

**TRATAMIENTO Y MODIFICACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA
CONVENCIONAL 60-70 CON ADICIÓN DE CENIZA**

DAVID RICARDO CHAPARRO TRIANA



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
ESPECIALIZACIÓN EN VÍAS TERRESTRES
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA (S) (C)
2015**

**TRATAMIENTO Y MODIFICACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA
CONVENCIONAL 60-70 CON ADICIÓN DE CENIZA**

DAVID RICARDO CHAPARRO TRIANA

**Monografía como requisito de grado para optar al título de:
Especialista en Vías Terrestres**

**Director(a):
NORMA CRISTINA SOLARTE VANEGAS
Ingeniero Civil, Especialista en Carreteras, Especialista en Transportes**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESPECIALIZACIÓN EN VÍAS TERRESTRES
BUCARAMANGA (S) (C)
2015**

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Bucaramanga (S) (C), Junio de 2015

A Dios señor Todopoderoso por la fuerza y no permitir que desfalleciera, a mis padres por el apoyo emocional, incondicional y economico, a mi hermana por su ayuda incondicional y compañía, a mi novia por su entrega, compañía, alegría y cariño que facilito las cosas en los momentos difíciles, y a todas aquellas personas que de una u otra forma me apoyaron en esta nueva etapa profesional de mi vida.

DAVID RICARDO CHAPARRO TRIANA

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a todas y cada una de las personas, e instituciones que contribuyeron en la elaboración del presente documento, quienes con sus aportes valiosos hicieron posible obtener de una manera sencilla y práctica los resultados y conceptos aquí consignados.

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA – SECCIONAL BUCARAMANGA, Institución de formación superior sede de la Especialización en Vías Terrestres.

DINCOD LTDA, Ingenieros, consultores y distribuidores Ltda quienes prestaron el apoyo logístico para el desarrollo de la monografía y laboratorios.

NORMA CRISTINA SOLARTE VANEGAS, Ingeniera Civil, Magíster en Ingeniería de Vías Terrestres. Especialista en Carreteras y Transportes. Directora de la Especialización y Directora de este proyecto.

DIANA, JOHAN, FABIAN Por su colaboracion en la realizacion y compañía en el desarrollo de los laboratorios y toma de datos.

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN GENERAL DEL TRABAJO DE GRADO.	3
GENERAL SUMMARY OF WORK OF DEGREE.	4
INTRODUCCIÓN.	5
1. JUSTIFICACIÓN.	6
2. OBJETIVOS.	7
2.1. OBJETIVO GENERAL.	7
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	7
3. METODOLOGÍA.	8
4. ASPECTOS GENERALES.	9
4.1. DEFINICIONES.	9
5. DESCRIPCIÓN DE ENSAYOS CARACTERÍSTICAS Y ENSAYOS DE LABORATORIO A LOS MATERIALES UTILIZADOS PARA DESARROLLAR LAS MEZCLAS MDC-2.	11
5.1. GRANULOMETRÍA: “ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS GRUESO Y FINO” INV E – 213 – 13.	11
5.2. CARAS FRACTURADAS: “PORCENTAJE DE PARTICULAS FRACTURADAS EN UN AGREGADO GRUESO” INV E – 227 – 13.	13
5.3. GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN: “DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO.	16
5.4. ÍNDICE DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO “ÍNDICES DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO DE LOS AGREGADOS PARA CARRETERAS” INV E – 230 – 13.	21
5.5. DESGASTE EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES “RESISTENCIA A LA DEGRADACIÓN DE LOS AGREGADOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37.5 mm (1 ½) “POR MEDIO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES” INV E – 218 – 13.	23

5.6.	PENETRACION DE LOS MATERIALES BITUMINOSOS INV E – 706 – 13.	25
5.7.	PUNTO DE ABLANDAMIENTO DE MATERIALES BITUMINOSOS (APARATO DE ANILLO Y BOLA) INV E – 712 – 13.	27
5.8.	PUNTO DE INFLAMACIÓN Y DE COMBUSTIÓN MEDIANTE LA COPA ABIERTA DE CLEVELAND INV E – 709 – 13.	29
5.9.	PESO ESPECIFICO DE UNA MUESTRA DE ASFALTO CONVENCIONAL.	32
6.	DISEÑO DE MEZCLAS UTILIZANDO EL ROLLER COMPACTER.	33
7.	RESULTADOS DE LOS NÚCLEOS OBTENIDOS DE LAS PANELAS.	42
8.	ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES.	48
9.	RECOMENDACIONES.	50
	BIBLIOGRAFÍA.	52
	REGISTRO FOTOGRÁFICO.	54

LISTADO DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Cantidades mínimas de agregado para análisis granulométrico.	11
Cuadro 2. Material a caracterizar para una mezcla MDC-2 o MDC-19, para una panela de dimensiones 32x26x15 Cm	12
Cuadro 3. Franjas granulométricas para mezclas asfálticas en caliente de gradación continua	16
Cuadro 4. Diseño de mezcla asfáltica - Método Marshall.	39

LISTADO DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Resultados peso específico y absorción de agregados finos.	19
Tabla 2. Resultados peso específico y absorción agregados gruesos.	19
Tabla 3. Pesos Especificos	20
Tabla 4. Resultados densidad relativa agregado grueso.	20
Tabla 5. Resultados Ensayos Índice de Aplanamiento.	22
Tabla 6. Resultados Ensayos Índice de Alargamiento.	22
Tabla 7. Resultados resistencia al desgaste en máquina de los ángeles.	24
Tabla 8. Resultados equivalentes de arena.	25
Tabla 9. Resultados ensaya de Penetracion	26
Tabla 10. Resultados ensayo de penetracion	27
Tabla 11. Formulas y resultados ensayo de Punto de Inflamacion	31
Tabla 12. Resultados Peso Especifico	32
Tabla 13. Resultados briqueta N°4 sin modificar con 5% de asfalto.	35
Tabla 14. Resultados briqueta N° 5 sin modificar con 5% de asfalto.	35
Tabla 15. Resultados briqueta N° 6 sin modificar con 5.5% de asfalto.	36
Tabla 16. Resultados briqueta N°7 sin modificar con 5.5% de asfalto.	36
Tabla 17. Resultados briqueta N°8 Sin modificar on 6% de asfalto.	37
Tabla 18. Resultados briqueta N° 9 sin modificar con 6% de asfalto.	38
Tabla 19. Resultados peso específico y densidad Bulk.	40
Tabla 20. Resultados estabilidad y flujo.	40

Tabla 21 . Condiciones minimas	41
Tabla 22. Resultados peso específico y densidad Bulk - Briquetas resultantes de las panelas.	42
Tabla 23. Resultados estabilidad y flujo de briquetas resultantes de las panelas.	45

LISTADO DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema de una partícula fracturada con una cara fracturada.	13
Figura 2. Partículas fracturadas (Bordes agudos, Superficies rugosas)	14
Figura 3. Partículas fracturadas (Bordes agudos, Superficies lisas)	14
Figura 4. Partículas fracturadas (Bordes redondeados, Superficies rugosas)	14
Figura 5. Partícula fracturada, flanqueada por dos partículas no fracturadas (solo desportilladas)	15
Figura 6. Partículas no fracturadas (Bordes redondeados, Superficies lisas)	15
Figura 7. Partículas no fracturadas (Partículas redondeadas, Superficies lisas)	15
Figura 8. Tamices de barras	21
Figura 9. Calibrador de espesores (Para el índice de aplanamiento)	21
Figura 10. Calibrador de longitudes (Para el índice de alargamiento)	22
Figura 11. Degradación del agregado durante el ensayo.	23
Figura 12. Máquina de los ángeles.	23
Figura 13. Esferas de acero.	23
Figura 14. Colocación de la muestra dentro de la máquina de los ángeles.	23
Figura 15. Esquema del ensayo de penetración.	25
Figura 17. Esquema del ensayo de penetración.	26
Figura 16. Penetrometro	26
Figura 18. Aparato de anillo de bola.	28
Figura 19. Terminación del ensayo.	28
Figura 20. Equipo de copa abierta de Cleveland.	30

Figura 21. Placa de calentamiento.	30
Figura 22. Copa abierta de Cleveland.	30
Figura 23. Roller Compacter	33

LISTADO DE FOTOS

	Pág.
Foto 1. Tamizaje agregado a utilizar en la mezcla asfáltica	12
Foto 2. Canastilla metálica y agregado para hallar gravedad específica.	17
Foto 3. Secado superficial de la muestra	17
Foto 4. Determinación de la masa de la muestra sumergida	17
Foto 5. Materiales utilizados en el ensayo	18
Foto 6. Agregado en canastilla y sumergido en agua	18
Foto 7. Material listo para hallar la gravedad específica	18
Foto 8. Llevado emulsion asfáltica a temperatura de mezcla	27
Foto 9. Tomando temperatura	27
Foto 10. Ensayo de anillo y Bola	28
Foto 11. Ensayo de anillo y Bola	28
Foto 12. Ensayo de anillo y Bola terminado	29
Foto 13. Ensayo de inflamación y combustión	31
Foto 14. Llevando la emulsion asfáltica a temperatura de mezcla	32
Foto 15. Tomando temperatura a la emulsion asfáltica	32
Foto 16. Calentamiento de material antes de la mezcla.	34
Foto 17. Calentamiento del asfalto antes de la mezcla.	34
Foto 18. Mezcla de materiales a 150°C	34
Foto 19. Elaboración de briqueta - Método Marshall.	34
Foto 20. Compactación de briqueta - Método Marshall.	34
Foto 21. Compactación de mezcla asfáltica por Roller Compacter.	43

Foto 22. Compactación de mezcla asfáltica por Roller Compacter.	43
Foto 23. Material tamizado y clasificado.	54
Foto 24. Calentamiento del asfalto.	54
Foto 25. Calentamiento de material.	54
Foto 26. Temperatura ideal asfalto 150°C	54
Foto 27. Medida de temperatura del material a mezclar.	55
Foto 28. Temperatura ideal del material a mezclar 120 - 150°C.	55
Foto 29. Mezcla del asfalto con el material granular.	55
Foto 30. Mezcla de ambos materiales (asfalto y material granular).	55
Foto 31. Colocación del material en el martillo Marshall.	55
Foto 32. Elaboración de briquetas por método Marshall.	55
Foto 33. Briquetas después de falladas	56
Foto 34. Calentamiento del asfalto.	56
Foto 35. Medición de temperatura del asfalto.	56
Foto 36. Mezcla de material modificado de la primer panela.	57
Foto 37. Panela N°1 en el Roller Compacter.	57
Foto 38. Cuadre y obtención de núcleos.	57
Foto 39. Obtención de los núcleos de las panelas.	57
Foto 40. Material sobrante después de obtener los núcleos.	57
Foto 41. Núcleos obtenidos y marcados listos para cortar por la mitad.	57
Foto 42. Núcleos obtenidos listos para ser cortados.	58
Foto 43. Medida para sacar el núcleo.	58
Foto 44. Consiguiendo núcleos-panela 3.	58
Foto 45. Consiguiendo núcleos-panela 3.	58

Foto 46. Núcleo obtenido.	58
Foto 47. Núcleos obtenidos	58
Foto 48. Material sobrante después de sacar núcleos.	59
Foto 49. Preparación y marcación de briquetas para realizar ensayos.	59
Foto 50. Ensayo peso específico y densidad Bulk. Briquetas obtenidas de las panelas.	59
Foto 51. Briquetas listas para ensayo de pesa específico y densidad Bulk.	59

RESUMEN GENERAL DEL TRABAJO DE GRADO.

TÍTULO: TRATAMIENTO Y MODIFICACION DE LA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL 60-70 CON ADICION DE CENIZA

AUTORES: DAVID RICARDO CHAPARRO TRIANA

FACULTAD: INGENIERÍA CIVIL
ESPECIALIZACIÓN EN VÍAS TERRESTRES

DIRECTOR: NORMA CRISTINA SOLARTE VANEGAS

RESUMEN.

La modificación de un asfalto es la aplicación de nuevas técnicas que buscan optimizar el aprovechamiento del asfalto efectivo en la pavimentación de las vías. En este caso, ésta técnica consistió en adicionar ceniza volante a una mezcla asfáltica convencional con el fin de comprobar la posibilidad de reemplazo de finos por ceniza, comprobar su resistencia a las deformaciones por factores climatológicos y del tránsito “peso vehicular”.

