergio Andrés Sánchez Otálora	ID 000167157																
Nombre del ensayo Gravedad específica y absorción de los agregados finos	Norma INV.E-223																
Datos tomados																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tipo de peso</th> <th>Masa(g)</th> <th>Nomenclatura</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Arena sss</td> <td>500</td> <td>S</td> </tr> <tr> <td>Pic+agua</td> <td>618.97</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>Pic+agua +arena</td> <td>928.12</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>Arena seca</td> <td>494.65</td> <td>A</td> </tr> </tbody> </table>			Tipo de peso	Masa(g)	Nomenclatura	Arena sss	500	S	Pic+agua	618.97	B	Pic+agua +arena	928.12	C	Arena seca	494.65	A
Tipo de peso	Masa(g)	Nomenclatura															
Arena sss	500	S															
Pic+agua	618.97	B															
Pic+agua +arena	928.12	C															
Arena seca	494.65	A															
Cálculos																	
<p>Gravedad específica aparente $=((A/(B+A-C)))= 2.67\text{g/cm}^3$</p> <p>Gravedad específica Bulk S.S.S $=((S/(B+S-C)))=2.63 \text{ g/cm}^3$</p> <p>Gravedad específica Bulk $=((A/(B+S-C)))=2.60 \text{ g/cm}^3$</p> <p>%Absorción $=((S-A)/A)*100=1.08\%$</p>																	


Anexo22. Gravedad específica y absorción de los agregados gruesos #1

 <p>Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA</p>	N° Ensayo 1	Anexo 22												
	Fecha de ensayo 11 mayo 2014													
	Directora proyecto María Serrano Guzmán													
Estudiantes Sergio Andrés Sánchez Otálora	ID 000167157													
Nombre del ensayo Gravedad específica y absorción de los agregados gruesos	Norma INV.E-223													
Datos tomados														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tipo de peso</th> <th>Masa(g)</th> <th>Nomenclatura</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Masa seca</td> <td>3327,35</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>Masa saturado</td> <td>3343.24</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>Masa sumergida</td> <td>2068.83</td> <td>C</td> </tr> </tbody> </table>			Tipo de peso	Masa(g)	Nomenclatura	Masa seca	3327,35	A	Masa saturado	3343.24	B	Masa sumergida	2068.83	C
Tipo de peso	Masa(g)	Nomenclatura												
Masa seca	3327,35	A												
Masa saturado	3343.24	B												
Masa sumergida	2068.83	C												
Cálculos														
<p>Gravedad específica aparente=$((A/(A-C))=2.64 \text{ g/cm}^3$</p> <p>Gravedad específica Bulk=$((B/(B-C))=2.62 \text{ g/cm}^3$</p> <p>Gravedad específica Bulk=$((A/(B-C))=2.61 \text{ g/cm}^3$</p> <p>%Absorción= $((B-A)/A)*100=0.47\%$</p>														


Anexo23. Gravedad específica y absorción de los agregados gruesos #2

 <p>Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA</p>	N° Ensayo 2	Anexo 23												
	Fecha de ensayo 11 mayo 2014													
	Directora proyecto María Serrano Guzmán													
Estudiantes Sergio Andrés Sánchez Otálora	ID 000167157													
Nombre del ensayo Gravedad específica y absorción de los agregados gruesos	Norma INV.E-223													
Datos tomados														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tipo de peso</th> <th>Masa(g)</th> <th>Nomenclatura</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Masa seca</td> <td>3460,83</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>Masa saturado</td> <td>3479.64</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>Masa sumergida</td> <td>2139.04</td> <td>C</td> </tr> </tbody> </table>			Tipo de peso	Masa(g)	Nomenclatura	Masa seca	3460,83	A	Masa saturado	3479.64	B	Masa sumergida	2139.04	C
Tipo de peso	Masa(g)	Nomenclatura												
Masa seca	3460,83	A												
Masa saturado	3479.64	B												
Masa sumergida	2139.04	C												
Cálculos														
<p>Gravedad específica aparente=$((A/(A-C))=2.61 \text{ g/cm}^3$</p> <p>Gravedad específica Bulk=$((B/(B-C))=2.59 \text{ g/cm}^3$</p> <p>Gravedad específica Bulk=$((A/(B-C))=2.58 \text{ g/cm}^3$</p> <p>%Absorción= $((B-A)/A)*100=0.54\%$</p>														


Anexo24. Gravedad específica y absorción de los agregados gruesos #3

 <p>Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA</p>	N° Ensayo 3	Anexo 24												
	Fecha de ensayo 11 mayo 2014													
	Directora proyecto María Serrano Guzmán													
Estudiantes Sergio Andrés Sánchez Otálora	ID 000167157													
Nombre del ensayo Gravedad específica y absorción de los agregados gruesos	Norma INV.E-223													
Datos tomados														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tipo de peso</th> <th>Masa(g)</th> <th>Nomenclatura</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Masa seca</td> <td>2574,61</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>Masa saturado</td> <td>2587.81</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>Masa sumergida</td> <td>1574.60</td> <td>C</td> </tr> </tbody> </table>			Tipo de peso	Masa(g)	Nomenclatura	Masa seca	2574,61	A	Masa saturado	2587.81	B	Masa sumergida	1574.60	C
Tipo de peso	Masa(g)	Nomenclatura												
Masa seca	2574,61	A												
Masa saturado	2587.81	B												
Masa sumergida	1574.60	C												
Cálculos														
<p>Gravedad específica aparente=$((A/(A-C))=2.64 \text{ g/cm}^3$</p> <p>Gravedad específica Bulk=$((B/(B-C))=2.49 \text{ g/cm}^3$</p> <p>Gravedad específica Bulk=$((A/(B-C))=2.48 \text{ g/cm}^3$</p> <p>%Absorción= $((B-A)/A)*100=0.51\%$</p>														


Anexo 25. Resistencia al desgaste de los agregados con tamaños menores 1 ½” por medio de la máquina de los ángeles

	N° Ensayo 1;2;3		Anexo 25												
	Fecha de ensayo 11 mayo 2014														
Directora proyecto María Guzmán		Serrano													
Estudiantes Sergio Andrés Sánchez Otálora		ID 000167157													
Nombre del ensayo Resistencia al desgaste de los agregados con tamaños menores 1 ½” por medio de la máquina de los ángeles		Norma INV.E- 218													
Datos tomados		Cálculos													
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Tamaño de la fracción</th> <th>Masa(g)</th> </tr> <tr> <th>Pasa</th> <th>Retenida</th> <td></td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3/4</td> <td>1/2</td> <td>2500.01</td> </tr> <tr> <td>1/2</td> <td>3/8</td> <td>2500.07</td> </tr> </tbody> </table>		Tamaño de la fracción		Masa(g)	Pasa	Retenida		3/4	1/2	2500.01	1/2	3/8	2500.07	P. inicial de la muestra= 5008,7(g) P. después de lavado= 3700(g) %De desgaste= $((P_i - P_f) / P_i) * 100 =$ 26.13 %	
Tamaño de la fracción		Masa(g)													
Pasa	Retenida														
3/4	1/2	2500.01													
1/2	3/8	2500.07													
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Tamaño de la fracción</th> <th>Masa(g)</th> </tr> <tr> <th>Pasa</th> <th>Retenida</th> <td></td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3/4</td> <td>1/2</td> <td>2500.03</td> </tr> <tr> <td>1/2</td> <td>3/8</td> <td>2500.08</td> </tr> </tbody> </table>		Tamaño de la fracción		Masa(g)	Pasa	Retenida		3/4	1/2	2500.03	1/2	3/8	2500.08	P. inicial de la muestra= 5007,3 (g) P. después de lavado= 3720,4 (g) %De desgaste= $((P_i - P_f) / P_i) * 100 =$ 25,70 %	
Tamaño de la fracción		Masa(g)													
Pasa	Retenida														
3/4	1/2	2500.03													
1/2	3/8	2500.08													
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Tamaño de la fracción</th> <th>Masa(g)</th> </tr> <tr> <th>Pasa</th> <th>Retenida</th> <td></td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3/4</td> <td>1/2</td> <td>2500.02</td> </tr> <tr> <td>1/2</td> <td>3/8</td> <td>2500.05</td> </tr> </tbody> </table>		Tamaño de la fracción		Masa(g)	Pasa	Retenida		3/4	1/2	2500.02	1/2	3/8	2500.05	P. inicial de la muestra= 5006,2 (g) P. después de lavado= 3728,8 (g) %De desgaste= $((P_i - P_f) / P_i) * 100 =$ 25,52 %	
Tamaño de la fracción		Masa(g)													
Pasa	Retenida														
3/4	1/2	2500.02													
1/2	3/8	2500.05													


Anexo 26. Índice de alargamiento y aplanamiento #1

 <p style="font-size: 24px; font-weight: bold; margin: 0;">Universidad Pontificia Bolivariana</p> <p style="font-size: 12px; font-weight: normal; margin: 0;">SECCIONAL BUCARAMANGA</p>	Anexo 26 Fecha de ensayo 11 mayo 2014 Directora proyecto María Serrano Guzmán																																																								
	Estudiantes Sergio Andrés Sánchez Otálora	ID 000167157																																																							
Nombre del ensayo Índice de alargamiento y aplanamiento	Norma INV.E-230																																																								
Datos tomados																																																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">Tamiz</th> <th style="width: 15%;">Peso Retenido gr</th> <th style="width: 15%;">Aplanamiento</th> <th style="width: 15%;">Alargamiento</th> <th style="width: 15%;"></th> <th style="width: 15%;"></th> <th style="width: 15%;"></th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Wpasa(Wapi)gr</td> <td>Wretenido(Wail)gr</td> <td>I. Aplanamiento</td> <td>I. Alargamiento</td> <td>% Retenido</td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 1/2"-1"</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1"-3/4"</td> <td>73,3</td> <td>26,1</td> <td>0</td> <td>35,61</td> <td>0,00</td> <td>4,78</td> </tr> <tr> <td>3/4"-1/2"</td> <td>757,1</td> <td>128,3</td> <td>115,4</td> <td>16,95</td> <td>15,24</td> <td>49,41</td> </tr> <tr> <td>1/2"-3/8"</td> <td>460,4</td> <td>58,6</td> <td>109,5</td> <td>12,73</td> <td>23,78</td> <td>30,04</td> </tr> <tr> <td>3/8"-No 4</td> <td>232,8</td> <td>85,2</td> <td>82,8</td> <td>36,60</td> <td>35,57</td> <td>15,19</td> </tr> <tr> <td>Sumatorias</td> <td>1523,6</td> <td>298,2</td> <td>307,7</td> <td></td> <td></td> <td>99,43</td> </tr> </tbody> </table>		Tamiz	Peso Retenido gr	Aplanamiento	Alargamiento						Wpasa(Wapi)gr	Wretenido(Wail)gr	I. Aplanamiento	I. Alargamiento	% Retenido	1 1/2"-1"	0						1"-3/4"	73,3	26,1	0	35,61	0,00	4,78	3/4"-1/2"	757,1	128,3	115,4	16,95	15,24	49,41	1/2"-3/8"	460,4	58,6	109,5	12,73	23,78	30,04	3/8"-No 4	232,8	85,2	82,8	36,60	35,57	15,19	Sumatorias	1523,6	298,2	307,7			99,43
Tamiz	Peso Retenido gr	Aplanamiento	Alargamiento																																																						
		Wpasa(Wapi)gr	Wretenido(Wail)gr	I. Aplanamiento	I. Alargamiento	% Retenido																																																			
1 1/2"-1"	0																																																								
1"-3/4"	73,3	26,1	0	35,61	0,00	4,78																																																			
3/4"-1/2"	757,1	128,3	115,4	16,95	15,24	49,41																																																			
1/2"-3/8"	460,4	58,6	109,5	12,73	23,78	30,04																																																			
3/8"-No 4	232,8	85,2	82,8	36,60	35,57	15,19																																																			
Sumatorias	1523,6	298,2	307,7			99,43																																																			
Cálculos																																																									
P. de la muestra= 1532,4 (g)																																																									
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="padding: 5px;">Promedio Ponderado Indices</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 5px;">I.Aplanamiento</td> <td style="padding: 5px; text-align: center;">19,57</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">I.Alargamiento</td> <td style="padding: 5px; text-align: center;">20,20</td> </tr> </tbody> </table>		Promedio Ponderado Indices		I.Aplanamiento	19,57	I.Alargamiento	20,20																																																		
Promedio Ponderado Indices																																																									
I.Aplanamiento	19,57																																																								
I.Alargamiento	20,20																																																								


Anexo 27. Índice de alargamiento y aplanamiento #2

 Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA		N° Ensayo 2	Anexo 27												
		Fecha de ensayo 11 mayo 2014													
		Directora proyecto María Serrano Guzmán													
Estudiantes Sergio Andrés Sánchez Otálora		ID 000167157													
Nombre del ensayo Índice de alargamiento y aplanamiento		Norma INV.E-230													
Datos tomados															
Tamiz	Peso Retenido gr	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									
Cálculos															
P. de la muestra= 1563,3 (g)															
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Promedio Ponderado Indices</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>I.Aplanamiento</td> <td>19,45</td> <td></td> </tr> <tr> <td>I.Alargamiento</td> <td>19,99</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>							Promedio Ponderado Indices			I.Aplanamiento	19,45		I.Alargamiento	19,99	
Promedio Ponderado Indices															
I.Aplanamiento	19,45														
I.Alargamiento	19,99														