Se buscó al modificar una mezcla asfáltica con ceniza, analizar la posibilidad de reutilizar residuos industriales de zonas petroleras. En esta monografía se evaluaron las características técnicas de estas mezclas y se compararon con mezclas convencionales. Los valores de las modificadas no distan mucho de las convencionales, convirtiéndose en una opción de considerable factibilidad técnicamente.

PALABRAS CLAVES: ASFALTOS MODIFICADOS, MEZCLAS DENSAS EN CALIENTE MODIFICADAS, CENIZA, APROVECHAMIENTO DEL ASFALTO, CARACTERISTICAS MECANICAS, CENIZA COMO LIGANTE.

Vo. Bo. DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF DEGREE.

TITLE: TREATMENT AND MODIFICATION OF CONVENTIONAL ASPHALT MIX ADDED OF ASH 60-70

AUTHORS: DAVID RICARDO CHAPARRO TRIANA

FACULTY: CIVIL ENGINEERING
SPECIALIZATION OVERLAND ROUTES

DIRECTOR: NORMA CRISTINA SOLARTE VANEGAS

ABSTRACT.

The asphalt's modification is based at the application of new techniques that maximize the use of effective asphalt paving roads.

In this case, the technique used it is about to add fly ash to an asphalt's conventional mixture. This in order to test the possibility to replace the fine ash, checking its resistance to the damage caused for climatological factors and deformations transit "vehicle weight".

The purpose was to find the modification of asphalt mixed with ash, make an analysis of the possibility of reusing industrial waste oil areas. In this project there were evaluated the technical characteristics of these mixtures, they were also compared to conventional mixtures. The values given of the modified are not far from the conventional ones, becoming a considerable option of a technically feasible.

KEYWORDS: ASPHALT MODIFIED, DENSE HOT MIXES MODIFIED, ASH,
USE OF ASPHALT,
MECHANICAL CHARACTERISTICS,
ASH AS A BINDER.

Vo. Bo. DIRECTOR OF WORK DEGREE

INTRODUCCIÓN.

En la actualidad de Colombia, para la mayoría de sus redes viales, utiliza mezclas asfálticas las cuales brindan mayor movilidad, confort y una larga vida útil, aunque esta durabilidad se ve afectada por las condiciones climatológicas, tránsito pesado, grandes volúmenes de tráfico por un solo carril, zonas de frenado, intersecciones, paradas de servicio público, accesos a las cabinas de peaje, los efectos en la mayoría de los pavimentos se ven reflejados cuando hay altas temperaturas, pues las altas temperaturas generan deformaciones plásticas permanentes y a su vez condiciones de inseguridad, cuando los vehículos viajan a altas velocidades.

Debido a la gran oferta de pavimento que se ha tenido en el país, se ha logrado un avance significativo en la construcción de concreto de pavimento, esta gran oferta está acompañada de un mejor control, en su producción y en su colocación, ya que cuando se pre mezclan, aportan conocimiento y herramientas para la ejecución de pavimentos.

Hoy en Colombia se trabaja con las mejores técnicas de construcción de pavimentos, las especificaciones están a la altura de las mejor concebidas en el mundo, dando pie para la modificación y creación de los nuevos diseños y mezclas asfálticas.

1. JUSTIFICACIÓN.

Las variaciones del clima y sus repentinos cambios en las temperaturas, están generando en los pavimentos asfálticos grandes deformaciones permanentes y a su vez están incidiendo en las propiedades de rigidez y fatiga de la mezcla, las cuales se están originando en sitios donde anteriormente no se habían presentado, generando peligro para la comunidad que transita estas vías a altas velocidades.

Además de la falta de finos que se presenta en la mezcla y en el aumento del TPD, ocasionan daños en la estructura de los pavimentos de una manera más rápida y en menor tiempo, lo que genera también en los usuarios de las vías inconformidad e inseguridad.

Debido a estas razones, se busca añadir ceniza volante (desecho de petroleras) a una mezcla convencional que reemplazando un porcentaje de 10%, 20% y 30% de los finos (pasa 200) y que mezclado con el betún que actúa como ligante en una mezcla convencional se logre determinar si mejora o no la calidad de la mezcla asfáltica, mejorando su comportamiento y propiedades ante los cambios repentinos de temperatura.

2. OBJETIVOS.

2.1. OBJETIVO GENERAL.

Desarrollar una mezcla asfáltica 60 – 70, modificando una mezcla convencional añadiéndole ceniza y determinar si esta adición mejora o no las propiedades y el comportamiento de una mezcla 60 – 70 convencional.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- ✓ Aumentar la rigidez a altas temperaturas de servicio, mejorando la resistencia de las mezclas a la deformación.
- ✓ Verificar las densidades de compactación obtenidas por el método Marshall y las densidades obtenidas con el Roller Compacter.
- ✓ Reducir el endurecimiento en servicio, brindando una vida superior a la mezcla.
- ✓ Realizar la comparación de los resultados de las MDC – 2 modificada con ceniza con la MDC – 2 convencional compactadas con el Roller Compacter y los resultados obtenidos con el método tradicional “método Marshall”

3. METODOLOGÍA.

Los pasos que se siguieron para el desarrollo de esta monografía fueron los siguientes:

- Inicialmente se consiguieron todos los materiales tanto de asfalto, agregado y ceniza proveniente de locaciones petroleras.
- Se realizaron los ensayos de caracterización de los agregados y se alistaron las cantidades requeridas teniendo en cuenta la normatividad INVIAS 2013.
- Posteriormente se realizó un ensayo marshall con nueve (9) briquetas de porcentajes de 5%, 5.5% y 6% de asfalto con mezcla convencional y se registraron las alturas de material suelto en la briketa y compactado. Con este diseño se obtuvo el porcentaje óptimo de asfalto.
- Con el mismo porcentaje óptimo de asfalto se elaboraron las cuatro (4) panelas de 32 x 26 x 15 cm, una convencional sin adición de ceniza y tres panelas con adición de ceniza de 10%, 20% y 30%.
- Se extrajeron núcleos del mismo tamaño de una briketa Marshall y se le aplicó el mismo procedimiento para ensayar una briketa Marshall elaborada en un pedestal con un martillo.
- Finalmente se elaboraron gráficas de análisis y se obtuvieron las conclusiones y recomendaciones.

4. ASPECTOS GENERALES.

Los asfaltos modificados nacen de la intención de reducir la energía requerida para la producción, almacenamiento y aplicación de cementos asfálticos en calzadas.

Los problemas que se hallan comúnmente en este tipo de modificaciones es el de obtener soluciones coloidales estables de asfaltenos, maltenos y ceniza. Puesto que entre sí, existen fuerzas que tienden a separar estos compuestos formando superficies incompatibles que resultan en una falla del material.

Sin embargo, la modificación con ceniza es ecológicamente favorable, principalmente al disminuir el uso de energía requerida para el proceso de asfaltos y el aprovechamiento de un residuo cuyas posibilidades de recuperación o reutilización son limitadas.

Para trabajar en la modificación de mezclas asfálticas con materiales no convencionales, se hace necesario dar a conocer los conceptos técnicos.

4.1. DEFINICIONES.

Asfalto: Es una sustancia que constituye la fracción más pesada del petróleo crudo. Se encuentran a veces en grandes depósitos naturales, también se encuentra en estado natural formando una mezcla de hidrocarburos sólidos en lagunas de algunas cuencas petroleras.

Pavimento: Es una estructura colocada en capas constituidas por uno o más materiales que se colocan sobre el terreno natural o nivelado, para aumentar su resistencia y servir para la circulación de personas o vehículos. Entre los materiales utilizados en la pavimentación urbana, industrial o vial están los suelos con mayor capacidad de soporte, los materiales rocosos, el hormigón y las mezclas asfálticas.

Mezcla Asfáltica: consiste en conformar una matriz de agregado y de asfalto, materiales minerales (mezcla de varios tamaños de áridos y finos) que se unen, se extienden y compactan en capas. Debido a sus propiedades es el material más común en los proyectos de construcción para afirmados de carreteras, aeropuertos y parqueaderos. Debido a sus buenas propiedades como impermeabilizante también se usa en el núcleo de ciertas presas como impermeabilizante.

Tipos de mezclas asfálticas: *Dependiendo el tipo de construcción que se pretenda realizar en una obra de infraestructura vial, es el tipo de base asfáltica la que cambia, por ejemplo, para la ejecución de bacheos, bases asfálticas livianas,*

capas de rodadura y bases asfálticas bajas, generalmente se emplea la gradación MDC-1, si el espesor compacto no supera los 3 cm, se empleara la gradación MDC-2 y para espesores mayores a 5 cm, se utilizara la gradación MDC-3.¹

Teniendo ya definido el tipo de construcción que se pretenda realizar, se deben efectuar unos ensayos a los materiales de la zona para su respectiva caracterización y clasificación, y de esta manera verificar si son aptos para su uso o no.

Los ensayos que se realizaron en la elaboración de este documento fueron:

AGREGADO GRUESO

- Granulometría.
- Caras Fracturadas.
- Gravedad específica y absorción.
- Índice de aplanamiento y alargamiento.
- Desgaste en la máquina de los ángeles.

AGREGADOS FINOS

- Granulometría.
- Gravedad específica y absorción.
- Materia Orgánica.
- Índice de plasticidad y límites (Líquido “LL” y plástico “LP”).
- Equivalente de arena.

ASFALTO

- Índice de penetración.
- Punto de Ablandamiento.
- Punto de ignición y llama
- Peso específico

¹ Normas y documentos técnicos INVIAS 2013.

5. DESCRIPCIÓN DE ENSAYOS CARACTERÍSTICAS Y ENSAYOS DE LABORATORIO A LOS MATERIALES UTILIZADOS PARA DESARROLLAR LAS MEZCLAS MDC-2.

5.1. GRANULOMETRÍA: “ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS GRUESO Y FINO” INV E – 213 – 13.

El objetivo de este ensayo es establecer la distribución de tamaños de las partículas de los agregados finos y gruesos de un material por medio de un tamizado.

La importancia de este método radica en poder determinar la granulometría de los materiales que se van a utilizar o que han sido propuestos.

Los resultados se utilizan para determinar si cumplen las normas y especificaciones mínimas en relación con la distribución de partículas, también sirven para el estudio de relaciones pertinentes a la porosidad y al empaquetamiento entre partículas.

La masa mínima de la muestra de agregado grueso para el análisis granulométrico, después de secada, depende del tamaño nominal del agregado, como se indica en el siguiente cuadro.²

Cuadro 1. Cantidades mínimas de agregado para análisis granulométrico.

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL TAMICES CON ABERTURAS CUADRADAS mm (pulg.)	MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA DE ENSAYO Kg (lb)
9.5 (3/8)	1 (2)
12.5 (1/2)	2 (4)
19.0 (3/4)	5 (11)
25.0 (1)	10 (22)
37.5 (1½)	15 (33)
50.0 (2)	20 (44)
63.0 (2½)	35 (77)
75.0 (3)	60 (130)
90.0 (3½)	100 (220)
100.0 (4)	150 (330)
125.0 (5)	300 (660)

Fuente: Norma INVIAS 2013

² Tomado de NORMAS DE ENSAYOS DE MATERIALES PARA CARRETERAS.

Foto 1. Tamizaje agregado a utilizar en la mezcla asfáltica



Fuente: Autor

- ❖ La cantidad de material a tamizar es determinada por medio de la granulometría para una mezcla densa en caliente MDC – 2 o MDC – 19 según la nueva norma del Invias 2013.

Cuadro 2. Material a caracterizar para una mezcla MDC-2 o MDC-19, para una panela de dimensiones 32x26x15 Cm

CANTIDAD DE MATERIAL A CARACTERIZAR							
TAMIZ	% PASA	% RETIENE	TIPO AGREGADO	CANT (g)	CANT x TAMIZ x PANELA (g)	CANT PARA 4 PANELAS	CANT PARA 4 PANELAS (Kg)
¾	100	0	GRUESO	24000			
½	87.5	12.5			3000	12000	12
3/8	79	8.5			2040	8160	8.2
Nº 4	57	22			5280	21120	21.2
Nº 10	37	20	FINOS		4800	19200	19.2
Nº 40	19.5	17.5			4200	16800	16.8
Nº 80	12.5	7			1680	6720	6.8
Nº 200	6	6.5			1560	6240	6.3
PASA 200		6			1440	5760	5.8

Continuación Cuadro 2. Material a caracterizar para una mezcla MDC-2 o MDC-19, para una panela de dimensiones 32x26x15 Cm

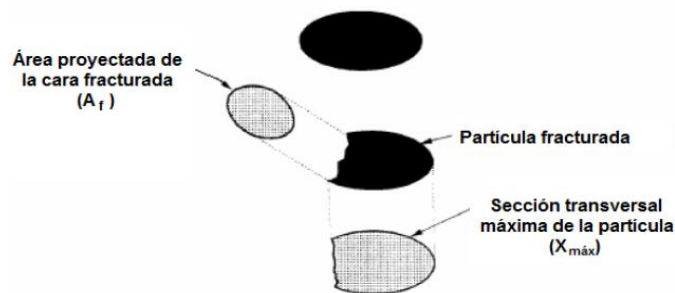
ASFALTO				1500			
		100			24000	96000	96.3

Fuente: Autor

5.2. CARAS FRACTURADAS: “PORCENTAJE DE PARTICULAS FRACTURADAS EN UN AGREGADO GRUESO” INV E – 227 – 13.

El objeto de este ensayo es determinar el porcentaje, en masa o por conteo, de partículas de un agregado grueso que tienen un número especificado de caras fracturadas.

Figura 1. Esquema de una partícula fracturada con una cara fracturada.



Nota: Se considera que una cara es fracturada, solo si $A_f \geq 0.25 X_{máx}$

Fuente: Norma INVIAS 2013

La importancia de este ensayo radica en que hay especificaciones que tienen requisitos relacionados con un porcentaje de partículas fracturadas en los agregados gruesos.

- Una de las intenciones de estos requisitos es maximizar la resistencia al corte, incrementando la fricción entre partículas en mezclas de agregados, ligadas o no.
- Otro propósito es dar estabilidad a los agregados usados en tratamientos superficiales y proporcionar mayor fricción y textura a los agregados usados en la construcción de capas de rodadura. Por medio de este método se puede determinar la aceptabilidad de los agregados gruesos con respecto a los requisitos.³

³ Tomado de NORMAS DE ENSAYOS DE MATERIALES PARA CARRETERAS.

Figura 2. Partículas fracturadas (Bordes agudos, Superficies rugosas)



Fuente: Norma INVIAS 2013

Figura 3. Partículas fracturadas (Bordes agudos, Superficies lisas)



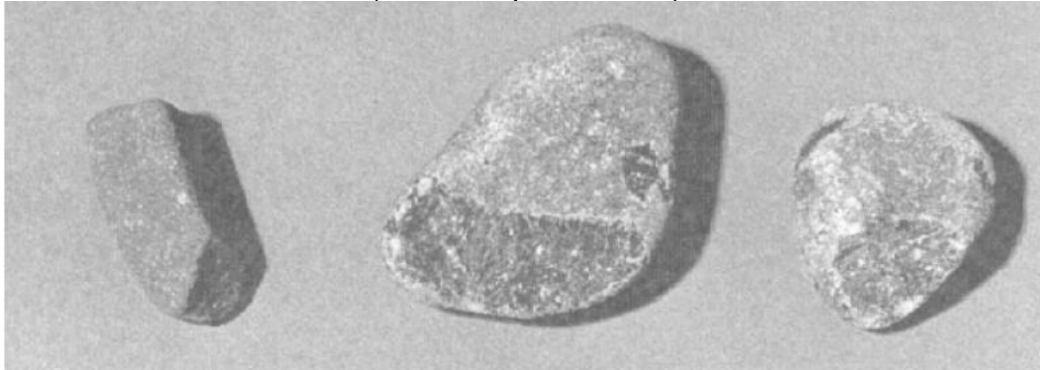
Fuente: Norma INVIAS 2013

Figura 4. Partículas fracturadas (Bordes redondeados, Superficies rugosas)



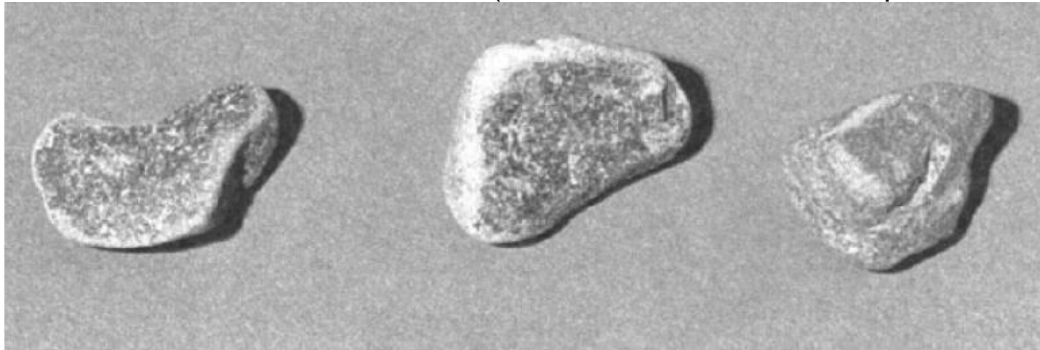
Fuente: Norma INVIAS 2013

Figura 5. Partícula fracturada, flanqueada por dos partículas no fracturadas (solo desportilladas)



Fuente: Norma INVIAS 2013

Figura 6. Partículas no fracturadas (Bordes redondeados, Superficies lisas)



Fuente: Norma INVIAS 2013

Figura 7. Partículas no fracturadas (Partículas redondeadas, Superficies lisas)



Fuente: Norma INVIAS 2013

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

El material fue adquirido en la planta de asfalto ASFALTART teniendo en cuenta que es el material utilizado por ellos para desarrollar una mezcla densa en caliente MDC - 2 o según la nueva norma INVIAS 2013 MDC – 19, la granulometría es la siguiente.

Cuadro 3. Franjas granulométricas para mezclas asfálticas en caliente de gradación continúa

TIPO DE MEZCLA		TAMIZ (mm / U.S. Standard)									
		37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75	2.00	0.425	0.180	0.075
		1½"	1"	¾"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 80	No. 200
		% PASA									
DENSА	MDC-25		100	80-95	67-85	60-77	43-59	29-45	14-25	8-17	4-8
	MDC-19			100	80-95	70-88	49-65	29-45	14-25	8-17	4-8
	MDC-10					100	65-87	43-61	16-29	9-19	5-10
SEMIDENSА	MSC-25		100	80-95	65-80	55-70	40-55	24-38	9-20	6-12	3-7
	MSC-19			100	80-95	65-80	40-55	24-38	9-20	6-12	3-7
GRUESА	MGC-38	100	75-95	65-85	47-67	40-60	28-46	17-32	7-17	4-11	2-6
	MGC-25		100	75-95	55-75	40-60	28-46	17-32	7-17	4-11	2-6
ALTO MÓDULO	MAM -25		100	80-95	65-80	55-70	40-55	24-38	10-20	8-14	6-9
TOLERANCIAS EN PRODUCCIÓN SOBRE LA FÓRMULA DE TRABAJO (±)		-	4 %				3 %			2 %	

Fuente: Norma INVIAS 2013

Al material se le realizaron los diferentes ensayos y de esta manera se lograron determinar sus propiedades

Los siguientes son los resultados obtenidos y su cumplimiento con la normativa INVIAS 2013

5.3. GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN: “DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO.

El objeto de este ensayo es determinar la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado grueso (sin incluir los vacíos entre ellas), la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado grueso. Estas

densidades, en Kg/m³ o Lb/pie³, se expresa como seca al horno (SH), saturada y superficialmente seca (SSS), o aparente. De esta manera se puede determinar la densidad promedio que representa la muestra.

Foto 2. Canastilla metálica y agregado para hallar gravedad específica.



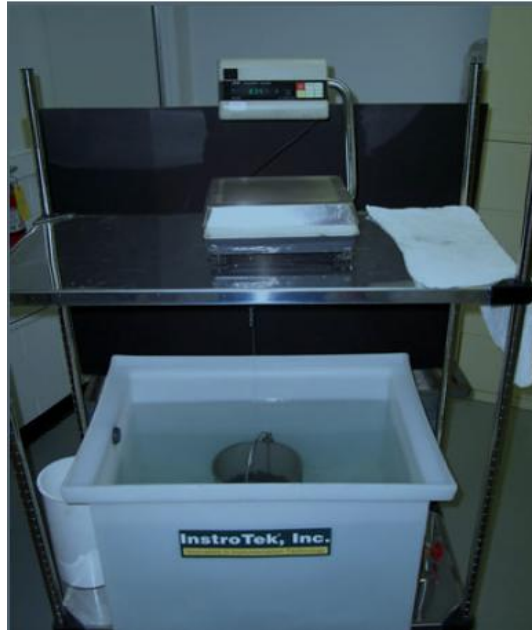
Fuente: Autor

Foto 3. Secado superficial de la muestra



Fuente: Autor.

Foto 4. Determinación de la masa de la muestra sumergida



Fuente: Autor

Foto 5. Materiales utilizados en el ensayo



Fuente: Autor

Foto 6. Agregado en canastilla y sumergido en agua



Fuente: Autor

Foto 7. Material listo para hallar la gravedad específica



Fuente. Autor

Tabla 1. Resultados peso específico y absorción de agregados finos.

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS INVE-222		
NOMBRE	UNIDAD	VALOR
Peso al aire de la muestra desecada (A)	g	499.8
Peso del picnómetro aforado lleno de agua (B)	g	691.6
Peso total del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua (C)	g	1005.8
Peso de la muestra saturada, con superficie seca (S)	g	500
PESO ESPECIFICO		
Gravedad específica aparente $23/23C = (A/(B+A-C))$	g/cm ³	2.69
Gravedad específica bulk S.S.S $23/23C = (S/(B+S-C))$	g/cm ³	2.69
Gravedad específica bulk $23/23C = (A/(B+S-C))$	g/cm ³	2.69
Absorción $((S-A)/A)*100$	%	0.04

Fuente: Autor

Tabla 2. Resultados peso específico y absorción agregados gruesos.

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS INVE-223		
NOMBRE	UNIDAD	VALOR
(A)=Masa en el aire de la muestra seca (gr)	g	1985.8
(B)= Masa en el aire de la muestra saturada con superficie seca (gr)	g	2002.8
(C) = Masa sumergida en agua de la muestra saturada (gr)	g	1248
PESO ESPECIFICO		
Gravedad específica aparente $23/23C = (A/(A-C))$	g/cm ³	2.69
Gravedad específica bulk S.S.S $23/23C = (B/(B-C))$	g/cm ³	2.65
Gravedad específica bulk $23/23C = (A/(B-C))$	g/cm ³	2.63
Absorción $((B-A)/A)*100$	%	0.85607815

Fuente: Autor

Tabla 3. Pesos Especificos

DESCRIPCIÓN	PESO CON PLATÓN	PESO SIN PLATÓN	UND
PESO PLATÓN	189		g
PESO SUPERFICIALMENTE SECO (B)	2174.8	1985.8	g
PESO SUMERGIDO (C)	1248	1059	g
PESO SECO AL HORNO (A)	2002.8	1813.8	g

Fuente: Autor

Tabla 4. Resultados densidad relativa agregado grueso.

DESCRIPCION	RESULTADO	UNIDADES	FORMULA
DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECIFICA) SECA AL HORNO (SH)	1.957		$SH = \frac{A}{(B - C)}$
DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECIFICA) SUPERFICIALMENTE SECA (SSS)	2.143		$SSS = \frac{B}{(B - C)}$
DENSIDAD RELATIVA APARENTE (GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE)	2.403		$\frac{A}{(A - C)}$
DENSIDAD EN CONDICION SECA AL HORNO (SH)	1952.16	Kg/m ³	Densidad (SH), kg/m ³ = $\frac{997.5 A}{(B - C)}$
DENSIDAD EN CONDICION SECA AL HORNO (SH)	121.87	Lb/pie ³	Densidad (SH), lb/pie ³ = $\frac{62.27 A}{(B - C)}$
DENSIDAD EN CONDICION SATURADA Y SUPERFICIALMENTE SECA (SSS)	2137.28	Kg/m ³	Densidad SSS, kg/m ³ = $\frac{997.5 B}{(B - C)}$
DENSIDAD EN CONDICION SATURADA Y SUPERFICIALMENTE SECA (SSS)	133.42	Lb/pie ³	Densidad SSS, lb/pie ³ = $\frac{62.27 B}{(B - C)}$
DENSIDAD APARENTE	2397.01	Kg/m ³	Densidad aparente, kg/m ³ = $\frac{997.5 A}{(A - C)}$
DENSIDAD APARENTE	77.55	Lb/pie ³	Densidad aparente, lb/pie ³ = $\frac{62.27 A}{(A - C)}$
Absorcion, %	9.48	%	Absorción, % = $\frac{B - A}{A} \times 100$

Fuente: Autor

Para Mezcla MDC-2 el equivalente de arena la variación entre las dos muestras debe ser menor del 5%

5.4. ÍNDICE DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO “ÍNDICES DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO DE LOS AGREGADOS PARA CARRETERAS” INV E – 230 – 13.