Anexo 28. Índice de alargamiento y aplanamiento #3

 Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA		N° Ensayo 3	Anexo 28						
		Fecha de ensayo 11 mayo 2014							
		Directora proyecto María Serrano Guzmán							
Estudiantes Sergio Andrés Sánchez Otálora		ID 000167157							
Nombre del ensayo Índice de alargamiento y aplanamiento		Norma INV.E-230							
Datos tomados									
Tamiz	Peso Retenido gr	Aplanamiento Wpasa(Wapi)gr	Alargamiento Wretenido(Wail)gr	I. Aplanamiento	I. Alargamiento	% Retenido			
1 1/2"-1"	0								
1"-3/4"	109,1	11,7	0	10,72	0,00	7,16			
3/4"-1/2"	814,2	51,6	176,9	6,34	21,73	53,41			
1/2"-3/8"	293,9	36,2	53,7	12,32	18,27	19,28			
3/8"-No 4	307,3	107,2	120,7	34,88	39,28	20,16			
Sumatorias	1524,5	206,7	351,3			100,00			
Cálculos									
P. de la muestra=1524,6 (g)									
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Promedio Ponderado Indices</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>I.Aplanamiento</td> <td>13,56</td> </tr> <tr> <td>I.Alargamiento</td> <td>23,04</td> </tr> </tbody> </table>				Promedio Ponderado Indices		I.Aplanamiento	13,56	I.Alargamiento	23,04
Promedio Ponderado Indices									
I.Aplanamiento	13,56								
I.Alargamiento	23,04								


Anexo 29. Equivalente de arena

 <p>Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA</p>	N° Ensayo 1;2	Anexo 29																										
	Fecha de ensayo 11 mayo 2014																											
	Directora proyecto María Serrano Guzmán																											
Estudiantes Sergio Andrés Sánchez Otálora	ID 000167157																											
Nombre del ensayo Equivalente de arena	Norma INV.E-133																											
Datos tomados																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Material</th> <th># Ensayo</th> <th>Lectura en pulgadas</th> <th>Equivalente de arena</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>1</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Arena</td> <td></td> <td>3,3</td> <td rowspan="2">87%</td> </tr> <tr> <td>Arcilla</td> <td></td> <td>3,8</td> </tr> <tr> <td></td> <td>2</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Arena</td> <td></td> <td>3,2</td> <td rowspan="2">86%</td> </tr> <tr> <td>Arcilla</td> <td></td> <td>3,7</td> </tr> </tbody> </table>			Material	# Ensayo	Lectura en pulgadas	Equivalente de arena		1			Arena		3,3	87%	Arcilla		3,8		2			Arena		3,2	86%	Arcilla		3,7
Material	# Ensayo	Lectura en pulgadas	Equivalente de arena																									
	1																											
Arena		3,3	87%																									
Arcilla		3,8																										
	2																											
Arena		3,2	86%																									
Arcilla		3,7																										


Anexo 30. Penetración de materiales Bituminosos #1

	N° Ensayo 1	Anexo 30												
	Fecha de ensayo 11 mayo 2014													
	Directora proyecto María Serrano Guzmán													
Estudiantes Sergio Andrés Sánchez Otálora	ID 000167157													
Nombre del ensayo Penetración de materiales bituminosos	Norma INV.E-706													
Datos tomados														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>N° penetración</th> <th>Profundidad(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>62</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>61</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>63</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>62</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>63</td> </tr> </tbody> </table>			N° penetración	Profundidad(mm)	1	62	2	61	3	63	4	62	5	63
N° penetración	Profundidad(mm)													
1	62													
2	61													
3	63													
4	62													
5	63													
Cálculos														
$\text{Media} = \sum p_i / N^\circ . \text{Penetraciones} = 62.20\text{mm}$														


Anexo 31. Penetración de materiales Bituminosos #2

	N° Ensayo 2	Anexo 31												
	Fecha de ensayo 11 mayo 2014													
	Directora proyecto María Serrano Guzmán													
Estudiantes Sergio Andrés Sánchez Otálora	ID 000167157													
Nombre del ensayo Penetración de materiales bituminosos	Norma INV.E-706													
Datos tomados														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>N° penetración</th> <th>Profundidad(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>62</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>62</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>64</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>63</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>61</td> </tr> </tbody> </table>			N° penetración	Profundidad(mm)	1	62	2	62	3	64	4	63	5	61
N° penetración	Profundidad(mm)													
1	62													
2	62													
3	64													
4	63													
5	61													
Cálculos														
$\text{Media} = \sum p_i / N^\circ . \text{Penetraciones} = 62.40 \text{mm}$														


Anexo 32. Penetración de materiales Bituminosos #3

 <p>Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA</p>	N° Ensayo 3	Anexo 32												
	Fecha de ensayo 11 mayo 2014													
	Directora proyecto María Serrano Guzmán													
Estudiantes Sergio Andrés Sánchez Otálora	ID 000167157													
Nombre del ensayo Penetración de materiales bituminosos	Norma INV.E-706													
Datos tomados														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>N° penetración</th> <th>Profundidad(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>65</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>63</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>63</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>62</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>62</td> </tr> </tbody> </table>			N° penetración	Profundidad(mm)	1	65	2	63	3	63	4	62	5	62
N° penetración	Profundidad(mm)													
1	65													
2	63													
3	63													
4	62													
5	62													
Cálculos														
<p>Media=$\sum pi/N^\circ$.Penetraciones=63mm</p>														


Anexo 33. Punto de ignición y llama mediante la copa de Cleveland #1

 Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA	N° Ensayo 1	Anexo 33						
	Fecha de ensayo 11 mayo 2014							
	Directora proyecto María Serrano Guzmán							
Estudiantes Sergio Andrés Sánchez Otálora	ID 000167157							
Nombre del ensayo Punto de ignición y llama mediante la copa de Cleveland	Norma INV.E-709							
Datos tomados								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tipo ensayo</th> <th>Temperatura</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P. ignición</td> <td>172C°</td> </tr> <tr> <td>P. llama</td> <td>244C°</td> </tr> </tbody> </table>			Tipo ensayo	Temperatura	P. ignición	172C°	P. llama	244C°
Tipo ensayo	Temperatura							
P. ignición	172C°							
P. llama	244C°							


Anexo 34. Punto de ignición y llama mediante la copa de Cleveland #2

 <p>Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA</p>	N° Ensayo 2	Anexo 34						
	Fecha de ensayo 11 mayo 2014							
	Directora proyecto María Serrano Guzmán							
Estudiantes Sergio Andrés Sánchez Otálora	ID 000167157							
Nombre del ensayo Punto de ignición y llama mediante la copa de Cleveland	Norma INV.E-709							
Datos tomados								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tipo ensayo</th> <th>Temperatura</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P. ignición</td> <td>176C°</td> </tr> <tr> <td>P. llama</td> <td>250C°</td> </tr> </tbody> </table>			Tipo ensayo	Temperatura	P. ignición	176C°	P. llama	250C°
Tipo ensayo	Temperatura							
P. ignición	176C°							
P. llama	250C°							


Anexo 35. Punto de ignición y llama mediante la copa de Cleveland #3

 <p>Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA</p>	N° Ensayo 3	Anexo 35						
	Fecha de ensayo 11 mayo 2014							
	Directora proyecto María Serrano Guzmán							
Estudiantes Sergio Andrés Sánchez Otálora	ID 000167157							
Nombre del ensayo Punto de ignición y llama mediante la copa de Cleveland	Norma INV.E-709							
Datos tomados								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tipo ensayo</th> <th>Temperatura</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P. ignición</td> <td>179C°</td> </tr> <tr> <td>P. llama</td> <td>245C°</td> </tr> </tbody> </table>			Tipo ensayo	Temperatura	P. ignición	179C°	P. llama	245C°
Tipo ensayo	Temperatura							
P. ignición	179C°							
P. llama	245C°							


Anexo 36. Peso específico del asfalto

 <p>Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA</p>	N° Ensayo 1	Anexo 36																
	Fecha de ensayo 11 mayo 2014																	
	Directora proyecto María Serrano Guzmán																	
Estudiantes Sergio Andrés Sánchez Otálora	ID 000167157																	
Nombre del ensayo Peso específico del asfalto	Norma INV.E-711																	
Datos tomados																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th>#Muestra</th> <th>Masa(g)</th> <th>Vi(ml)</th> <th>Vf(ml)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>3,55</td> <td>100</td> <td>103,5</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>4,05</td> <td>100</td> <td>104</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>5,9</td> <td>100</td> <td>106</td> </tr> </tbody> </table>			#Muestra	Masa(g)	Vi(ml)	Vf(ml)	1	3,55	100	103,5	2	4,05	100	104	3	5,9	100	106
#Muestra	Masa(g)	Vi(ml)	Vf(ml)															
1	3,55	100	103,5															
2	4,05	100	104															
3	5,9	100	106															
Cálculos																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Diferencia Vi-Vf(ml)</th> <th>Densidad (g/cm³)</th> <th>Densidad Media(g/cm³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3.5</td> <td>1,01428</td> <td rowspan="3">1,0033</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>1,0125</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>0,983</td> </tr> </tbody> </table>			Diferencia Vi-Vf(ml)	Densidad (g/cm ³)	Densidad Media(g/cm ³)	3.5	1,01428	1,0033	4	1,0125	6	0,983						
Diferencia Vi-Vf(ml)	Densidad (g/cm ³)	Densidad Media(g/cm ³)																
3.5	1,01428	1,0033																
4	1,0125																	
6	0,983																	


Anexo 37. Punto de ablandamiento de materiales bituminosos #1

	N° Ensayo 1	Anexo 37						
	Fecha de ensayo 11 mayo 2014							
	Directora proyecto María Serrano Guzmán							
Estudiantes Sergio Andrés Sánchez Otálora		ID 000167157						
Nombre del ensayo Punto de ablandamiento de materiales bituminosos		Norma INV.E-712						
Datos tomados								
<table border="1"> <thead> <tr> <th># Caída</th> <th>Temperatura</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>48C°</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>48C°</td> </tr> </tbody> </table>			# Caída	Temperatura	1	48C°	2	48C°
# Caída	Temperatura							
1	48C°							
2	48C°							

Anexo 38. Punto de ablandamiento de materiales bituminosos #2

	N° Ensayo 2	Anexo 38						
	Fecha de ensayo 11 mayo 2014							
	Directora proyecto María Serrano Guzmán							
Estudiantes Sergio Andrés Sánchez Otálora	ID 000167157							
Nombre del ensayo Punto de ablandamiento de materiales bituminosos	Norma INV.E-712							
Datos tomados								
<table border="1"> <thead> <tr> <th># Caída</th> <th>Temperatura</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>47C°</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>47C°</td> </tr> </tbody> </table>			# Caída	Temperatura	1	47C°	2	47C°
# Caída	Temperatura							
1	47C°							
2	47C°							

Anexo 39. Punto de ablandamiento de materiales bituminosos #3

 <p>Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA</p>	N° Ensayo 3	Anexo 39						
	Fecha de ensayo 11 mayo 2014							
	Directora proyecto María Serrano Guzmán							
Estudiantes Sergio Andrés Sánchez Otálora	ID 000167157							
Nombre del ensayo Punto de ablandamiento de materiales bituminosos	Norma INV.E-712							
Datos tomados								
<table border="1"> <thead> <tr> <th># Caída</th> <th>Temperatura</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>48C°</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>48C°</td> </tr> </tbody> </table>			# Caída	Temperatura	1	48C°	2	48C°
# Caída	Temperatura							
1	48C°							
2	48C°							

Anexo 40. Ensayos realizados al asfalto con ceniza

Resultados de penetración del asfalto (Inv.e-706)

	5% Ceniza	10% Ceniza	20% Ceniza	30% Ceniza
Penetración 1	61.5	62	60	60
Penetración 2	61	60.5	60	61
Penetración 3	62	61	62	59,0
Penetración 4	60.5	60,5	60.5	60
Promedio	61.50	61,17	60.66	60.06

Resultados del ensayo Punto de ignición y llama (Inv.e-709)

ASFALTO CON CENIZA	Punto de ignición	Punto de llama
95%asfalto y 5%ceniza	157°	268°
90%asfalto y 10%ceniza	161°	276°
80%asfalto y 20%ceniza	172°	284°
70%asfalto y 30%ceniza	180°	293°

Resultados de viscosidad dinámica del asfalto (Inv.e-716)

ASFALTO CON CENIZA	Viscosidad(Poises)
100% Asfalto	2034.246
95%asfalto y 5%ceniza	2112.751
90%asfalto y 10%ceniza	2393.822
80%asfalto y 20%ceniza	2790.786
70%asfalto y 30%ceniza	2731.568

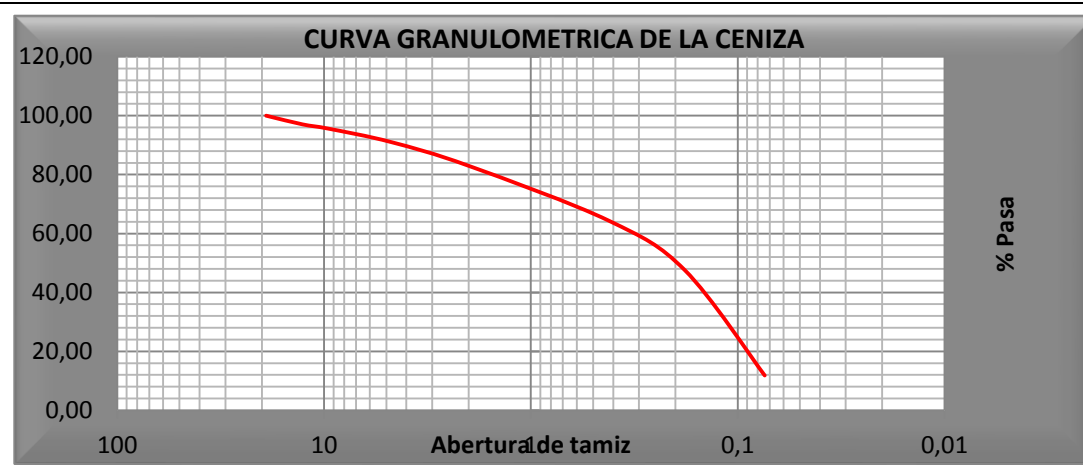
Anexo 41. Granulometría de la ceniza

 <p>Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA</p>	N° Ensayo 1	Anexo 41
	Fecha de ensayo 11 mayo 2014	
	Directora proyecto María Serrano Guzmán	
Estudiantes Sergio Andrés Sánchez Otálora		ID 000167157
Nombre del ensayo Granulometría para cenizas		Norma INV.E-213