Determinar los índices de aplanamiento y alargamiento de los agregados que van a ser utilizados en la construcción de las mezclas asfálticas.

Este tipo de ensayo se aplica a cualquier tipo de agregado de origen natural o artificial, este ensayo no se puede aplicar a partículas que tengan un tamaño menor a $\frac{1}{4}$ " o mayores a $2 \frac{1}{2}$ ", mientras que el ensayo no para hallar el índice de alargamiento no aplica para tamaños menores de $\frac{1}{4}$ " o mayores a 2".

La realización de este ensayo es importante debido a que la forma de los agregados con llevan una gran responsabilidad en la construcción de carreteras. Las partículas planas y alargadas tienden a originar mezclas poco trabajables, lo cual puede afectar su durabilidad a corto y largo plazo.

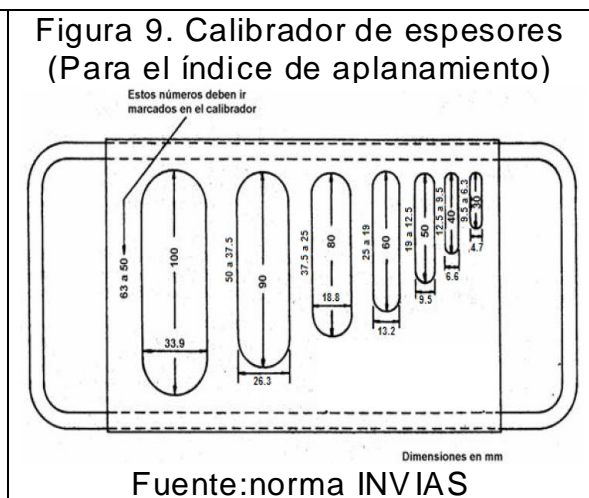
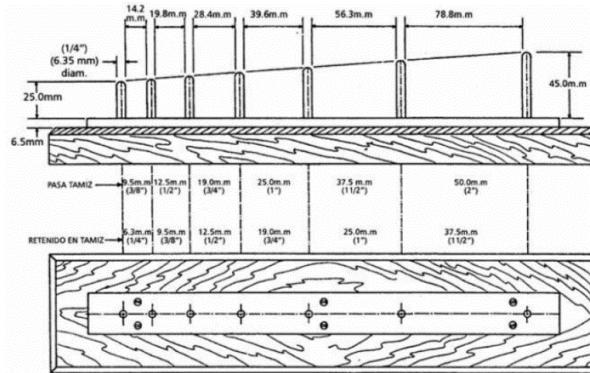


Figura 10. Calibrador de longitudes (Para el índice de alargamiento)



Fuente: norma INVIAS

En capas granulares y en mezclas asfálticas, aquellas partículas aplanadas o con alargamiento son propensas a rotura y desintegración durante el transcurso de la compactación, modificando así las granulometrías iniciales del agregado y afectando negativamente su comportamiento.

Tabla 5. Resultados Ensayos Índice de Aplanamiento.

Tamices		Masa Inicial Fracción	Granulometría	Masa Partículas Planas	Índice De Aplanamiento Por Fracción
pasa	retiene	g	%	g	
3/4	1/2	1000	66.667	128.9	12.89
1/2	3/8	500	33.333	90.1	18.02
Totales		1500	100	219	
IA					15

Fuente: Autor

Para Mezcla MDC-2 el índice de aplanamiento menor del 30%

Tabla 6. Resultados Ensayos Índice de Alargamiento.

Tamices		Masa Inicial Fracción	Granulometría	Masa Partículas Alargadas	Índice De Alargamiento Por Fracción
pasa	retiene	g	%	g	
3/4	1/2	1000	66.667	410.1	41.01
1/2	3/8	500	33.333	54.2	10.84
totales		1500	100	464.3	
IL					31

Fuente: Autor

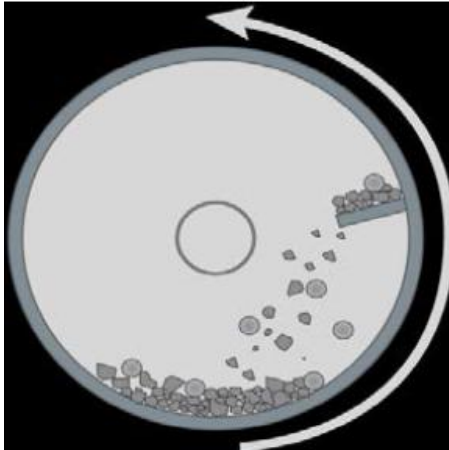
Para Mezcla MDC-2 el índice de alargamiento menor del 30%

5.5. DESGASTE EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES “RESISTENCIA A LA DEGRADACIÓN DE LOS AGREGADOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37.5 mm (1 ½) “POR MEDIO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES” INV E – 218 – 13.

Este ensayo tiene por objeto medir la resistencia a la degradación que tienen los agregados gruesos por medio de la máquina de los ángeles.

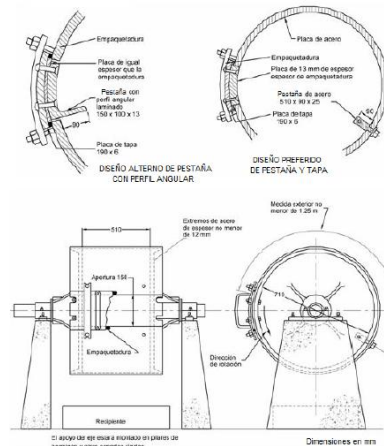
Este ensayo se usa como indicador de la calidad relativa de los agregados gruesos y de esta manera garantizar la calidad y durabilidad de la mezcla asfáltica, ya que estas obras permanecen expuestas a la intemperie, donde los cambios ambientales no darán interrupción alguna a su cuidado, así como también la acción humana y el paso de vehículos no tendrán cuidado para proteger dichas obras.

Figura 11. Degradación del agregado durante el ensayo.



Fuente: norma INVIAS

Figura 12. Máquina de los ángeles.



Fuente: norma INVIAS

Figura 13. Esferas de acero.



Fuente: norma INVIAS

Figura 14. Colocación de la muestra dentro de la máquina de los ángeles.



Fuente: norma INVIAS

Tabla 7. Resultados resistencia al desgaste en máquina de los ángeles.

RESISTENCIA AL DESGASTE EN MÁQUINA DE LOS ÁNGELES								
TAMAÑO FRACCIÓN				PESO REAL g	PESO Y GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA (g)			
PASA TAMIZ		RETENIDO TAMIZ			TIPO GRANULOMETRÍA			
mm	N°	mm	N°		A	B	C	D
37.5	1 1/2"	25	1"		1250 +/- 25			
25	1"	19	3/4"		1250 +/- 25			
19	3/4"	12.5	1/2"	2502	1250 +/- 10	2500 +/- 10		
12.5	1/2"	9.5	3/8"	2498	1250 +/- 11	2500 +/- 10		
9.5	3/8"	6.3	N°3				2500 +/- 10	
6.3	N°3	4.75	N°4				2500 +/- 10	
4.75	N°4	2.36	N°8					5000 +/- 10
peso total de la muestra				5000	5000 +/- 10	5000 +/- 10	5000 +/- 10	5000 +/- 10
CARGA ABRASIVA	N° ESFERAS				12	11	8	6
	PESO DE CARGA TOTAL (g)				5000 +/- 25	4584 +/- 25	3330 +/- 20	2500 +/- 15
	N° VUELTAS				500			

RESULTADOS

TIPO DE GRANULOMETRÍA	B
PESO INICIAL MUESTRA (g)	5000
PESO FINAL MUESTRA LAVADA EN TAMIZ 1,70 mm N°12 (g)	3849

Fuente: Autor

Para Mezcla MDC-2 el desgaste de los ángeles

EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADOS FINOS INV – 133 – 13

El objetivo principal de este ensayo, en condiciones contralodas es determinar las proporciones de polvo y el material de apariencia arcillosa o finos plasticos que se encuentran presentes en el suelo.

El termino EQUIVALENTE DE ARENA es un concepto de la mayoría de suelos los granulares y los agregados finos son mezcla de arena y partículas gruesas deseables y de polvo y finos arcillosos o plasticos indeseables.⁴

Tabla 8. Resultados equivalentes de arena.

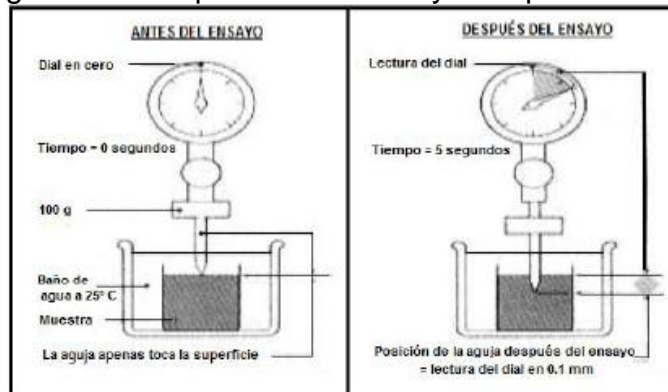
EQUIVALENTE DE ARENA			
MUESTRA 1		MUESTRA 2	
ARCILLA	5.15	ARCILLA	4.8
ARENA	3.35	ARENA	3
EA1	65.0	%	
EA2	62.5	%	64 %

Fuente:Autor

5.6. PENETRACION DE LOS MATERIALES BITUMINOSOS INV E – 706 – 13.

La importancia de este ensayo es poder medir la consistencia de los productos bituminosos a la temperatura del ensayo. Altos valores de penetración indican consistencias más blandas.

Figura 15. Esquema del ensayo de penetración.



Fuente: norma INVIAS

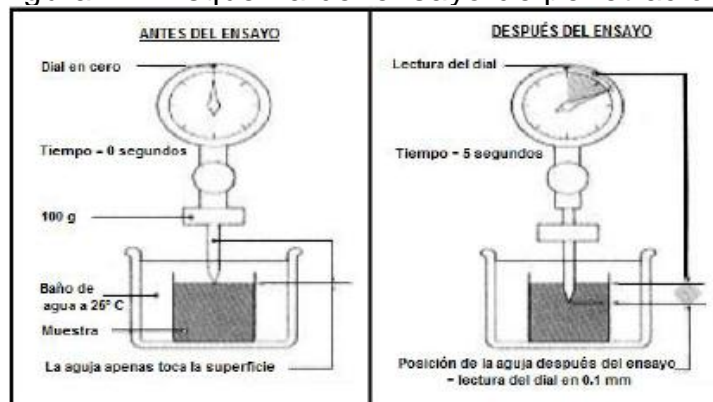
⁴ Tomado de NORMA INVIAS 2013

Figura 16. Penetrometro



Fuente: norma INVIAS

Figura 17. Esquema del ensayo de penetración.