Datos tomados

Tamiz	Peso retenido	% Peso retenido	%Retenido acumulado	% Pasa
3/4"	0	0,00	0,00	100,00
1/2"	43	2,96	2,96	97,04
3/8"	21	1,45	4,41	95,59
Nº 4	65,8	4,53	8,94	91,06
Nº 10	117,2	8,07	17,02	82,98
Nº40	270,4	18,63	35,65	64,35
N80	243,73	16,79	52,44	47,56
N200	518,67	35,74	88,18	11,82
PASA 200	171,6	11,82	100,00	0,00
	1451,4	100,00		


Grafica



Anexo 42. Gravedad específica y absorción de la ceniza

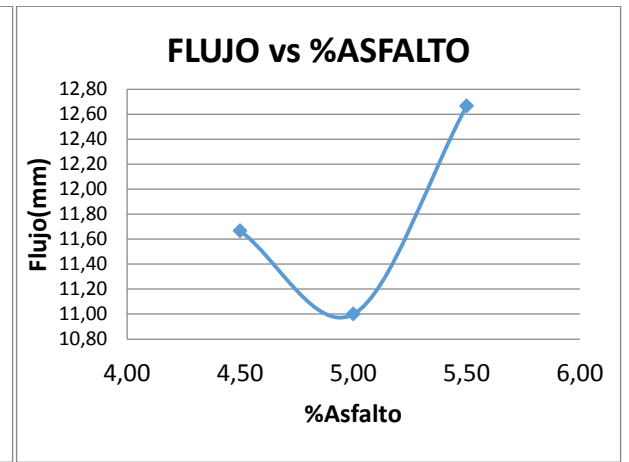
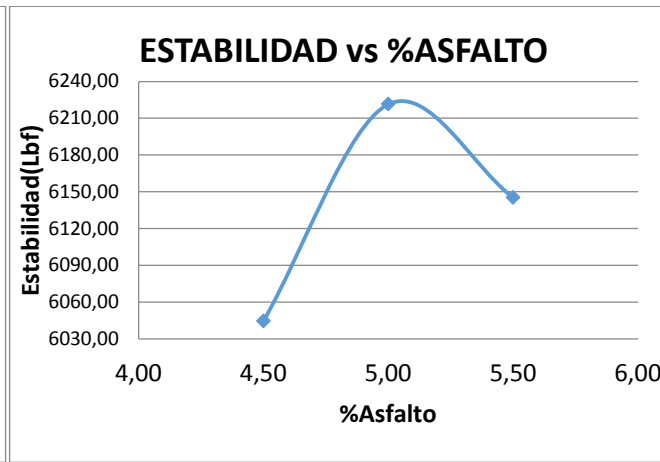
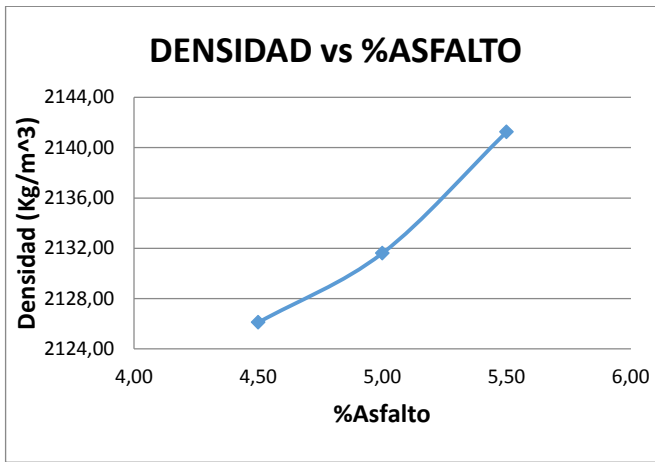
 <p>Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA</p>	N° Ensayo 1	Anexo 42															
	Fecha de ensayo 11 mayo 2014																
	Directora proyecto María Serrano Guzmán																
Estudiantes Sergio Andrés Sánchez Otálora	ID 000167157																
Nombre del ensayo Gravedad específica y absorción de la ceniza	Norma INV.E-223																
Datos tomados																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tipo de peso</th> <th>Masa(g)</th> <th>Nomenclatura</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Arena sss</td> <td>448</td> <td>S</td> </tr> <tr> <td>Pic+agua</td> <td>618.15</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>Pic+agua +ceniza</td> <td>859.97</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>Ceniza seca</td> <td>412.13</td> <td>A</td> </tr> </tbody> </table>			Tipo de peso	Masa(g)	Nomenclatura	Arena sss	448	S	Pic+agua	618.15	B	Pic+agua +ceniza	859.97	C	Ceniza seca	412.13	A
Tipo de peso	Masa(g)	Nomenclatura															
Arena sss	448	S															
Pic+agua	618.15	B															
Pic+agua +ceniza	859.97	C															
Ceniza seca	412.13	A															
Cálculos																	
<p>Gravedad específica aparente $=((A/(B+A-C)))= 2.42 \text{ g/cm}^3$</p> <p>Gravedad específica Bulk S.S.S $=((S/(B+S-C)))=2.17 \text{ g/cm}^3$</p> <p>Gravedad específica Bulk $=((A/(B+S-C)))= 1.998 \text{ g/cm}^3$</p> <p>%Absorción $=((S-A)/A)*100=8.70\%$</p>																	

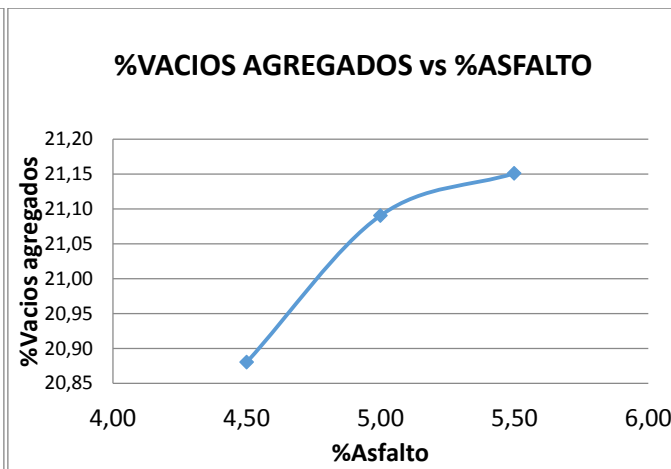
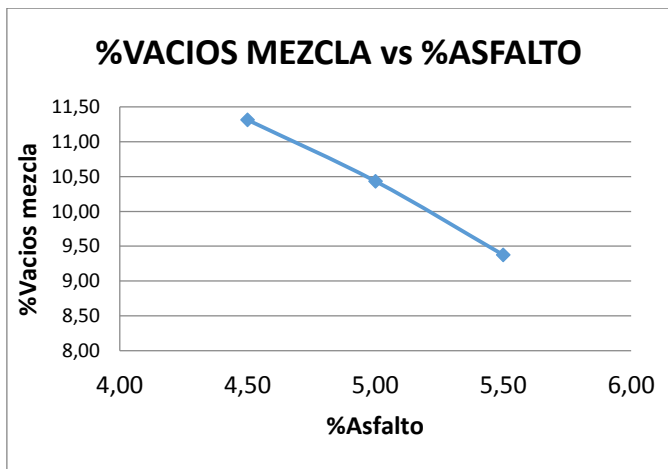
Anexo 43. Superficie especifica de la ceniza

 <p>Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA</p>	N° Ensayo 1	Anexo 43									
	Fecha de ensayo 11 mayo 2014										
	Directora proyecto María Serrano Guzmán										
Estudiantes Sergio Andrés Sánchez Otálora	ID 000167157										
Nombre del ensayo Superficie especifica	Norma INV.E 302										
Datos tomados											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>T.Prom (s.)</th> <th>Densidad cemento (gr/cm³)</th> <th>N%</th> <th>Finura</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">16,1</td> <td style="text-align: center;">2,0</td> <td style="text-align: center;">0,0135</td> <td style="text-align: center;">148,61</td> </tr> </tbody> </table>				T.Prom (s.)	Densidad cemento (gr/cm ³)	N%	Finura	16,1	2,0	0,0135	148,61
T.Prom (s.)	Densidad cemento (gr/cm ³)	N%	Finura								
16,1	2,0	0,0135	148,61								

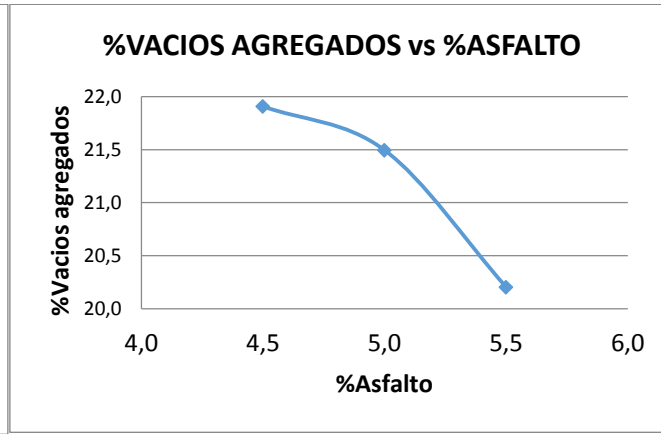
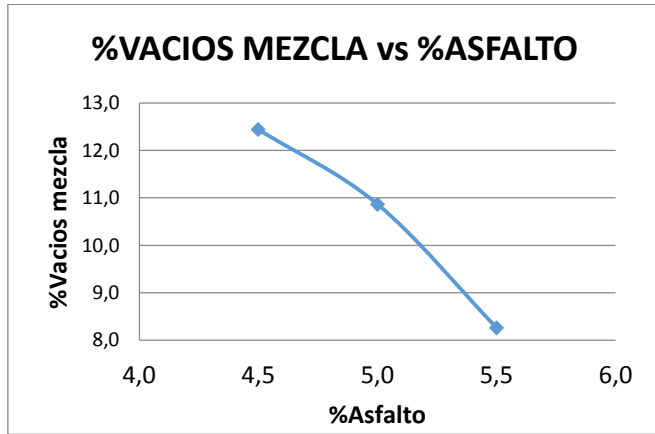
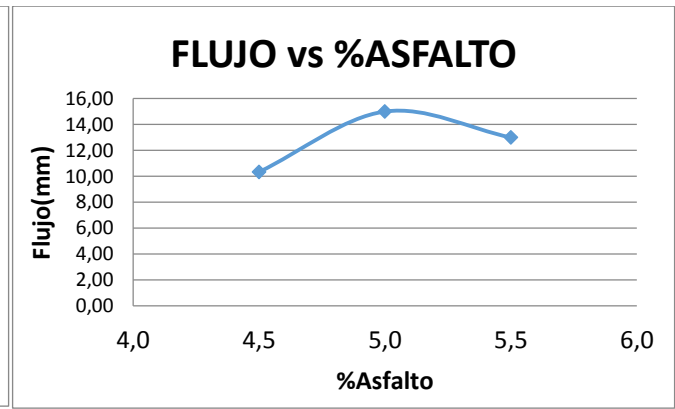
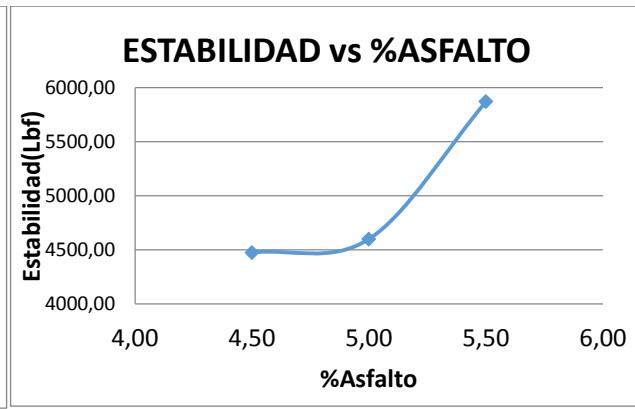
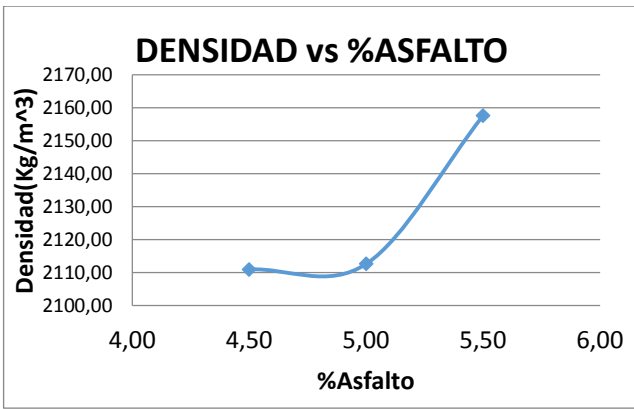
ANEXO 44. Medidas, calculos y Resultados por el metodo Marshall

Diseño de mezcla asfáltica (testigo)																					
TIPO	No. Muestra	Espesor promedio	Volumen (cm ³)	Densidades			PE (g/cm3)	PEMT (g/cm3)	% volumen total			% vacios			Densidad Kg/m3	%agua absorbida	Factor	Estabilidad (Lb)	Estabilidad (Lbf)	Estabilidad (Kg)	Flujo (mm)
				Aire(g)	Sumergida(g)	SSS(g)			asfalto	agregados	vacios	Agregados	Mezcla	llenos							
A																			Corregida	Corregida	
4,5	1	6,75	551,83	1198,00	641,60	1200,20	2,145							2138,2134	0,394	0,91	1979	7988,99	816,87	13,00	
4,5	2	6,73	548,22	1195,60	639,00	1197,10	2,142							2135,8416	0,269	0,915	1615	6555,39	670,28	11,00	
4,5	3	6,78	552,11	1175,60	621,00	1178,00	2,111							2104,2607	0,431	0,903	896	3589,22	367,00	11,00	
	PROMEDIO			1189,73	633,87	1191,77	2,13	2,405	10,788	79,120	10,092	20,880	11,313	48,813	2126,1052				6044,53	618,05	11,67
5,00	1	6,87	560,54	1193,50	632,80	1195,30	2,122							2115,4124	0,320	0,883	1330	5209,75	532,69	9,00	
5,00	2	6,72	547,95	1197,20	641,90	1197,90	2,153							2146,7777	0,126	0,918	1859	7570,54	774,08	14,00	
5,00	3	6,80	555,65	1195,10	638,30	1197,00	2,139							2132,6556	0,340	0,898	1477	5883,85	601,62	10,00	
	PROMEDIO			1195,27	637,67	1196,73	2,14	2,387	10,658	78,909	10,432	21,091	10,432	50,535	2131,6153				6221,38	641,61	11,00
5,50	1	6,79	551,30	1195,60	642,10	1197,70	2,152							2145,4521	0,378	0,9	1803	7198,51	736,04	11,00	
5,50	2	6,83	555,28	1194,00	640,30	1197,20	2,144							2137,5795	0,575	0,83	1456	5360,98	548,16	14,00	
5,50	3	6,89	560,52	1196,40	641,30	1198,50	2,147							2140,7229	0,377	0,879	1507	5876,34	600,85	13,00	
	PROMEDIO			1195,33	641,23	1197,80	2,15	2,370	11,777	78,849	9,374	21,151	9,374	55,680	2141,2515				6145,28	628,35	12,67

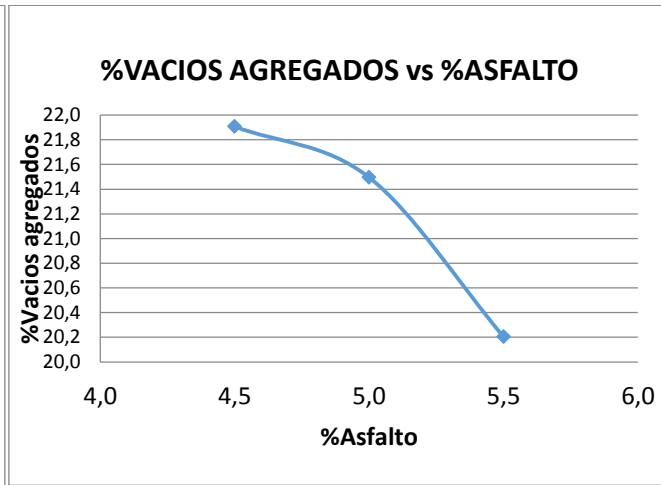
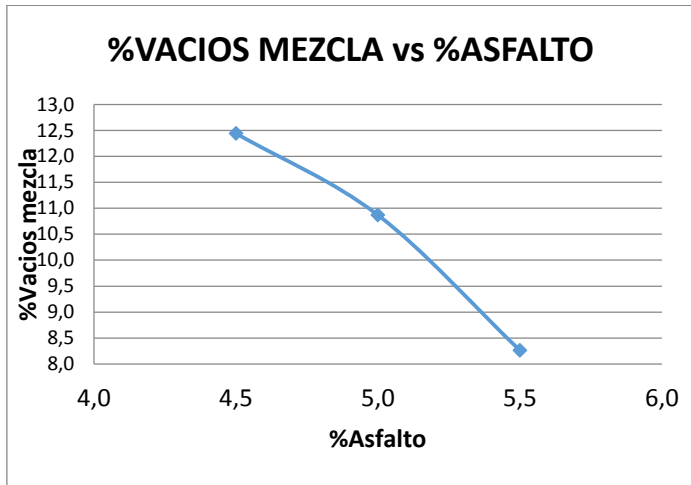
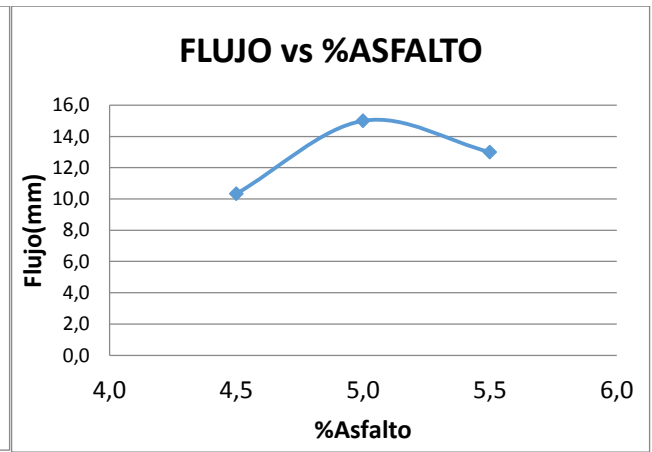
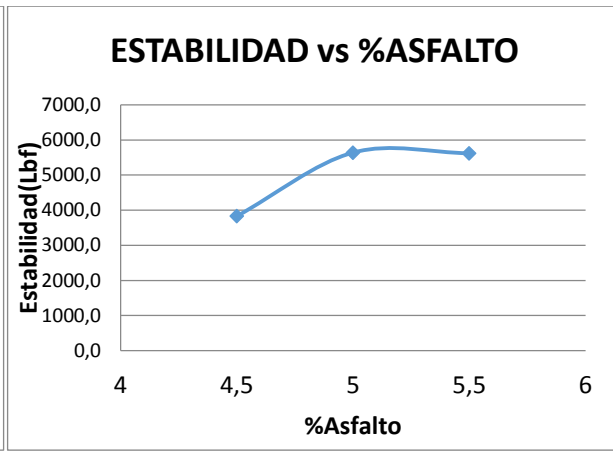
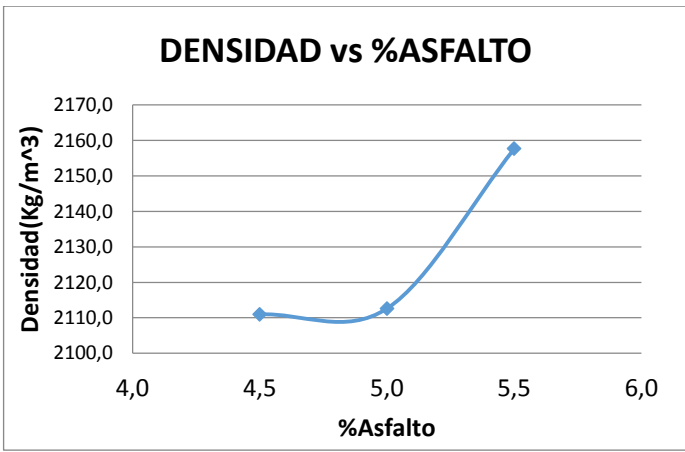




Diseño de mezcla asfáltica reemplazando un 5% de asfalto por ceniza y con llenante mineral normal																					
TIPO	No. Muestra	Espesor promedio	Volumen (cm ³)	Densidades			PE (g/cm ³)	PEMT (g/cm ³)	% volumen total			% vacios			Densidad Kg/m ³	%agua absorbida	Factor	Estabilidad (Lb)	Estabilidad (Lbf)	Estabilidad (Kg)	Flujo (mm)
				Aire(g)	Sumergida(g)	SSS(g)			asfalto	agregados	vacios	Agregados	Mezcla	llenos							
B																					
4,5	1	6,91	560,95	1190,20	626,60	1192,30	2,104							2097,6302	0,371	0,875	972	3772,93	385,78	13,00	
4,5	2	6,76	548,50	1194,70	638,50	1196,00	2,143							2136,5308	0,233	0,908	1540	6203,13	634,27	13,00	
4,5	3	6,71	540,52	1182,40	622,60	1184,30	2,105							2098,7232	0,338	0,92	846	3452,73	353,04	18,00	
	PROMEDIO			1189,10	629,23	1190,87	2,117	2,404	9,527	78,556	11,917	21,444	11,917	41,960	2110,9614				4476,27	457,70	14,67
5,00	1	6,65	562,82	1191,60	629,30	1194,10	2,110							2103,4441	0,443	0,934	976	4043,91	413,49	19,00	
5,00	2	6,74	570,72	1190,30	635,70	1192,10	2,139							2132,8704	0,324	0,913	1462	5921,38	605,46	15,00	
5,00	3	6,74	553,99	1193,30	629,90	1196,00	2,108							2101,6077	0,477	0,913	948	3839,58	392,60	22,00	
	PROMEDIO			1191,73	631,63	1194,07	2,119	2,386	10,594	78,207	11,199	21,793	11,199	48,183	2112,6407				4601,62	470,51	18,67
5,50	1	6,61	539,14	1191,00	647,80	1192,00	2,189							2181,9680	0,184	0,941	1810	7555,67	772,56	10,00	
5,50	2	6,74	550,02	1189,40	642,80	1190,80	2,170							2163,9266	0,255	0,913	1259	5099,19	521,39	9,00	
5,50	3	6,78	549,95	1195,60	637,50	1197,90	2,133							2127,0757	0,410	0,903	1238	4959,22	507,08	11,00	
	PROMEDIO			1192,00	642,70	1193,57	2,164	2,369	11,902	79,453	8,645	20,547	8,645	61,243	2157,6568				5871,36	600,34	10,00

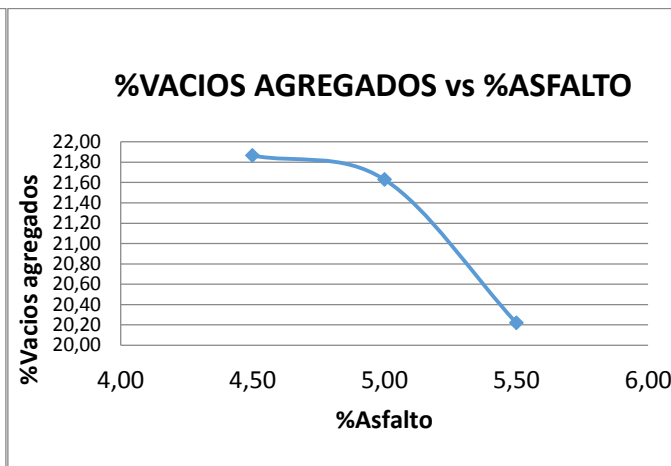
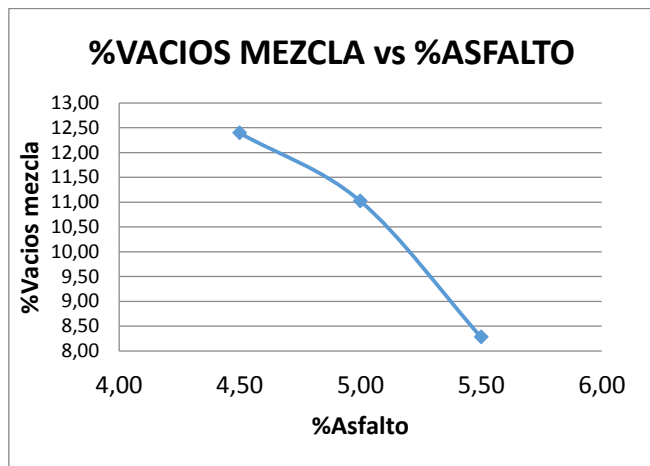
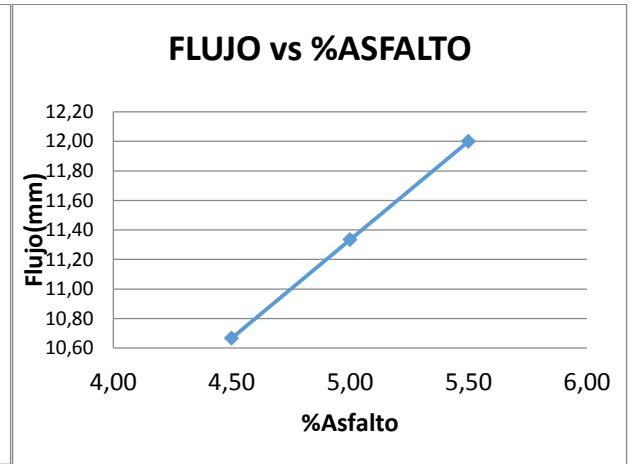
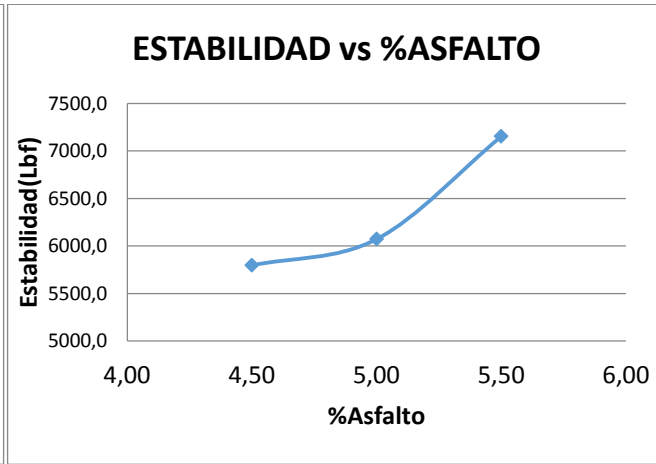
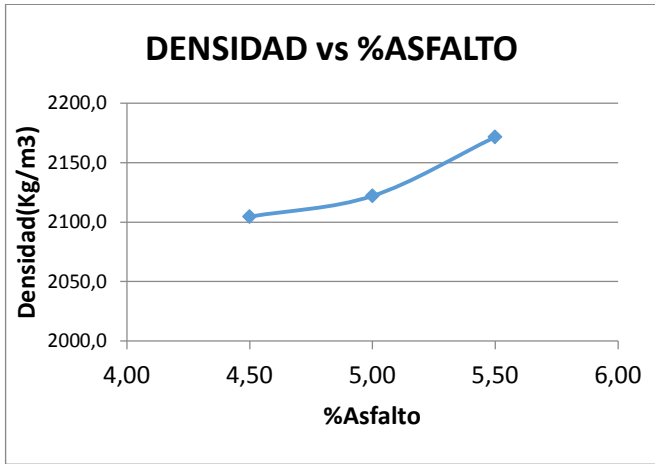