Fuente: norma INVIAS

Se realizó este ensayo con 20 puntos de penetración en asfalto arrojando los siguientes datos:

Tabla 9. Resultados ensaya de Penetracion

1)	60	6)	65	11)	62	16)	60
2)	63	7)	60	12)	60	17)	59
3)	57	8)	62	13)	58	18)	55
4)	58	9)	59	14)	60		
5)	63	10)	60	15)	63		

Fuente: Autor

Tabla 10. Resultados ensayo de penetracion

NUMERO DE PENETRACIONES	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18
DATOS OBTENIDOS	60	63	57	58	63	65	60	62	59	60	62	60	58	60	63	60	59	56
PENETRACION (0.1 mm)	60			62			60			61			60			58		
DIFERENCIA MAXIMA ENTRE VALORES EXTREMOS	4			7			3			2			5			4		

Fuente: Autor

Foto 8. Llevado emulsion asfaltica a



Fuente: Autor

Foto 9. Tomando temperatura



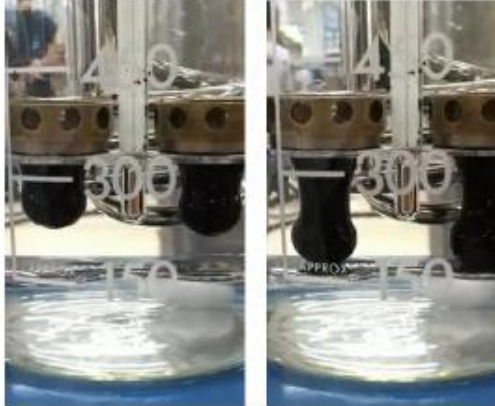
Fuente: Autor

Al verificar la tabla anterior, nos podemos dar cuenta que la diferencia máxima entre valores extremos cumplen solo 4 de los 6 datos que se obtuvieron, debido a las condiciones iniciales y a la disminución de la temperatura de la muestra mientras se realizaba el procedimiento.

5.7. PUNTO DE ABLANDAMIENTO DE MATERIALES BITUMINOSOS (APARATO DE ANILLO Y BOLA) INV E – 712 – 13.

La importancia de este método radica en poder determinar el punto de ablandamiento del asfalto debido a que es un material visco – elástico el cual no cambia de estado sólido a líquido a una temperatura definida, por tal motivo se debe determinar unos resultados que sea comparables y reproducibles.

Foto 12. Ensayo de anillo y Bola terminado



Fuente: Autor

- Presión barométrica del ambiente: 101.8 Kpa
- Presión barométrica del ambiente: 763.56 mm Hg
- Temperatura Ambiente: 26 °C

Se montó el equipo para realizar el ensayo de punto de ablandamiento en agua, se realizaron 2 ensayos únicamente arrojando los siguientes resultados.

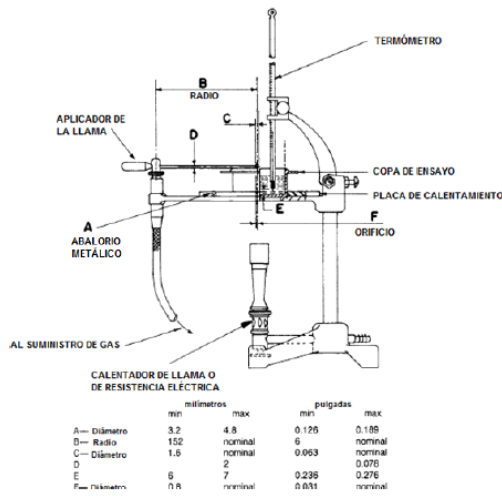
PUNTO DE ABLANDAMIENTO ESFERA # 1: 52°C

PUNTO DE ABLANDAMIENTO ESFERA # 2: 54°C

5.8. PUNTO DE INFLAMACIÓN Y DE COMBUSTIÓN MEDIANTE LA COPA ABIERTA DE CLEVELAND INV E – 709 – 13.

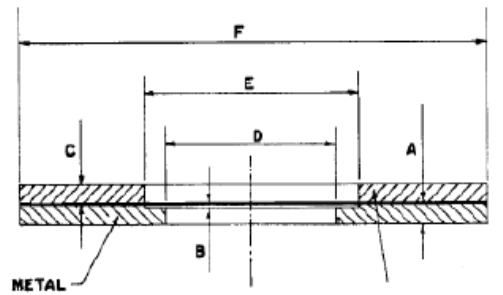
La importancia de este método radica en determinar la tendencia de la muestra a volverse inflamable con el aire en condiciones controladas en el laboratorio y poder considerar los riesgos de inflamación del material, al obtener dichas condiciones se puede determinar si hay presencia de sustancias volátiles e inflamables en la mezcla relativamente no volátil, también se realiza este ensayo con el fin de medir y describir las propiedades de respuesta al calor y a la llama bajo condiciones de laboratorio controladas.

Figura 20. Equipo de copa abierta de Cleveland.



Fuente: norma INVIAS

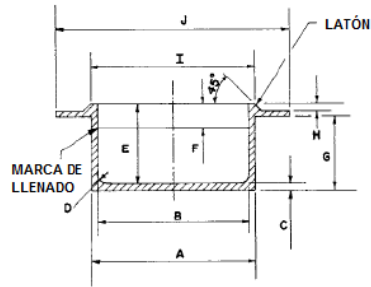
Figura 21. Placa de calentamiento.



	milímetros		pulgadas	
	min	max	min	max
A	6	7	0.236	0.276
B	0.5	1.0	0.020	0.039
C	6	7	0.236	0.276
D— Diámetro	55	56	2.165	2.205
E— Diámetro	69.5	70.5	2.730	2.770
F— Diámetro	146	150	5.748	6.290

Fuente: norma INVIAS

Figura 22. Copa abierta de Cleveland.



	milímetros		pulgadas	
	min	max	min	max
A	67.5	69	2.658	2.717
B	63	64	2.480	2.520
C	2.8	3.5	0.110	0.138
D— Radio	4	nominal	0.157	nominal
E	32.5	34	1.280	1.339
F	9	10	0.354	0.394
G	31	32.5	1.221	1.280
H	2.8	3.5	0.110	0.138
I	67	70	2.638	2.756
J	97	100	3.819	3.937

Fuente: norma INVIAS

Después de realizar el ensayo de la muestra asfáltica suministrada por la universidad, se pudieron obtener los siguientes resultados teniendo en cuenta los factores iniciales del clima.

- Presión barométrica del ambiente: 101.8 Kpa
- Presión barométrica del ambiente: 763.56 mm Hg
- Temperatura Ambiente: 26 °C

Foto 13. Ensayo de inflamacion y combustion



Fuente: Autor

Corrección de puntos de inflamación y/o combustión.

Tabla 11. Formulas y resultados ensayo de Punto de Inflamacion

Punto de inflamación corregido = $C + 0.25 (101.3 - K)$	[709.1]
Punto de inflamación corregido = $F + 0.06 (760 - P)$	[709.2]
Punto de inflamación corregido = $C + 0.033 (760 - P)$	[709.3]

Donde: C: Punto de inflamación observado, °C;
F: Punto de inflamación observado, °F;
P: Presión barométrica del ambiente, mm Hg;
K: Presión barométrica del ambiente, kPa.

Fuente: norma INVIAS

- ✓ Punto de inflamación corregido = $170 \text{ °C} + 0.25 (101.3 - 101.8) = 169.88 \text{ °C}$
- ✓ Punto de inflamación corregido = $338 \text{ °F} + 0.06 (760 - 763.56) = 337.79 \text{ °F}$
- ✓ Punto de inflamación corregido = $170 \text{ °C} + 0.033 (760 - 763.56) = 169.88 \text{ °C}$

Foto 14. Llevando la emulsion



Foto 15. Tomando temperatura a la



5.9. PESO ESPECIFICO DE UNA MUESTRA DE ASFALTO CONVENCIONAL.

Se preparó el equipo con 4 bolas de asfalto cada una con un peso diferente y se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 12. Resultados Peso Especifico

	Peso (g)	Vol. Inicial (ml)	Vol. Final (ml)
Bola 1	10.61	200	204
Bola 2	6.44	200	203
Bola 3	5.91	200	203
Bola 4	4.81	200	202

Fuente: Autor

Teniendo las características de los materiales se procede a elaborar las briquetas de manera tradicional "método Marshall" con el fin de poder determinar el contenido óptimo de asfalto y hallar su densidad para después poder realizar una comparación entre los datos obtenidos con las briquetas construidas con el Roller Compacter y las realizadas con método tradicional.

6. DISEÑO DE MEZCLAS UTILIZANDO EL ROLLER COMPACTER.

La metodología empleada en el proyecto tiene como función realizar una comparación de una mezcla convencional compactada por el “MÉTODO MARSHALL” y una mezcla utilizando la maquina compactadora “ROLLER COMPACTER” con fin de poder realizar un análisis entre los resultados y determinar de esta manera las características de las mezclas asfálticas, teniendo en cuenta que al utilizar el Roller Compacter se busca asemejar al máximo posible los procesos constructivos que se encuentran en campo llevando los resultados a un punto más real.

La función de diseñar mezclas con la utilización del roller compacter es poder igualar al máximo las características con las cuales se realiza una mezcla en campo al igual que su compactación al momento que pasa el vibro compactador y de esta manera lograr determinar las cualidades de las mezclas desarrolladas en el laboratorio reduciendo los niveles de incertidumbre acercándonos a unos resultados más reales de las mezclas hechas en sitio.

Figura 23. Roller Compacter



Fuente: Autor

Foto 16. Calentamiento de material antes de la mezcla.



Fuente: Autor

Foto 17. Calentamiento del asfalto antes de la mezcla.



Fuente: Autor

Foto 18. Mezcla de materiales a 150°C



Fuente: Autor

Foto 19. Elaboración de briqueta - Método Marshall.



Fuente: Autor

Foto 20. Compactación de briqueta - Método Marshall.



Fuente: Autor

Los componentes de las 6 briquetas restantes son:

BRIQUETA 4 – 5% DE ASFALTO

Tabla 13. Resultados briqueta N°4 sin modificar con 5% de asfalto.

BRIQUETA 4 - Asfalto 5%					
TAMIZ	% PASA	% RETIENE	peso en gr	Altura sin compactar	Altura Compactada
3/4	100	0	0	10.2	6.25
1/2	87.5	12.5%	142.5		
3/8	79	8.5%	96.9		
N° 4	57	22%	250.8		
N° 10	37	20%	228		
N° 40	19.5	17.5%	199.5		
N° 80	12.5	7%	79.8		
N° 200	6	6.5%	74.09		
PASA 200		6%	68.4		
ASFALTO	60	1140	1140.0		
			1200.0		

Fuente: Autor

BRIQUETA 5 – 5% DE ASFALTO

Tabla 14. Resultados briqueta N° 5 sin modificar con 5% de asfalto.

BRIQUETA 5 - Asfalto 5%					
TAMIZ	% PASA	% RETIENE	peso en gr	Altura sin compactar	Altura Compactada
3/4	100	0	0	10.5	6.1
1/2	87.5	12.5%	142.5		
3/8	79	8.5%	96.9		
N° 4	57	22%	250.8		
N° 10	37	20%	228		
N° 40	19.5	17.5%	199.5		
N° 80	12.5	7%	79.8		

Continuación Tabla 14. Resultados briqueta N° 5 sin modificar con 5% de asfalto.

N° 200	6	6.5%	74.09		
PASA 200		6%	68.4		
ASFALTO	60	1140	1140.0		
			1200.0		

Fuente: Autor

BRIQUETA 6 – 5.5 % DE ASFALTO

Tabla 15. Resultados briqueta N° 6 sin modificar con 5.5% de asfalto.

BRIQUETA 6 - Asfalto 5.5%					
TAMIZ	% PASA	% RETIENE	peso en gr	Altura sin compactar	Altura Compactada
3/4	100	0	0	10.1	6.26
1/2	87.5	12.5%	141.7		
3/8	79	8.5%	96.4		
N° 4	57	22%	249.48		
N° 10	37	20%	226.8		
N° 40	19.5	17.5%	198.4		
N° 80	12.5	7%	79.38		
N° 200	6	6.5%	73.70		
PASA 200		6%	68.04		
ASFALTO	66	1134	1134.0		
			1200.0		

Fuente: Autor

BRIQUETA 7 – 5.5 % DE ASFALTO

Tabla 16. Resultados briqueta N°7 sin modificar con 5.5% de asfalto.

BRIQUETA 7 - Asfalto 5.5%					
TAMIZ	% PASA	% RETIENE	peso en gr	Altura sin compactar	Altura Compactada
3/4	100	0	0	11	6.3
1/2	87.5	12.5%	141.7		
3/8	79	8.5%	96.4		

Continuación Tabla 16 Resultados briqueta N°7 sin modificar con 5.5% de asfalto.

Nº 4	57	22%	249.48		
Nº 10	37	20%	226.8		
Nº 40	19.5	17.5%	198.4		
Nº 80	12.5	7%	79.38		
Nº 200	6	6.5%	73.70		
PASA 200		6%	68.04		
ASFALTO	66	1134	1134.0		
			1200.0		

Fuente: Autor

BRIQUETA 8 – 6 % DE ASFALTO

Tabla 17. Resultados briqueta N°8 Sin modificar on 6% de asfalto.