Diseño de mezcla asfáltica reemplazando un 10% del asfalto por ceniza y 25% del llenante mineral por ceniza																						
TIPO	No. Muestra	Espesor promedio (mm)	Volumen (cm³)	Densidades			PE (g/cm³)	PEMT (g/cm³)	% volumen total			% vacios			Densidad Kg/m³	%agua absorbida	Factor	Estabilidad (Lb)	Estabilidad (Lbf)	Estabilidad (Kg)	Flujo (mm)	
				Aire(g)	Sumergida(g)	SSS(g)			asfalto	agregados	vacios	Agregados	Mezcla	lentos								
C																						
	4,5	1	7,06	581,43	1179,70	626,60	1181,20	2,1271							2120,7373	0,270	0,847	1122	4215,81	431,06	10,00	
	4,5	2	7,15	588,45	1203,20	630,90	1205,10	2,0954							2089,1508	0,331	0,83	869	3199,65	327,16	8,00	
	4,5	3	6,91	558,84	1195,50	629,60	1197,10	2,1066							2100,2881	0,282	0,875	1052	4083,46	417,53	13,00	
		PROMEDIO			1192,80	629,03	1194,47	2,1097	2,399	9,658	78,274	12,068	21,726	12,068	42,256	2103,3921				3832,97	391,92	10,33
	5,0	1	7,14	587,91	1195,60	634,20	1197,40	2,1229							2116,5007	0,320	0,832	1528	5639,64	576,65	12,00	
	5,0	2	6,81	551,29	1199,80	639,20	1200,60	2,1372							2130,7456	0,143	0,895	1501	5959,48	609,35	23,00	
	5,0	3	7,09	580,75	1187,00	632,60	1188,30	2,1360							2129,6365	0,234	0,841	1428	5327,57	544,74	10,00	
		PROMEDIO			1194,13	635,33	1195,43	2,1320	2,381	10,844	78,688	10,468	21,312	10,468	51,019	2125,6276				5642,23	576,91	15,00
	5,5	1	7,10	581,03	1193,10	645,00	1194,30	2,1720							2165,5210	0,218	0,839	1583	5891,79	602,43	14,00	
	5,5	2	6,98	565,99	1194,50	650,80	1195,60	2,1925							2185,9701	0,202	0,862	1744	6668,96	681,90	12,00	
	5,5	3	6,89	554,30	1190,80	643,40	1191,90	2,1710							2164,4988	0,201	0,879	1105	4308,79	440,57	13,00	
		PROMEDIO			1192,80	646,40	1193,93	2,1785	2,364	12,189	79,981	7,830	20,019	7,830	65,471	2171,9966				5623,18	574,97	13,00



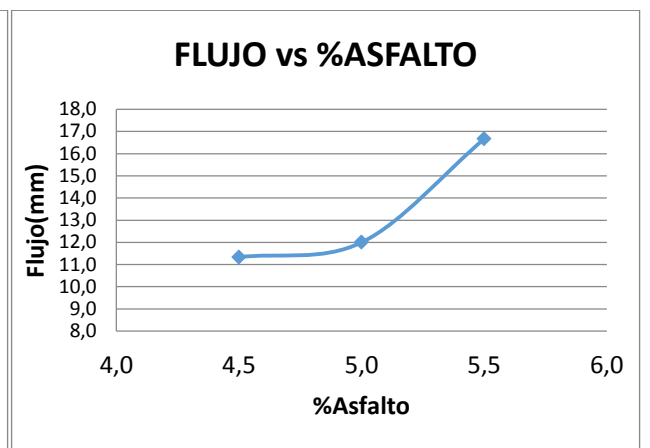
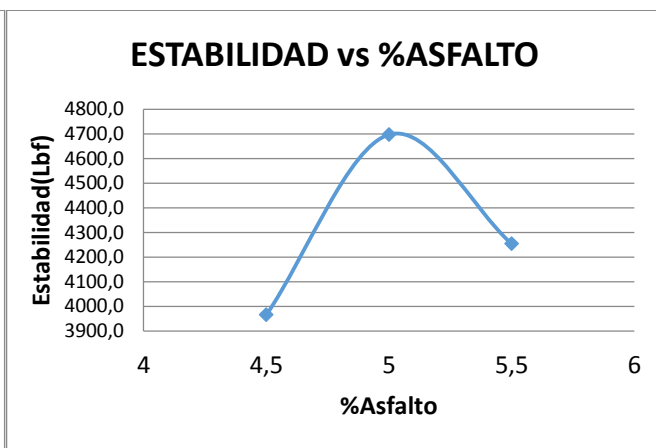
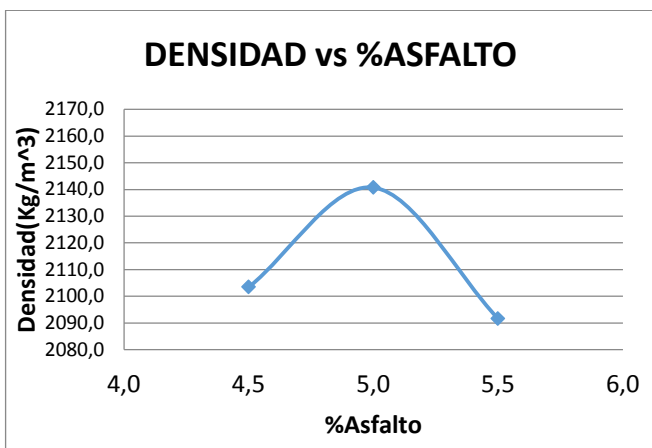
Diseño de mezcla asfáltica reemplazando un 10% del asfalto por ceniza y 50% del llenante mineral por ceniza

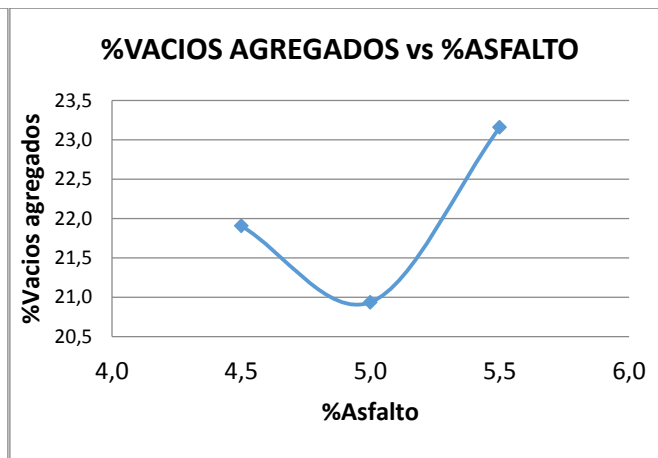
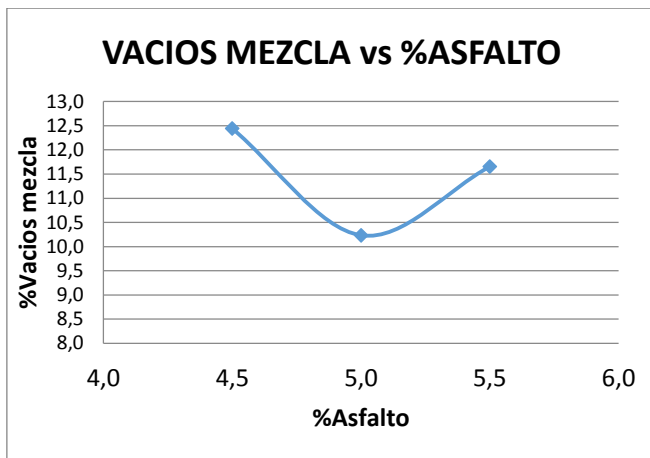
TIPO	No. Muestra	Espesor promedio	Volumen (cm³)	Densidades			PE (g/cm3)	PEMT (g/cm3)	% volumen total			% vacios			Densidad Kg/m3	%agua absorbida	Factor	Estabilidad (Lb)	Estabilidad (Lbf)	Estabilidad (Kg)	Flujo (mm)
				Aire(g)	Sumergida(g)	SSS(g)			asfalto	agregados	vacios	Agregados	Mezcla	lentos							
D																					
4,5	1	6,88	564,1176	1179,10	624,60	1180,80	2,120								2113,5611	0,30564545	0,881	1790	6995,74	715,31	12,00
4,5	2	6,90	560,0426	1189,30	628,30	1191,50	2,112								2105,3482	0,390625	0,877	1478	5750,14	587,95	11,00
4,5	3	7,05	576,8287	1191,50	628,10	1195,20	2,101								2094,7373	0,65244225	0,849	1232	4640,05	474,44	9,00
	PROMEDIO			1186,63	627,00	1189,17	2,111	2,40	9,66	78,32	12,02	21,68	12,02	42,37	2104,5489				5795,31	592,57	10,67
5,00	1	6,84	562,48228	1192,70	631,40	1193,30	2,123								2116,2518	0,10678057	0,888	1689	6653,45	680,31	9,00
5,00	2	6,99	571,27347	1194,50	636,20	1195,80	2,135								2128,1567	0,23230879	0,86	1011	3857,04	394,38	12,00
5,00	3	6,84	560,83625	1184,00	631,30	1187,70	2,128								2121,5816	0,66498922	0,888	1956	7705,24	787,86	13,00
	PROMEDIO			1190,40	632,97	1192,27	2,128	2,38	10,83	78,55	10,62	21,45	10,62	50,57	2121,9967				6071,91	620,85	11,33
5,50	1	6,89	567,05636	1189,40	646,40	1191,50	2,182								2175,4390	0,38525041	0,879	1756	6847,28	700,13	11,00
5,50	2	7,04	569,52778	1191,80	647,90	1192,57	2,188								2181,5496	0,14137	0,851	1623	6127,07	626,49	13,00
5,50	3	6,75	549,67201	1187,10	640,30	1188,80	2,164								2157,7734	0,30993619	0,91	1578	6370,20	651,35	12,00
	PROMEDIO			1189,43	644,87	1190,96	2,178	2,36	12,19	79,97	7,85	20,03	7,85	65,40	2171,5873				6487,17	659,32	12,00



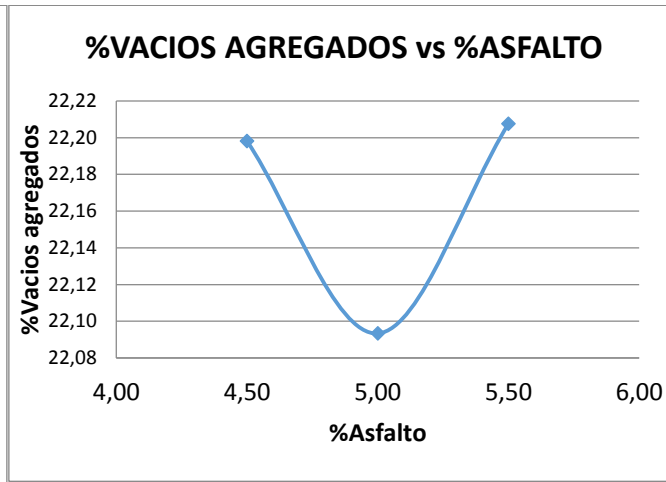
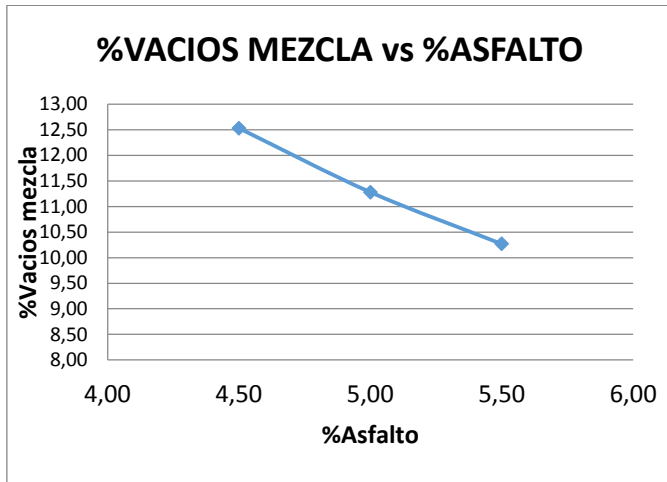
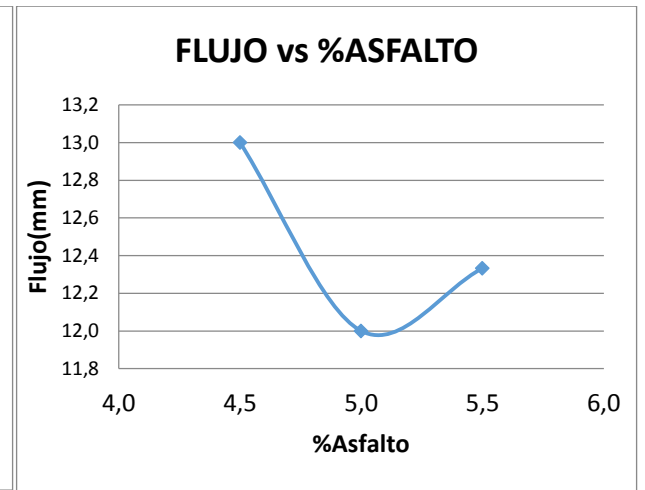
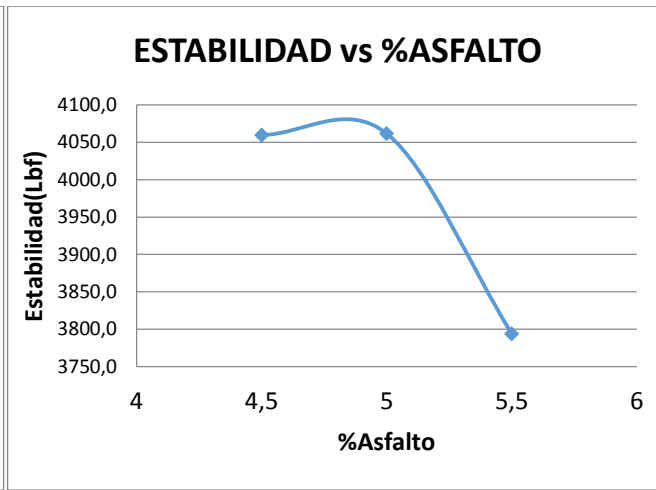
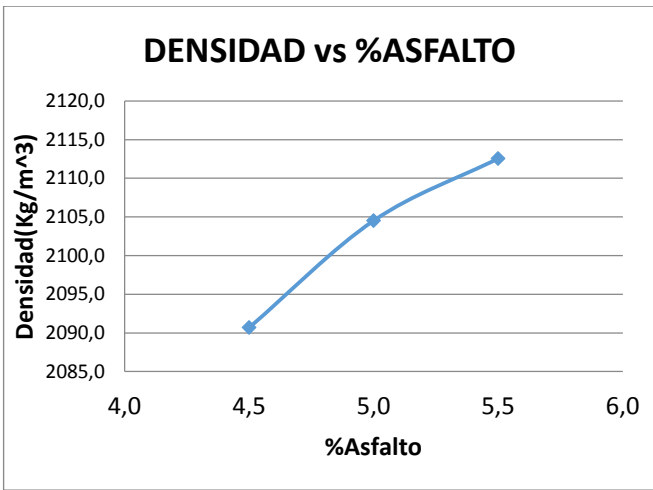
Diseño de mezcla asfáltica reemplazando un 10% del asfalto por ceniza y 75% del llenante mineral por ceniza

TIPO	No.	Muestra	Espesor promedio	Volumen (cm ³)	Densidades			PE (g/cm3)	PEMT (g/cm3)	% volumen total			% vacios			Densidad Kg/m3	%agua absorbida	Factor	Estabilidad (Lb)	Estabilidad (Lbf)	Estabilidad (Kg)	Flujo (mm)
					Aire(g)	Sumergida(g)	SSS(g)			asfalto	agregados	vacios	Agregados	Mezcla	llenos							
E																						
	4,5	1	6,89	560,80	1184,30	620,20	1187,20	2,089							2082,4464	0,511	0,879	796	3103,89	317,37	9,00	
	4,5	2	6,81	563,03	1191,20	632,40	1192,00	2,129							2122,2773	0,143	0,895	1212	4812,05	492,03	14,00	
	4,5	3	6,83	559,10	1189,00	626,70	1189,70	2,112							2105,5648	0,124	0,89	1008	3979,74	406,93	11,00	
		PROMEDIO			1188,17	626,43	1189,63	2,110	2,399	9,658	78,276	12,066	21,724	12,066	42,260	2103,4295				3965,23	405,44	11,33
	5,00	1	6,72	546,87	1192,90	637,30	1194,50	2,141							2134,4603	0,287	0,918	1143	4654,72	475,94	14,00	
	5,00	2	6,85	558,91	1192,90	634,40	1194,10	2,131							2124,9264	0,214	0,886	1077	4233,06	432,83	12,00	
	5,00	3	6,72	554,15	1190,70	643,40	1192,30	2,169							2162,7398	0,291	0,918	1278	5204,49	532,16	10,00	
		PROMEDIO			1192,17	638,37	1193,63	2,147	2,381	10,921	79,246	9,833	20,754	9,833	52,964	2140,7089				4697,42	480,31	12,00
	5,50	1	6,81	560,93	1094,60	577,70	1095,30	2,115							2108,4162	0,135	0,895	789	3132,60	320,31	18,00	
	5,50	2	6,66	540,93	1184,00	642,30	1185,30	2,180							2173,9374	0,239	0,932	1200	4961,37	507,30	11,00	
	5,50	3	7,23	596,20	1185,30	594,50	1187,60	1,998							1992,4871	0,388	0,82	1283	4667,08	477,21	21,00	
		PROMEDIO			1154,63	604,83	1156,07	2,098	2,364	11,738	77,021	11,241	22,979	11,241	53,285	2091,6135				4253,68	434,94	16,67



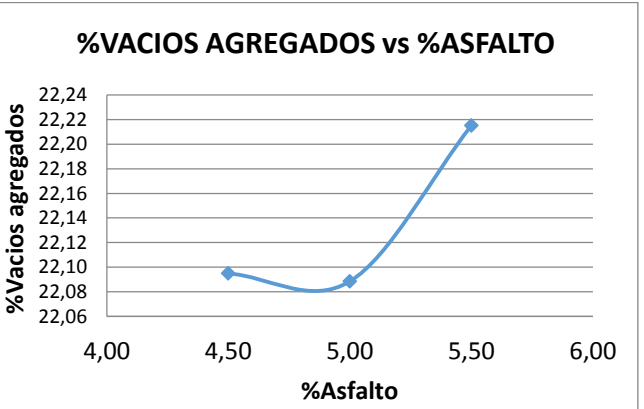
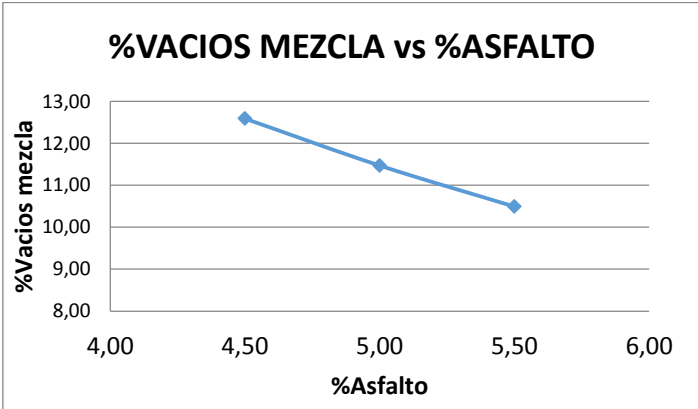
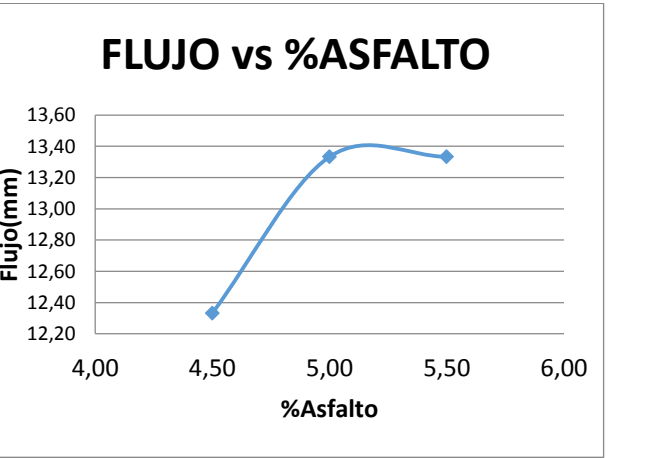
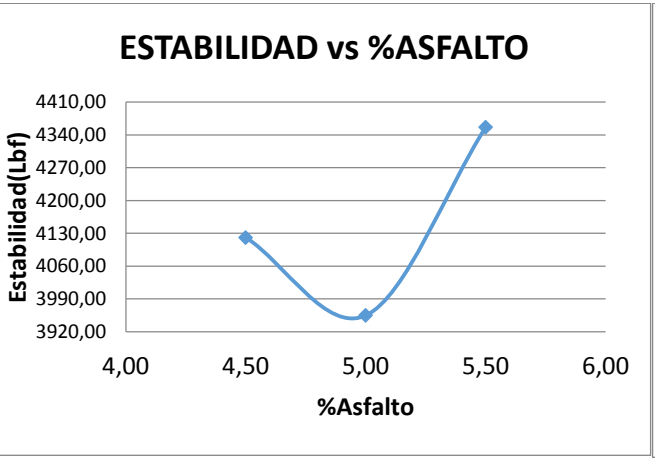
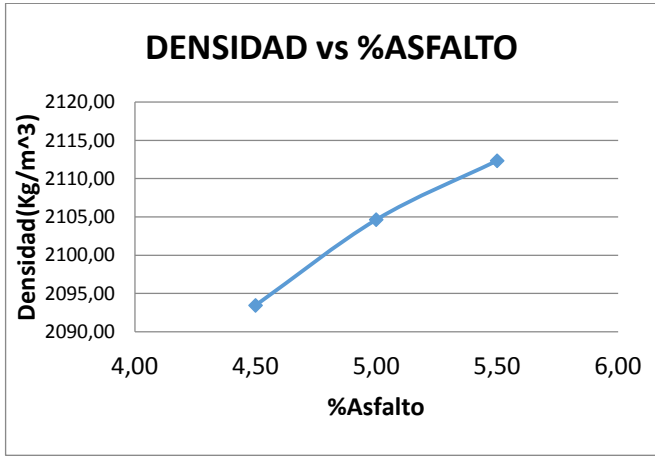


Diseño de mezcla asfáltica reemplazando un 20% del asfalto por ceniza y 25% del llenante mineral por ceniza																					
TIPO	No. Muestra	Espesor promedio	Volumen (cm ³)	Densidades			PE (g/cm ³)	PEMT (g/cm ³)	% volumen total			% vacios			Densidad Kg/m ³	%agua absorbida	Factor	Estabilidad (Lb)	Estabilidad (Lbf)	Estabilidad (Kg)	Flujo (mm)
				Aire(g)	Sumergida(g)	SSS(g)			asfalto	agregados	vacios	Agregados	Mezcla	llenos							
F																					
4,5	1	6,87	562,47	1188,10	626,40	1189,40	2,110							2103,9710	0,231	0,883	1133	4438,08	453,79	13,00	
4,5	2	6,92	562,13	1193,70	625,60	1195,00	2,096							2090,1280	0,228	0,873	1141	4418,80	451,82	14,00	
4,5	3	7,04	574,23	1190,10	620,90	1191,90	2,084							2077,9855	0,315	0,851	880	3322,13	339,69	12,00	
	PROMEDIO			1190,63	624,30	1192,10	2,097	2,397	9,668	77,802	12,530	22,198	12,530	41,464	2090,6948				4059,67	415,10	13,00
5,00	1	6,84	558,82	1192,30	628,80	1193,90	2,110							2103,5624	0,283	0,888	1033	4069,28	416,08	10,00	
5,00	2	6,99	569,41	1193,50	623,80	1195,00	2,089							2083,1924	0,263	0,86	948	3616,69	369,80	12,00	
5,00	3	6,84	558,28	1189,70	633,80	1191,50	2,133							2126,8261	0,323	0,888	1142	4498,67	459,99	14,00	
	PROMEDIO			1191,83	628,80	1193,47	2,111	2,379	10,814	77,907	11,280	22,093	11,280	49,003	2104,5270				4061,55	415,29	12,00
5,50	1	6,89	565,58	1184,70	626,40	1186,00	2,117							2110,6967	0,232	0,879	912	3556,22	363,62	12,00	
5,50	2	7,04	570,28	1191,90	622,10	1194,10	2,084							2077,4900	0,385	0,851	671	2533,13	259,01	12,00	
5,50	3	6,75	553,28	1181,90	634,90	1183,10	2,156							2149,4971	0,219	0,91	1311	5292,35	541,14	13,00	
	PROMEDIO			1186,17	627,80	1187,73	2,119	2,361	11,941	77,792	10,267	22,208	10,267	56,712	2112,5613				3793,90	387,92	12,33



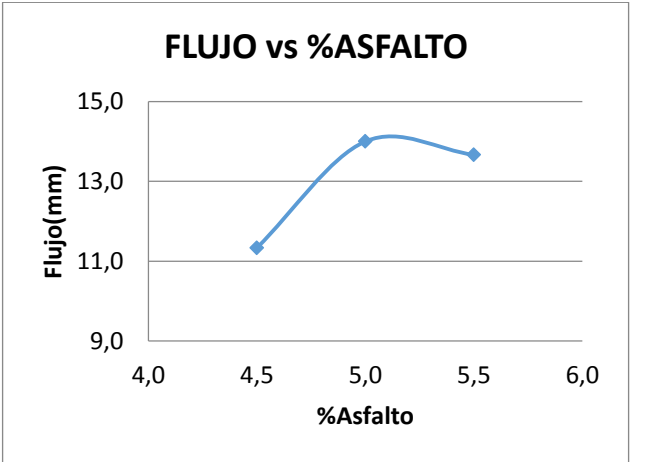
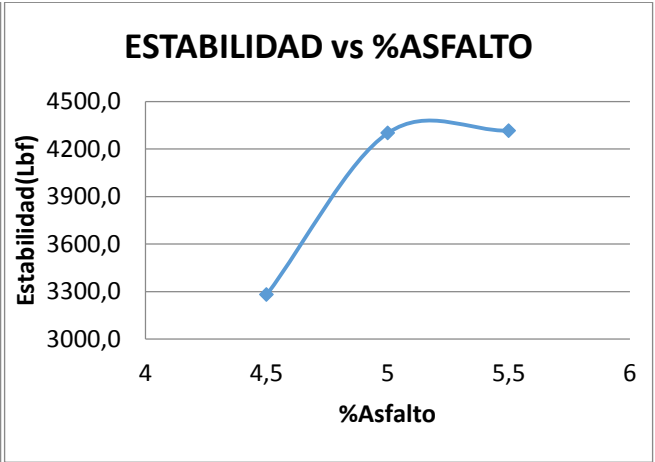
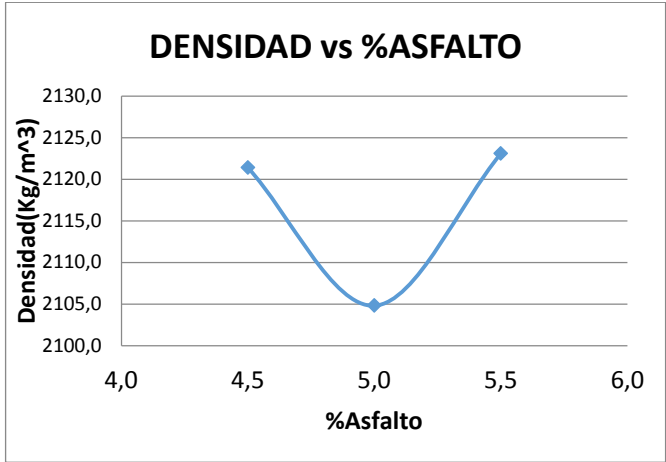
Diseño de mezcla asfáltica reemplazando un 20% del asfalto por ceniza y 50% del llenante mineral por ceniza