BRIQUETA 8 - Asfalto 6%					
TAMIZ	% PASA	% RETIENE	peso en gr	Altura sin compactar	Altura Compactada
3/4	100	0	0		
1/2	87.5	12.5%	141.0		
3/8	79	8.5%	95.9		
Nº 4	57	22%	248.16		
Nº 10	37	20%	225.6		
Nº 40	19.5	17.5%	197.4	10.5	6.14
Nº 80	12.5	7%	78.96		
Nº 200	6	6.5%	73.31		
PASA 200		6%	67.68		
ASFALTO	72	1128	1128.0		
			1200.0		

Fuente: Autor

BRIQUETA 9 – 6 % DE ASFALTO

Tabla 18. Resultados briqueta N° 9 sin modificar con 6% de asfalto.

BRIQUETA 9 - Asfalto 6%				Altura sin compactar	Altura Compactada
TAMIZ	% PASA	% RETIENE	peso en gr		
3/4	100	0	0	10.5	6.1
1/2	87.5	12.5%	141.0		
3/8	79	8.5%	95.9		
Nº 4	57	22%	248.16		
Nº 10	37	20%	225.6		
Nº 40	19.5	17.5%	197.4		
Nº 80	12.5	7%	78.96		
Nº 200	6	6.5%	73.31		
PASA 200		6%	67.68		
ASFALTO	72	1128	1128.0		
			1200.0		

Fuente: Autor

A continuación se presentan los resultados que se obtuvieron al desarrollar la mezcla asfáltica convencional utilizando el pedestal y el martillo de compactación, con un total de 75 golpes por cara.

Cuadro 4. Diseño de mezcla asfáltica - Método Marshall.

DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA METODO MARSHALL																
Numero deGolpes de Compactacion de Capas		75														
Peso espezifico del Agregado PsAg		2.56														
Peso espezifico del Asfalto PsAgF		1														
% Asfalto	N Briqueta	Espesor (pul)	Peso (gm)		Volumen (Cm3)	Peso Especifico		Volumen % Total			Vacios %			Peso unitario	Estabilidad	
			Em Aire	Em Agua		Actual	Teorico	Asfalto	Agregado	Vacios	Agregados	Mezcla total	Llenos		Medida	Corregida
b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r
					e-f	e/g		$\frac{b * h}{PsAgF}$	$\frac{(100 - b) * h}{PsAg}$	100 - j - k	100 - k	$100 - \frac{100 * h}{i}$	$\frac{j}{j + n}$	62,4 * h		
5.0	1	2.52	1216.3	703.8	512.5	2.373									8202	7873.9
	2	2.46	1198.6	695.6	503.0	2.383									6421	6678.2
	3	2.40	1197.5	690	507.5	2.360									7277	7567.7
							2.372	2.3748	12	88.0	0.1	12.0	0.1	1.0	148.0	
5.5	4	2.56	1193.8	698.2	495.6	2.409									9433	9432.7
	5	2.46	1204.4	701.9	502.5	2.397									8590	8246.7
	6	2.46	1191.5	662.1	529.4	2.251									8673	9019.7
							2.352	2.3577	13	86.8	0.2	13.2	0.2	1.0	146.8	
6.0	7	2.48	1203.7	680.2	523.5	2.299									6699	6966.7
	8	2.42	1194.1	687.3	506.8	2.356									6236	6485.9
	9	2.40	1201.2	690.4	510.8	2.352									9085	9902.5
							2.336	2.3409	14	85.8	0.2	14.2	0.2	1.0	145.7	

Fuente: Autor

Después de realizar el diseño de la mezcla Marshall se pudo determinar que la cantidad de asfalto óptimo es de 5.5 % y con este valor se trabajaron todas las panelas que se realizaron utilizando el Roller Compacter.

Tabla 19. Resultados peso específico y densidad Bulk.

PESO ESPECÍFICO Y DENSIDAD BULK				
MUESTRA	PESO MUESTRA(g)			G BULK
	AL AIRE	SUMERGIDA	SSS	
1	1216.3	704.6	1217.9	2.37
2	1193.8	698.2	1194.6	2.40
3	1188.9	690.6	1189.3	2.38
4	1171.5	682	1171.9	2.39
5	1171.7	679.8	1172.5	2.38
6	1204.4	701.9	1204.8	2.39
7	1177.4	662.1	1183.9	2.26
8	1190.3	689.7	1190.6	2.38
9	1072.1	613.9	1073	2.34

Fuente: Autor

Tabla 20. Resultados estabilidad y flujo.

ESTABILIDAD Y FLUJO								
					ESTABILIDAD MARSHALL			FLUJO
MUESTRA	ESPEJOR DE MUESTRA (cm)	DIÁMETRO MUESTRA (cm)	VOLUMEN MUESTRA (cm ³)	FACTOR DE CORRECCIÓN	KN	(lb)	(Kg)	(mm)
1	6.40	10.4	543.67	0.96	1922	8202	3721	12.52
2	6.25	10.1	500.74	1.04	1389	6421	2914	11.96
3	6.10	10.3	508.27	1.04	1574	7277	3302	12.13
					1628.3	7300	3312	12.20
4	6.50	10.23	534.26	1	2122	9433	4280	16.67
5	6.26	10.3	521.60	0.96	2013	8590	3898	15.95
6	6.26	10.17	508.52	1.04	1876	8673	3935	16.33
					2003.7	8899	4037	16.31
7	6.29	10.13	506.94	1.04	1449	6699	3039	14.62
8	6.14	10.24	505.66	1.04	1349	6236	2830	14.08
9	6.10	10.1	488.72	1.09	1875	9085	4122	13.98
					1557.7	7340	3330	14.22

Fuente: Autor

Tabla 21. Condiciones mínimas

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	NIVEL DE TRANSITO	RESULTADOS OBTENIDOS
		NT3	
Compactación, (Golpes/Cara)	E-748	75	75
Estabilidad mínima (N)		9000 (33750)	32742.01
Flujo mm		2.0 a 3.5 (3.0 a 5.3)	3.42
Relación Estabilidad /Flujo (KN/mm)		3.0 a 6.0 (4.5 a 9.0)	6.21
Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	50	64
Partículas planas y alargadas, relación 5:1, máximo (%)	E-240	10	10
- una cara, rodadura	E-227	85	80
- dos caras, rodadura		70	60
Resistencia al desgaste "Maquina de los ángeles", máximo (%), rodadura	E-218	25	23.02

Fuente: norma INVIAS

7. RESULTADOS DE LOS NÚCLEOS OBTENIDOS DE LAS PANELAS.

A continuación se muestran los resultados de las panelas realizadas en el equipo de Roller Compacter, en donde se desarrolló una panela tipo convencional y tres panelas con adición de ceniza.

Tabla 22. Resultados peso específico y densidad Bulk - Briquetas resultantes de las panelas.

TIPO PANELA	NÚMERO NÚCLEOS	PESO ESPECÍFICO Y DENSIDAD BULK				
		MUESTRA	PESO MUESTRA(g)			G BULK
			AL AIRE	SUMERGIDA	SSS	
PANELA 1 CONVENCIONAL	NÚCLEO 1	1 +	1265.5	730.3	1266.3	2.36
		1 -	1098.1	600.1	1100.5	2.19
	NÚCLEO 2	1 +	1250.6	724.9	1251	2.38
		1 -	1130.5	616.9	1132.2	2.19
PANELA 2 CENIZA 10%	NÚCLEO 1	2 +	1249.9	728.9	1250.2	2.40
		2 -	1289.5	747.8	1287.7	2.39
	NÚCLEO 2	2 +	1227.4	715	1227.7	2.39
		2 -	1321.1	768.1	1321.7	2.39
PANELA 3 CENIZA 20%	NÚCLEO 1	3 +	1161.2	677.2	1161.5	2.40
		3 -	1254.7	734.4	1255	2.41
	NÚCLEO 2	3 +	1320.5	771.4	1320.9	2.40
		3 -	1262.8	732.8	1263.3	2.38
PANELA 4 CENIZA 30%	NÚCLEO 1	4 +	1331.6	777	1332	2.40
		4 -	1136	659	1136.4	2.38
	NÚCLEO 2	4 +	1275.4	743.9	1275.9	2.40
		4 -	1284.4	744.4	1284.8	2.38

Fuente: Autor

Foto 21. Compactación de mezcla asfáltica por Roller Compacter.



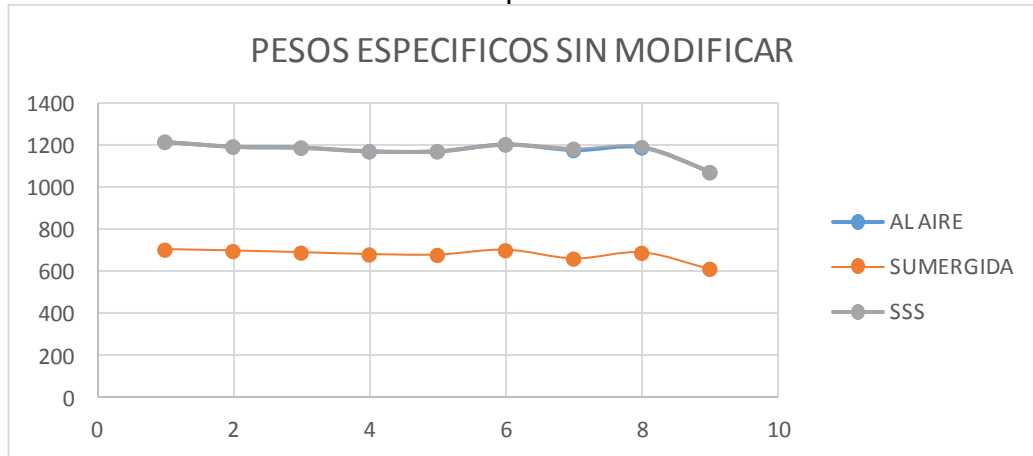
Fuente: Autor

Foto 22. Compactación de mezcla asfáltica por Roller Compacter.