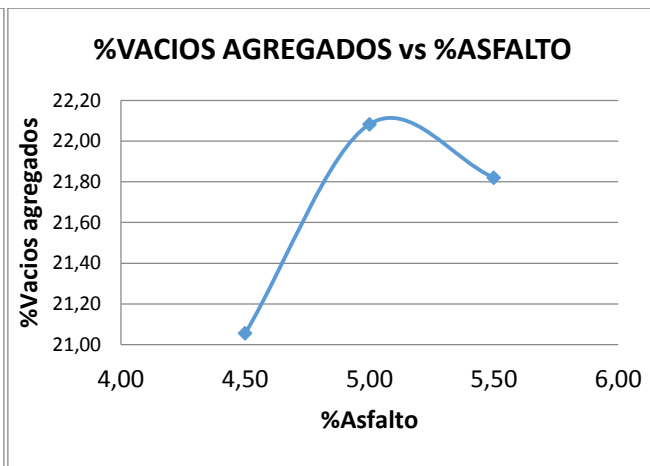
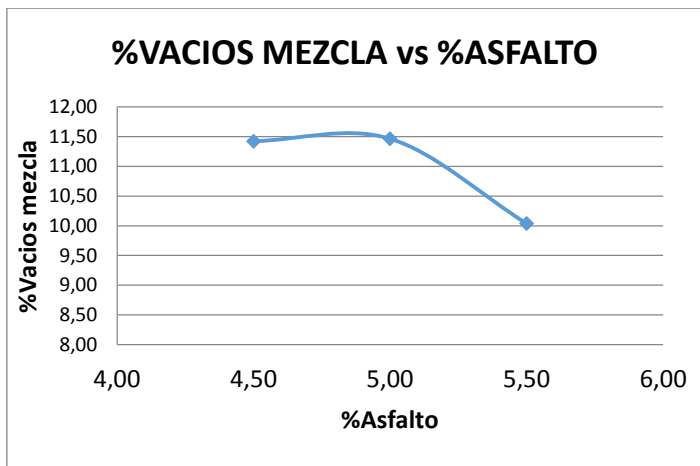
TIPO	No. Muestra	Espesor promedio	Volumen (cm ³)	Densidades			PE (g/cm3)	PEMT (g/cm3)	% volumen total			% vacios			Densidad Kg/m3	%agua absorbida	Factor	Estabilidad (Lb)	Estabilidad (Lbf)	Estabilidad (Kg)	Flujo (mm)
				Aire(g)	Sumergida(g)	SSS(g)			asfalto	agregados	vacios	Agregados	Mezcla	lentos							
G																					
4,5	1	6,80	545,16524	1187,20	624,30	1188,70	2,103								2097,1623	0,266	0,898	930	3704,79	378,81	12,00
4,5	2	6,83	551,09586	1191,20	623,80	1193,40	2,091								2085,0183	0,386	0,89	1155	4560,12	466,27	14,00
4,5	3	6,91	551,79299	1187,80	625,40	1189,80	2,105								2098,2222	0,354	0,875	1056	4098,99	419,12	11,00
	PROMEDIO			1188,73	624,50	1190,63	2,100	2,40	9,51	77,91	12,59	22,09	12,59	40,66	2093,4676				4121,30	421,40	12,33
5,00	1	6,92	547,12487	1191,40	628,50	1192,40	2,113								2106,4476	0,177	0,873	925	3582,29	366,29	12,00
5,00	2	6,95	546,57977	1192,30	623,80	1194,00	2,091								2084,7476	0,298	0,868	1034	3981,48	407,10	13,00
5,00	3	6,87	540,64821	1188,50	633,00	1191,20	2,129								2122,7777	0,484	0,883	1098	4300,98	439,77	15,00
	PROMEDIO			1190,73	628,43	1192,53	2,111	2,38	10,62	77,91	11,47	22,09	11,47	47,71	2104,6576				3954,92	404,39	13,33
5,50	1	6,85	544,92965	1181,70	625,30	1183,10	2,119								2112,1458	0,251	0,886	1123	4413,86	451,31	12,00
5,50	2	6,90	552,81742	1190,60	621,80	1192,40	2,087								2080,3158	0,315	0,877	1046	4069,45	416,10	14,00
5,50	3	6,85	529,06847	1184,80	634,90	1185,70	2,151								2144,5999	0,163	0,886	1167	4586,79	469,00	14,00
	PROMEDIO			1185,70	627,33	1187,07	2,119	2,37	11,72	77,78	10,49	22,22	10,49	55,09	2112,3538				4356,70	445,47	13,33



Diseño de mezcla asfáltica reemplazando un 20% del asfalto por ceniza y 75% del llenante mineral por ceniza

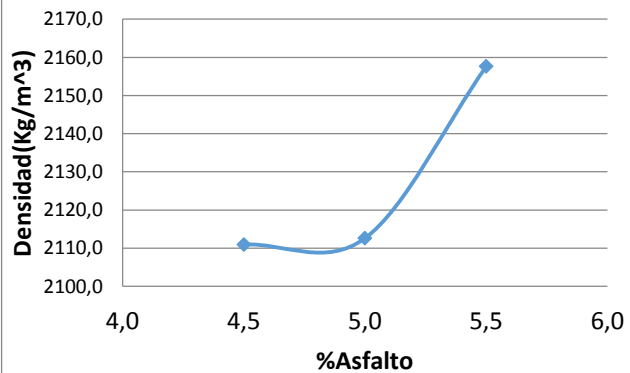
TIPO	No. Muestra	Espesor promedio	Volumen (cm ³)	Densidades			PE (g/cm3)	PEMT (g/cm3)	% volumen total			% vacios			Densidad Kg/m3	%agua absorbida	Factor	Estabilidad (Lb)	Estabilidad (Lbf)	Estabilidad (Kg)	Flujo (mm)
				Aire(g)	Sumergida(g)	SSS(g)			asfalto	agregados	vacios	Agregados	Mezcla	llenos							
H																					
4,5	1	6,94	568,30	1184,50	621,60	1187,1	2,095							2088,3227	0,460	0,869	815	3141,82	321,25	11,00	
4,5	2	6,80	552,47	1177,30	625,60	1178,7	2,129							2122,1625	0,253	0,898	790	3147,08	321,79	14,00	
4,5	3	6,79	554,38	1195,00	642,80	1196	2,160							2153,6786	0,181	0,9	889	3549,35	362,92	9,00	
	PROMEDIO			1185,60	630,00	1187,2667	2,128	2,402	9,633	78,944	11,423	21,056	11,423	43,369	2121,3880				3279,42	335,32	11,33
5,00	1	7,05	574,67	1193,00	628,10	1196,8	2,098							2091,4735	0,668	0,849	947	3566,66	364,69	13,00	
5,00	2	6,78	548,86	1183,40	627,60	1184,8	2,124							2117,4620	0,251	0,903	1164	4662,78	476,77	14,00	
5,00	3	6,90	572,60	1186,20	626,40	1188,1	2,112							2105,4680	0,338	0,877	1201	4672,48	477,76	15,00	
	PROMEDIO			1187,53	627,37	1189,9	2,111	2,384	10,619	77,917	11,464	22,083	11,464	47,724	2104,8012				4300,64	439,74	14,00
5,50	1	7,01	576,46	1186,20	628,40	1187,5	2,122							2115,2592	0,233	0,856	989	3755,56	384,00	12,00	
5,50	2	6,84	557,55	1185,20	631,60	1186,9	2,134							2127,9388	0,306	0,888	1180	4648,36	475,29	15,00	
5,50	3	6,87	564,67	1189,50	633,90	1191,7	2,132							2126,0873	0,394	0,883	1160	4543,84	464,61	14,00	
	PROMEDIO			1186,97	631,30	1188,7	2,129	2,367	11,783	78,180	10,037	21,820	10,037	56,581	2123,0951				4315,92	441,30	13,67



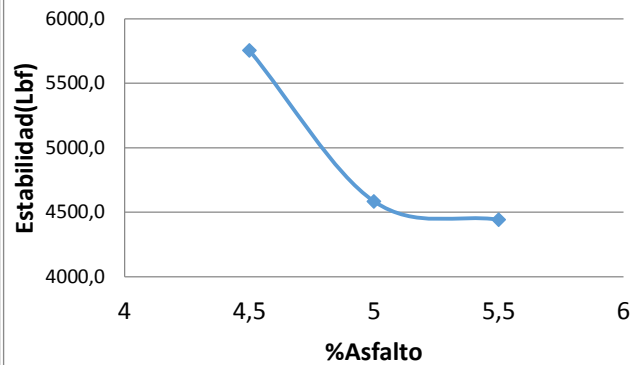


Diseño de mezcla asfáltica reemplazando un 30% del asfalto por ceniza y 25% del llenante mineral por ceniza																						
TIPO	No.	Muestra	Espesor promedio	Volumen (cm³)	Densidades			GEB	PEMT	% volumen total			% vacios			DensidadKg/m3	%agua absorbida	Factor	E(Lb)	E(Lbf) corregida	Estabilidad (Kg)	Flujo(m m)
					Aire(g)	Sumergida(g)	SSS(g)			asfalto	agregados	vacios	Agregados	Mezcla	llenos							
I																						
	4,5	1	6,51	535,43	1164,70	635,50	1165,5	2,198							2190,9545	0,151	0,96	1932	8227,79	841,29	9,00	
	4,5	2	6,74	561,60	1184,80	623,20	1187,3	2,100							2094,0358	0,443	0,913	870	3523,67	360,29	21,00	
	4,5	3	6,57	533,70	1175,90	638,30	1177,3	2,182							2175,0878	0,260	0,949	1310	5514,96	563,90	17,00	
		PROMEDIO			1175,13	632,33	1176,7	2,160	2,397	9,958	80,134	9,908	19,866	9,908	48,117	2153,3594				5755,47	588,49	15,67
	5,00	1	6,85	554,99	1194,30	632,10	1197	2,114							2107,8370	0,478	0,886	886	3482,35	356,07	19,00	
	5,00	2	6,76	551,02	1184,80	634,10	1186,8	2,144							2137,2274	0,362	0,908	1572	6332,03	647,45	6,00	
	5,00	3	6,83	572,42	1185,30	626,00	1187,3	2,112							2105,3699	0,356	0,89	997	3936,31	402,49	20,00	
		PROMEDIO			1188,13	630,73	1190,3667	2,123	2,379	10,877	78,361	10,762	21,639	10,762	50,474	2116,8114				4583,56	468,67	15,00
	5,50	1	6,75	551,65	1172,80	623,00	1175,6	2,122							2115,9638	0,507	0,91	762	3076,10	314,53	23,00	
	5,50	2	6,87	562,37	1187,30	634,50	1189,3	2,140							2133,6303	0,360	0,883	1433	5613,21	573,95	16,00	
	5,50	3	6,76	551,66	1189,80	636,50	1192,4	2,140							2133,8921	0,468	0,908	1151	4636,24	474,05	18,00	
		PROMEDIO			1183,30	631,33	1185,7667	2,134	2,361	12,027	78,355	9,618	21,645	9,618	58,937	2127,8287				4441,85	454,18	19,00