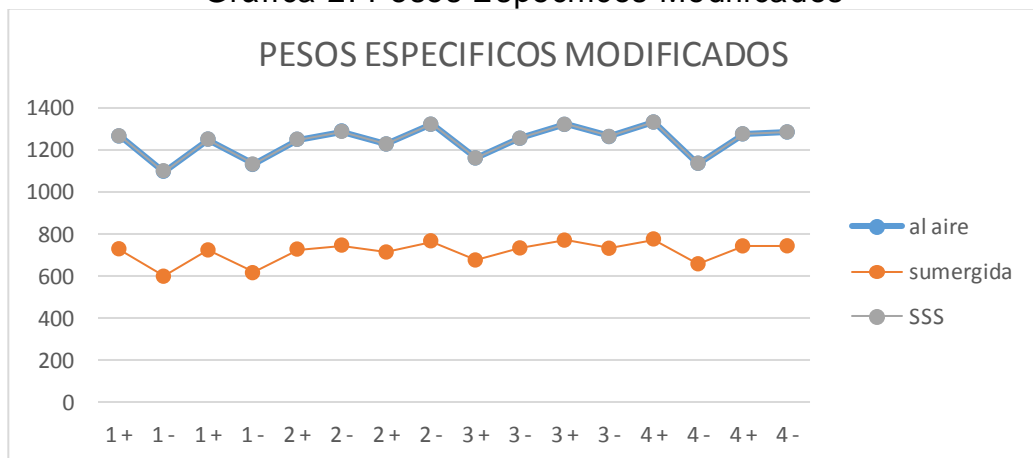
Fuente: Autor

Gráfica 1. Pesos Especificos Sin Modificar



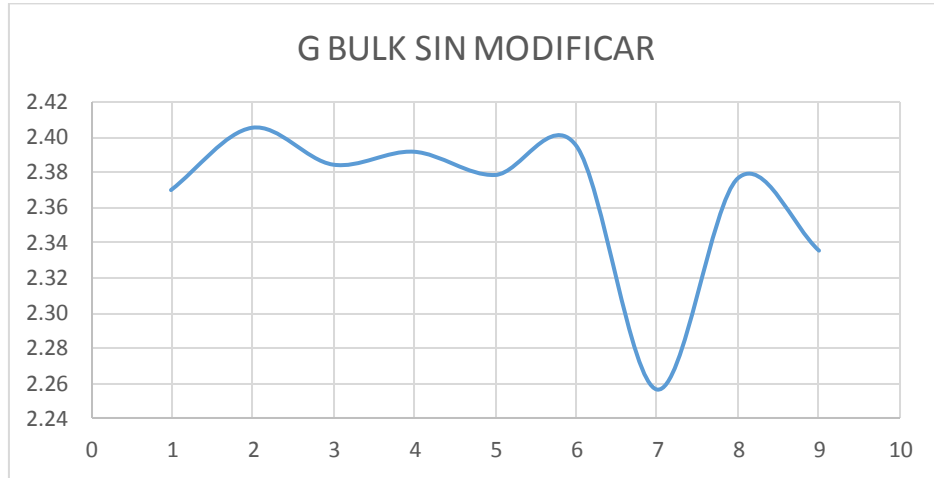
Fuente: Autor

Gráfica 2. Pesos Especificos Modificados



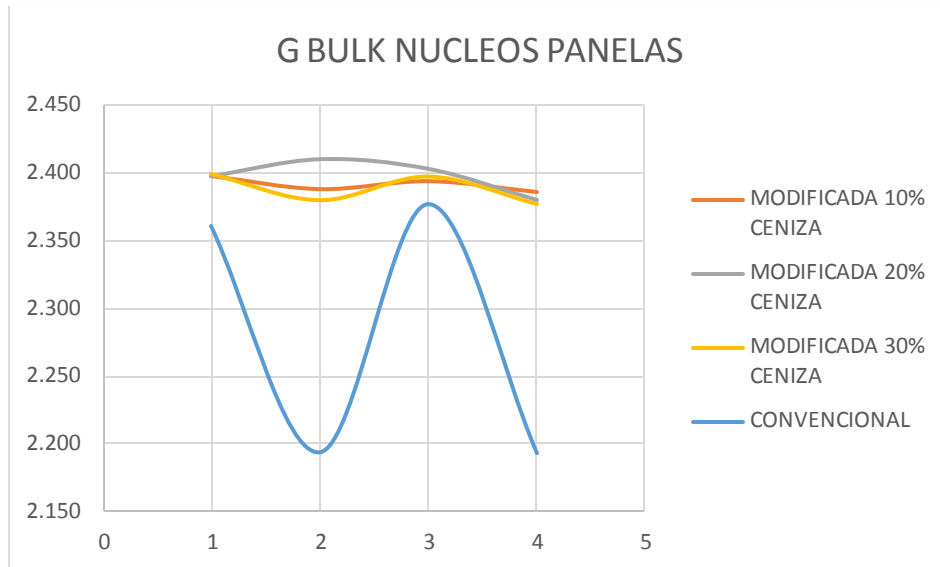
Fuente: Autor

Gráfica 3. G Bulk sin Modificar



Fuente: Autor

Gráfica 4. G Bulk Núcleos Panelas

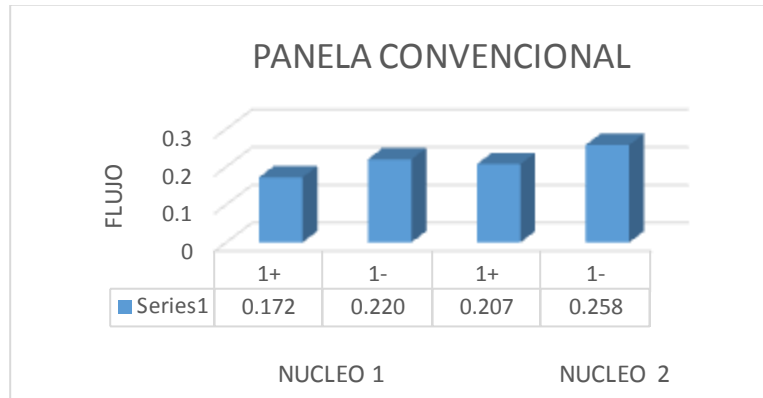


Fuente: Autor

Tabla 23. Resultados estabilidad y flujo de briquetas resultantes de las panelas.

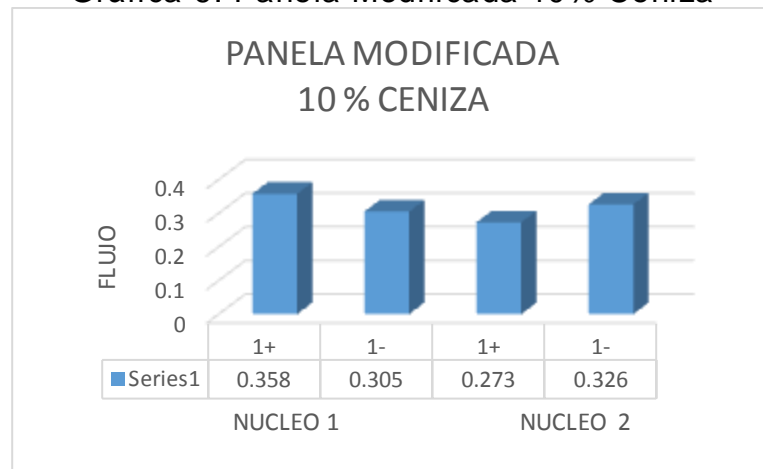
TIPO PANELA	NÚMERO NÚCLEOS	ESTABILIDAD Y FLUJO							
							ESTABILIDAD MARSHALL		FLUJO DE MARSHALL(in)
		MUESTRA	ESPESOR DE MUESTRA(cm)	DIÁMETRO MUESTRA (cm)	VOLUMEN MUESTRA (cm ³)	FACTOR DE CORRECCIÓN	(lb)	(Kg)	
PANELA 1 CONVENCIONAL	NÚCLEO 1	1 +	6.50	10.36	547.93	0.89	2701.15	1225.57	0.172
		1 -	6.00	10.34	503.83	1.04	759.20	344.46	0.220
	NÚCLEO 2	1 +	6.45	10.34	541.61	0.93	2755.59	1250.27	0.207
		1 -	6.00	10.32	501.88	1.04	890.24	403.92	0.258
							1776.55	806.05	0.214
PANELA 2 CENIZA 10%	NÚCLEO 1	2 +	6.23	10.58	547.71	0.89	1655.40	751.09	0.358
		2 -	6.38	10.36	537.81	0.93	1862.79	845.19	0.305
	NÚCLEO 2	2 +	6.20	10.36	522.64	1.00	1673.00	759.07	0.273
		2 -	6.75	10.33	565.71	0.86	1981.44	899.02	0.326
							1793.16	813.59	0.316
PANELA 3 CENIZA 20%	NÚCLEO 1	3 +	6.00	10.41	510.67	1.00	1466.00	665.15	0.375
		3 -	6.23	10.41	530.25	0.96	1878.72	852.41	0.448
	NÚCLEO 2	3 +	6.60	10.46	567.15	0.86	1631.42	740.21	0.349
		3 -	6.38	10.46	548.24	0.89	1659.85	753.11	0.280
							1659.00	752.72	0.363
PANELA 4 CENIZA 30%	NÚCLEO 1	4 +	6.85	10.10	548.81	0.89	2102.18	953.80	0.480
		4 -	5.93	10.10	475.10	1.14	1721.40	781.03	0.241
	NÚCLEO 2	4 +	6.55	10.46	562.85	0.86	1875.66	851.03	0.360
		4 -	6.6	10.46	567.15	0.86	2017.56	915.41	0.215
Fuente: Autor							1929.20	875.32	0.324

Gráfica 5. Panela Convencional



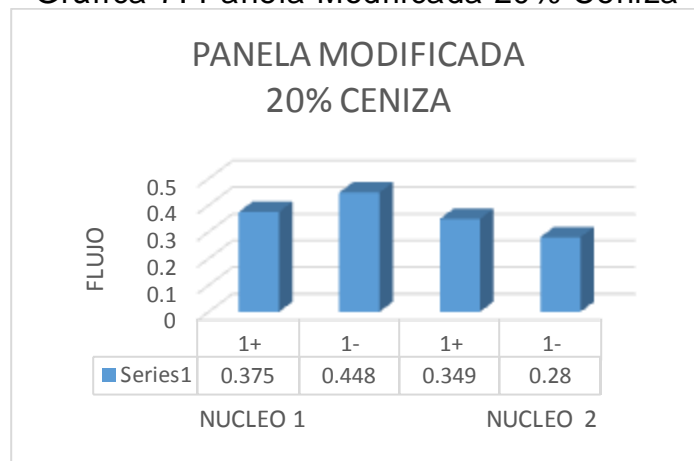
Fuente: Autor

Gráfica 6. Panela Modificada 10% Ceniza



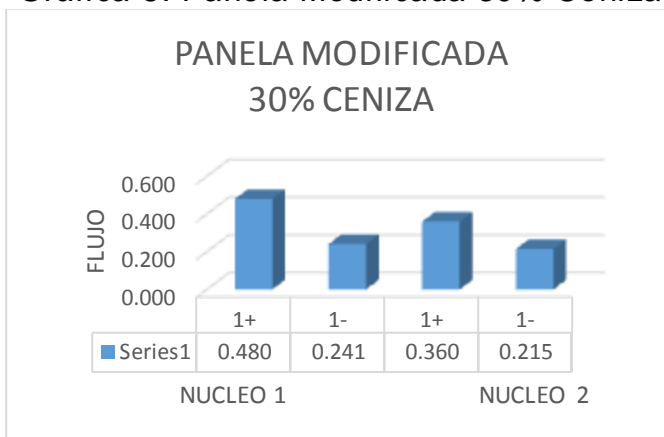
Fuente: Autor

Gráfica 7. Panela Modificada 20% Ceniza



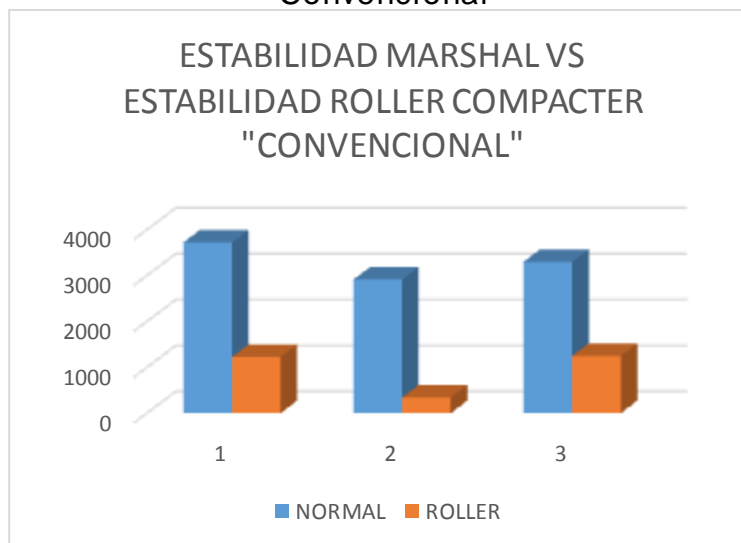
Fuente: Autor

Gráfica 8. Panela Modificada 30% Ceniza



Fuente: Autor

Gráfica 9. Estabilidad Marshal Vs Estabilidad Roller Compacter "Convencional"



Fuente: Autor

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

Después de realizar los ensayos del laboratorio y formalizar la respectiva comparación se puede ver que:

1. Los núcleos que se sacaron de las panelas fueron cortados por la mitad con el fin de aprovechar al máximo cada núcleo ya que su altura lo permitía, quedando cada briqueta con una altura aproximadamente de 6 cm y un diámetro de 10.30 cm, a cada parte se le denominó por separado identificándolas con un mas (+) a la parte superior del núcleo y con un menos (-) a la parte inferior.
2. La estabilidad Marshall de las briquetas hechas por el método mecánico es mucho mayor que la estabilidad de las briquetas hechas por el método del Roller Compacter.
3. El flujo va directamente relacionado con la estabilidad de la briqueta por lo tanto las briquetas hechas por el método convencional tienen un mejor flujo.
4. Al cambiar el agregado fino (pasa 200) por la ceniza, se obtiene una mejor compactación de las briquetas pero pierde rigidez y dureza lo que las hace vulnerable a las cargas de tracción altas.
5. La características de las briquetas tanto convencionales como las modificadas son similares, las diferencias se ven reflejadas en el momento de realizar los ensayos de estabilidad y flujo las cuales cambian drásticamente.
6. Los agregados naturales que fueron utilizados cumplen con todos los requerimientos y normas técnicas especificadas por el INVIAS, la ceniza fue tratada y trabajada como un agregado fino.
7. La mezcla asfáltica con una adición de ceniza del 30% fue la que mayor estabilidad y flujo Marshall arrojó siendo 2102.8 Lb y 0.480 in respectivamente con un porcentaje de asfalto de 5.5 en todas las panelas.
8. La panela modificada con el 20% de ceniza fue la que menor valor de estabilidad y flujo arrojó siendo 1466 Lb y 0.375 in respectivamente con un porcentaje de asfalto de 5.5 en todas las panelas.
9. Las briquetas convencionales (No modificadas) fueron las que mayor cantidad de vacíos arrojaron.
10. Las panelas fueron elaboradas con la misma cantidad de materiales y la misma calidad de los agregados provenientes de una misma fuente, utilizar la ceniza que es un residuo industrial en la elaboración de mezclas asfálticas puede

llegar a ser una posible solución como disposición final para este material y poder reducir a su vez el impacto negativo que se puede llegar a dar por su incorrecta disposición.

11. El porcentaje óptimo de asfalto es del 5.5%, según los resultados de los ensayos Marshall realizados a las briquetas hechas por el método Marshall, este ensayo se realizó a las muestras convencionales sin ninguna modificación con ceniza.
12. Al desarrollar la mezcla y cambiar el agregado fino “pasa 200” por ceniza volante, se logra cambiar las propiedades y su comportamiento como mezcla asfáltica cambia debido a que se obtiene una mejor compactación debido a que la ceniza rellena más los vacíos de la mezcla pero a su vez la debilita según se pudo observar en los resultados de estabilidad y flujo.
13. Debido al alcance tan amplio, la falta de tiempo y a que no se pudo contar con el uso de equipos de fatiga y módulos dinámicos no se pudo evaluar la fatiga, ni la susceptibilidad térmica.
14. Debido a que no se pudo evaluar la susceptibilidad térmica ante las altas temperaturas de servicio con una maquina determinada, si se pudo determinar por medio del tacto que la rigidez cambia volviéndose frágil a los esfuerzos cuando esta elevada la temperatura, se deformaba con facilidad.
15. La cohesión aumenta considerablemente debido a que la ceniza es mucho más viscosa que el pasa 200, lo cual genera una mejor cohesión debido a que la ceniza entra y llena más cantidad de vacíos pero también hace que la mezcla se debilite siendo vulnerable a las deformaciones cuando hay altas temperaturas, aunque los resultados entre una modificada con ceniza y una convencional no distan mucho la una de la otra.
16. Se logró evidenciar que la densidad que se obtiene con la compactación del Roller Compacter es mucho más uniforme que la que se obtiene con la compactación convencional de método Marshall.

9. RECOMENDACIONES.

1. La ceniza utilizada en este proyecto es un residuo industrial derivado de una petrolera "Ecopetrol" a lo cual se asumió que podía ser utilizada en la elaboración de la mezcla asfáltica MDC – 2 "MDC – 19", hay que tener en cuenta que este tipo de ceniza puede ser altamente toxica, a lo cual se recomienda hacer un análisis toxicológico a la ceniza y a las briquetas para determinar el grado de riesgo que genera a la comunidad.
2. Se recomienda realizar ensayos de resistencia a la fatiga y al envejecimiento sobre las mezclas asfálticas debido a que no se pudieron hacer las pruebas por el alcance tan amplio del proyecto.
3. Se recomienda continuar con las pruebas y ensayos, añadiendo mayor cantidad de ceniza como agregado fino (Pasa 200) con el fin de poder determinar con mayor grado de calidad, la buena utilización y desarrollo del proyecto y también realizar la mezcla pero únicamente como un aditivo al asfalto con el fin de comprobar los resultados de una manera diferente y poder comparar con los ya obtenidos.
4. Se recomienda realizar un mayor estudio a la ceniza proveniente de Ecopetrol determinando si es toxica o no y de esta manera certificar que no es nociva para la salud de los operarios que van a realizar las mezclas y para la misma comunidad.
5. Se recomienda verificar, los datos de este proyecto debido a que por la falta de utencilios en el laboratorio a la hora de mezclar grandes cantidades de material pueden variar o haber alteraciones en los mismos ya que se dificulta mucho la mezcla y a su vez no se puede mantener una temperatura uniforme durante la mezcla lo cual puede generar mala mezcla o errores en los resultados.
6. Se recomienda que al laboratorio se le dote con un recipiente con capacidad para mezclar grandes cantidades de material con el fin de poder realizar las mezclas de una manera mas comoda y mucho mas uniforme, evitando que se cometan errores humanos o desperdicios que puedan alterar los resultados, tambien un sitio donde se pueda calentar el material (Agregado y Asfalto) de una manera mucho mas rapida y eficiente, teniendo en cuenta que para realizar mezclas con el Roller Compacter se requiere de grandes cantidades de material.
7. Se recomienda realizar un plan de reutilización de material debido a que se generan grandes desperdicios a la hora de realizar trabajos con el Roller Compacter debido a que no se utiliza toda la panela ya que hay que sacar núcleos para realizar la comparación con las briquetas del metodo Marshall.

8. Se recomienda seguir realizando modificaciones en las mezclas con ceniza variando su porcentaje a unos más altos con el fin de poder determinar si a mayor cantidad de ceniza, mayor estabilidad y flujo, esto debido a que en los ensayos realizados, la estabilidad aumento a medida que aumentaba el porcentaje de ceniza en la mezcla.
9. Se recomienda revisar si la extracción de los núcleos y su corte por la mitad no afecta el comportamiento de la mezcla asfáltica alterando los resultados, por lo tanto se aconseja realizar panelas donde solo se tenga que hacer la extracción de los núcleos sin tener que cortarlos por la mitad, con la altura ya establecida.

BIBLIOGRAFÍA.

- ARENAS R, Y SERRANO C, A.J. Análisis comparativo de propiedades de deformación en las mezclas MCD – 2, MCD – 3, M1 Y STONE MATRIX ASPHALT, tesis de grado para optar por el título de ingeniero civil, universidad industrial de Santander, 2006.
- AYALA, Orlando, Plantas Asfálticas, [En Línea], 2013, [Citado 8-Junio-2014]. Disponible en Internet: <http://www.slideshare.net/OrlandoAngelAyalaMauricio/plantas-asfalticas-de-pavimento#>.
- BOTASSO, Gerardo, SEGURA, Adrián, Artículo Técnico Argentina, Concreto asfáltico en caliente denso con asfalto modificado con caucho reciclado de NFU, [En Línea], 2004, [Citado 17-Julio-2014]. Disponible en Internet: http://lemac.frlp.utn.edu.ar/wp-content/uploads/2012/10/2012_Asf-modif-con-NFU_Construyendo-Caminos-4_Peru.pdf.
- DÍAZ C. Luis E, RIVEROS S. Juan S. Comportamiento de una mezcla densa en caliente modificada con ceniza de palma de aceite, tesis de grado para optar por el título de ingeniero civil, Universidad Pontificia Bolivariana, 2011.
- KANDHAL. P. S y Chakraborty .s (1996) “effect of asphalt film thickness on short and long-term aging of asphalt paving mixtures” transportation research record. 1535, transportation research board. National research council. Washington D.C. 83-90.
- LÓPEZ PULIDO, Manuel, estudio para la aplicabilidad de asfalto natural de pesca (Boyacá) como mezcla asfáltica en caliente, tesis para optar por el título de ingeniero civil, Universidad Pontificia Bolivariana, 2005.
- MERCADO HUERTAS, Carlos. Revista Épsilon, Universidad de la Salle, ISSN (Versión impresa): 1692 – 1259. Colombia.
- MONTEJO FONSECA, Alonso, Ingeniería de pavimentos para carreteras. 2 ed. Santa Fe de Bogotá, Colombia, 2006.
- NORMAS Y ENSAYOS PARA MATERIALES DE CARRETERAS (Santa Fe de Bogotá, D.C, 1998) INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.
- QUINTERO A, D.M, Laboratorio de Pavimento Manual de Laboratorio Ensayos Para Pavimentos Vol. 1, [En Línea], 2011, [Citado 13-Junio-2014]. Disponible en Internet: <http://laboratoriodepavimentounefm.blogspot.com/2011/08/manual-de-laboratorio-ensayos-para.html>.

- QUINTERO A, D.M, Laboratorio de Pavimento, Práctica N° 3 Penetración de los materiales asfálticos, [En Línea], 2011, [Citado 13-Junio-2014]. Disponible en Internet: <http://laboratoriodepavimentounefm.blogspot.com/2011/08/practica-n-3-penetracion-de-los.html>.
- QUINTERO A, D.M, Laboratorio de Pavimento, Práctica N° 4 Punto de Inflamación y Punto de Llama, [En Línea], 2011, [Citado 13-Junio-2014]. Disponible en Internet: <http://laboratoriodepavimentounefm.blogspot.com/2011/08/practica-4-punto-de-inflamacion-y-punto.html>.
- SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES – INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE, Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas, [En Línea], 2004, [Citado 9-Agosto-2014]. Disponible en Internet: <http://www.slideshare.net/johnronaldperezmallma/disenio-asfalto>.
- UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA, ASTM D1188, AASHTO T 275, Peso Específico Bulk de las Briquetas, [En Línea], 2010, [Citado 27- Octubre-2014]. Disponible en Internet: <http://www.slideshare.net/guesta7f9cf0/peso-especifico-bulk-de-las-briquetas>.
- UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA, ASTM D1559, AASHTO T 225, Diseño de mezclas método Marshall e interpretación de resultados, [En Línea], 2009, [Citado 17-Julio-2014]. Disponible en Internet: <http://www.slideshare.net/UCGcertificacionvial/diseo-de-mezclas-mtodo-marshall>.
- VIVAS, Víctor h. Aprovechamiento de limadura metálica para el diseño de mezclas asfálticas, tesis para optar por el título de ingeniero civil, Universidad Pontificia Bolivariana.

REGISTRO FOTOGRÁFICO.

Método Marshall Mezcla Sin Modificar.

Foto 23. Material tamizado y clasificado.



Fuente: Autor

Foto 24. Calentamiento del asfalto.



Fuente: Autor

Foto 25. Calentamiento de material.



Foto 26. Temperatura ideal asfalto



Foto 27. Medida de temperatura del material a mezclar.



Fuente: Autor

Foto 28. Temperatura ideal del material a mezclar 120 - 150°C.



Fuente: Autor

Foto 29. Mezcla del asfalto con el material granular.



Fuente: Autor

Foto 30. Mezcla de ambos materiales (asfalto y material granular).



Fuente: Autor

Foto 31. Medida de densidad en el



Foto 32. Medida de densidad en las



Foto 33. Briquetas después de falladas



Fuente: Autor

Mezcla modifica y compactada con el Roller Compacter.

Foto 34. Calentamiento del asfalto.



Fuente: Autor

Foto 35. Medición de temperatura del asfalto.



Fuente: Autor

Foto 36. Mezcla de material modificado de la primer panela.



Fuente: Autor

Foto 37. Panela N°1 en el Roller Compacter.



Fuente: Autor

Foto 38. Cuadre y obtención de núcleos.



Fuente: Autor

Foto 39. Obtención de los núcleos de las panelas.



Fuente: Autor

Foto 40. Material sobrante después de obtener los núcleos.



Fuente: Autor

Foto 41. Núcleos obtenidos y marcados listos para cortar por la mitad.



Fuente: Autor

Foto 42. Núcleos obtenidos listos para ser cortados.



Fuente: Autor

Foto 43. Medida para sacar el núcleo.



Fuente: Autor

Foto 44. Consiguiendo núcleos-panela 3.



Fuente: Autor

Foto 45. Consiguiendo núcleos-panela 3.



Fuente: Autor

Foto 46. Núcleo obtenido.



Fuente: Autor

Foto 47. Núcleos obtenidos



Fuente: Autor

Foto 48. Material sobrante después de sacar núcleos.



Fuente: Autor

Foto 49. Preparación y marcación de briquetas para realizar ensayos.



Fuente: Autor

Foto 50. Ensayo peso específico y densidad Bulk. Briquetas obtenidas de las panelas.



Fuente: Autor

Foto 51. Briquetas listas para ensayo de pesa específico y densidad Bulk.



Fuente: Autor