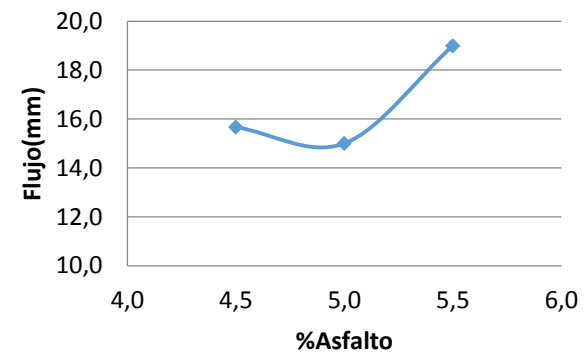
DENSIDAD vs %ASFALTO



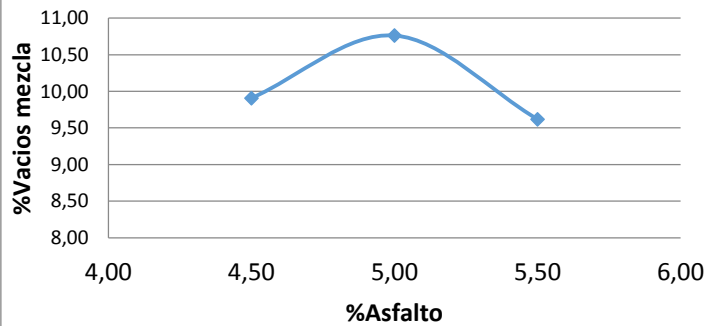
ESTABILIDAD vs %ASFALTO



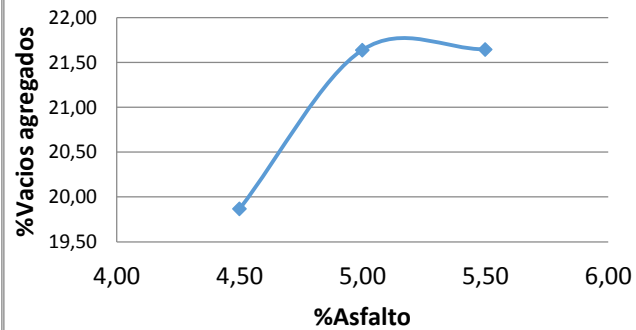
FLUJO vs %ASFALTO



%VACIOS MEZCLA vs % ASFALTO

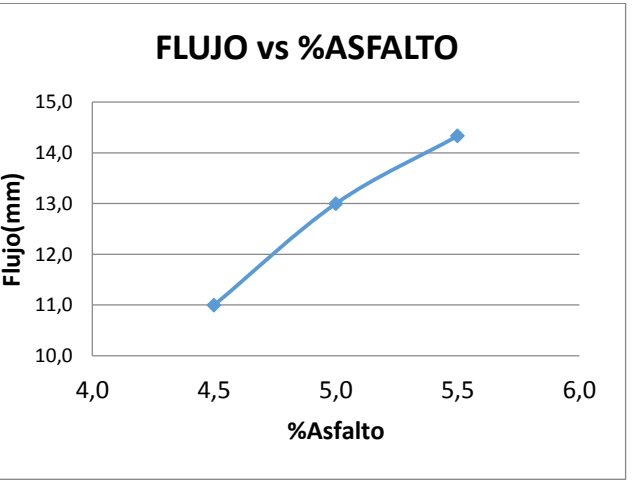
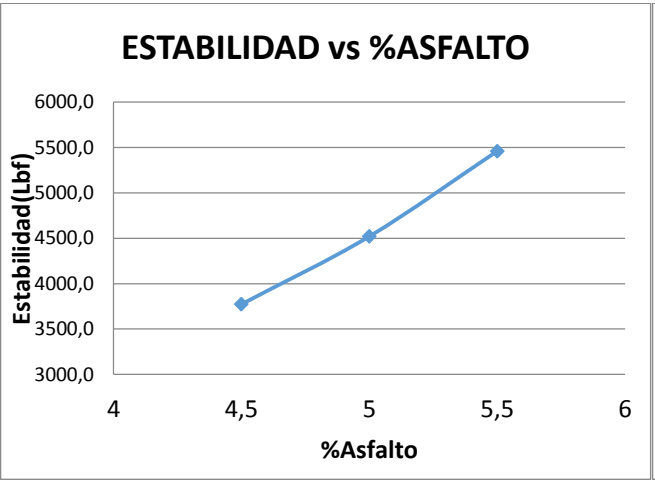
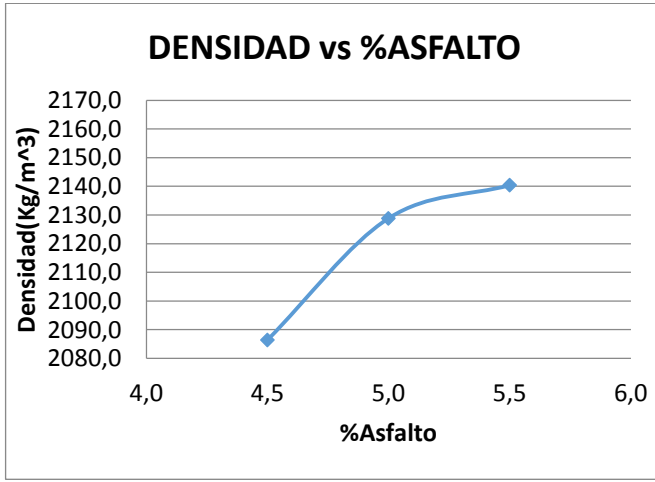


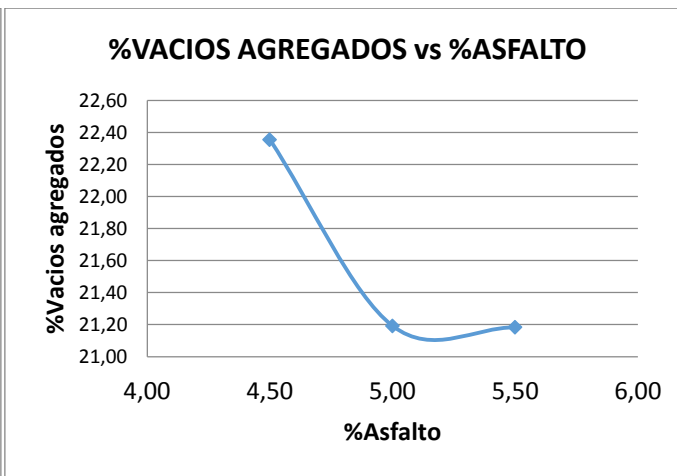
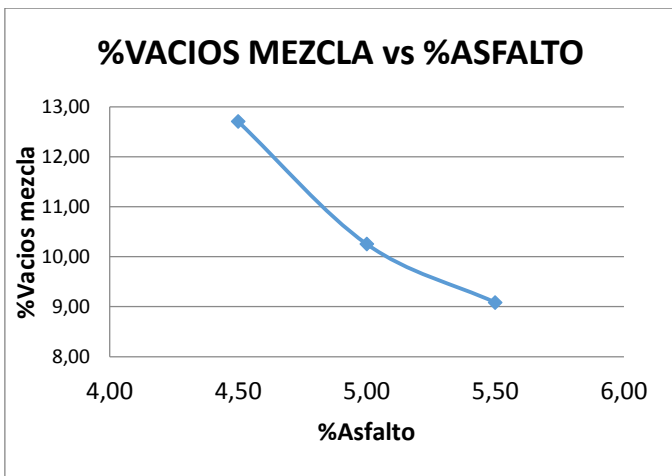
%VACIOS AGREGADOS vs %ASFALTO



Diseño de mezcla asfáltica reemplazando un 30% del asfalto por ceniza y 50% del llenante mineral por ceniza

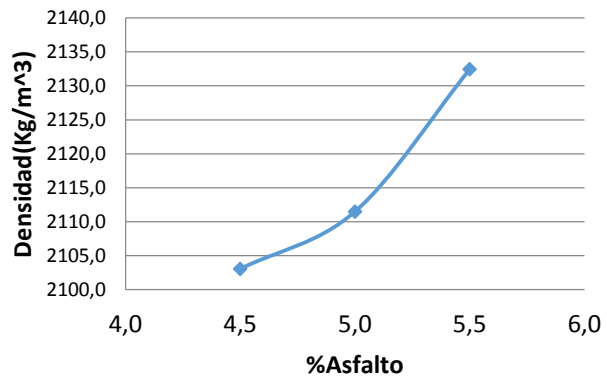
TIPO	No. Muestra	Espesor promedio	Volumen (cm ³)	Densidades			PE (g/cm3)	PEMT (g/cm3)	% volumen total			% vacios			Densidad Kg/m3	%agua absorbida	Factor	Estabilidad (Lb)	Estabilidad (Lbf)	Estabilidad (Kg)	Flujo (mm)
				Aire(g)	Sumergida(g)	SSS(g)			asfalto	agregados	vacios	Agregados	Mezcla	lentos							
J																					
4,5	1	6,88	558,52	1184,20	622,50	1191,3	2,082								2075,6811	1,248	0,881	1088	4252,16	434,78	9,00
4,5	2	6,86	553,52	1163,70	610,90	1168,5	2,087								2080,7190	0,861	0,884	840	3294,10	336,82	13,00
4,5	3	6,83	548,20	1180,80	623,40	1183,2	2,109								2102,9968	0,429	0,89	1370	5408,98	553,07	12,00
	PROMEDIO			1176,23	618,93	1181	2,093	2,397	9,649	77,645	12,707	22,355	12,707	41,069	2086,4656				3773,13	441,56	11,00
5,00	1	6,86	561,01	1178,40	628,90	1180,3	2,137								2130,6942	0,345	0,884	1208	4737,22	484,38	14,00
5,00	2	6,78	553,20	1177,50	631,00	1179,5	2,147								2140,3236	0,365	0,903	1152	4614,71	471,85	11,00
5,00	3	6,90	560,97	1177,90	625,60	1180,7	2,122								2115,5941	0,504	0,877	1082	4209,51	430,42	14,00
	PROMEDIO			1177,93	628,50	1180,1667	2,135	2,379	10,939	78,808	10,253	21,192	10,253	51,988	2128,8707				4520,48	462,22	13,00
5,50	1	6,76	549,40	1179,50	627,80	1180,9	2,133								2126,1282	0,253	0,908	1232	4962,51	507,41	15,00
5,50	2	6,67	545,65	1177,20	636,70	1178,3	2,174								2167,0391	0,203	0,93	1590	6559,71	670,73	13,00
5,50	3	6,70	549,98	1181,60	629,80	1183,4	2,134								2127,9899	0,325	0,923	1186	4856,14	496,54	15,00
	PROMEDIO			1179,43	631,43	1180,8667	2,147	2,361	12,098	78,817	9,085	21,183	9,085	60,876	2140,3857				5459,45	558,23	14,33



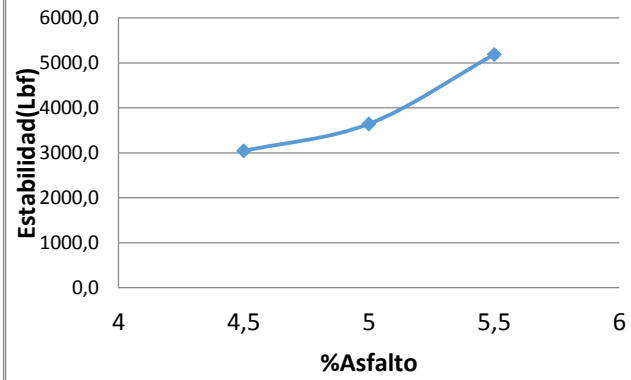


Diseño de mezcla asfáltica reemplazando un 30% del asfalto por ceniza y 75% del llenante mineral por ceniza																					
TIPO	No. Muestra	Espesor promedio	Volumen (cm ³)	Densidades			PE (g/cm ³)	PEMT (g/cm ³)	% volumen total			% vacios			Densidad Kg/m ³	%agua absorbida	Factor	Estabilidad (Lb)	Estabilidad (Lbf)	Estabilidad (Kg)	Flujo (mm)
				Aire(g)	Sumergida(g)	SSS(g)			asfalto	agregados	vacios	Agregados	Mezcla	lentos							
K																					
4,5	1	6,92	564,25	1193,0	628,1	1195	2,1044								2098,1143	0,353	0,873	1216	4709,26	481,52	16,00
4,5	2	6,91	566,39	1183,1	610,2	1185,2	2,0576								2051,3925	0,365	0,875	705	2736,54	279,81	17,00
4,5	3	6,82	555,83	1170,4	631,3	1171,6	2,1662								2159,7053	0,222	0,893	423	1675,70	171,34	20,00
	PROMEDIO			1182,2	623,2	1183,9333	2,1094	2,397	9,726	78,262	12,012	21,738	12,012	42,657	2103,0707				3040,50	310,89	17,67
5,00	1	6,89	560,52	1193,2	631,6	1194,4	2,1201								2113,7534	0,213	0,879	923	3599,11	368,01	14,00
5,00	2	6,82	556,55	1190,3	631,2	1190,9	2,1267								2120,2950	0,107	0,893	1182	4682,45	478,78	14,00
5,00	3	6,77	551,03	1177,9	619,6	1178,7	2,1068								2100,4584	0,143	0,905	660	2649,70	270,93	18,00
	PROMEDIO			1187,1	627,5	1188	2,1179	2,379	10,850	78,165	10,985	21,835	10,985	49,830	2111,5023				3643,76	372,57	15,33
5,50	1	6,80	553,56	1182,7	626,0	1185,1	2,1154								2109,0179	0,429	0,898	1019	4059,34	415,07	13,00
5,50	2	6,70	543,99	1189,5	638,9	1190,3	2,1572								2150,7644	0,145	0,923	1620	6633,17	678,24	13,00
5,50	3	6,74	555,52	1177,5	630,0	1179,2	2,1440								2137,5956	0,310	0,913	1201	4864,28	497,37	15,00
	PROMEDIO			1183,2	631,6	1184,8667	2,1389	2,361	12,053	78,525	9,422	21,475	9,422	59,640	2132,4593				5185,60	530,22	13,67

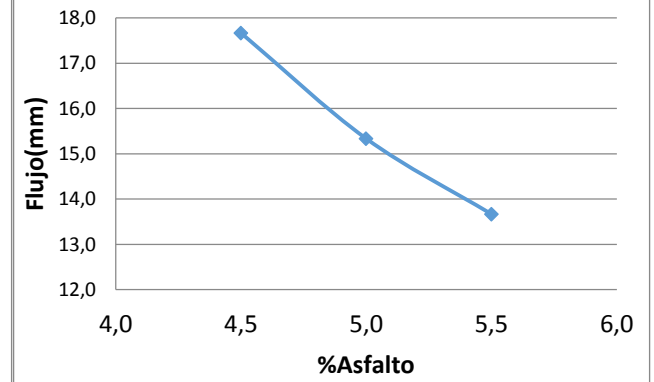
DENSIDAD vs %ASFALTO



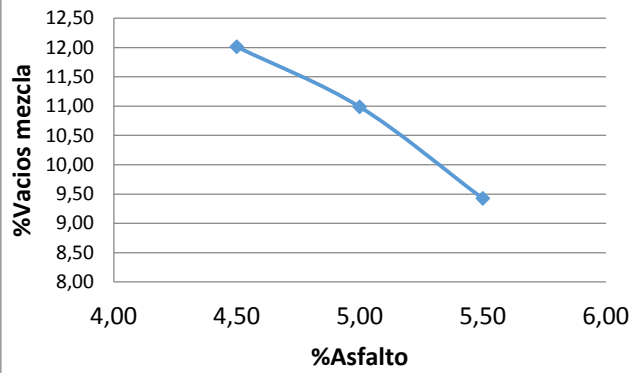
ESTABILIDAD vs %ASFALTO



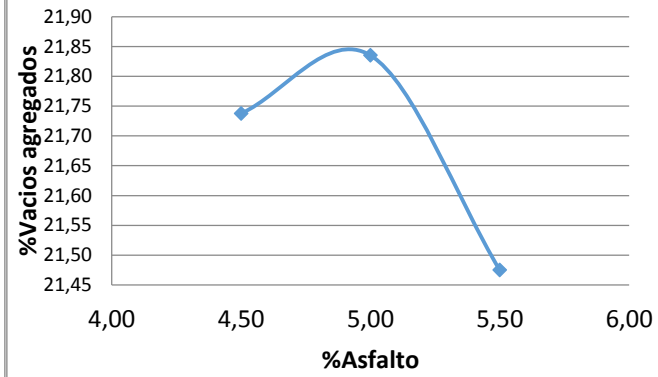
FLUJO vs %ASFALTO



%VACIOS MEZCLA vs %ASFALTO



%VACIOS AGREGADOS vs %ASFALTO



ANEXO 46. REGISTRO FOTOGRAFICO

