

**COMPORTAMIENTO DE UNA MEZCLA DENSA EN CALIENTE MODIFICADA
CON CENIZA DE PALMA DE ACEITE**

**LUIS EDUARDO DIAZ CHACON
JUAN SEBASTIAN RIVEROS SANTOS**

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

2011

**COMPORTAMIENTO DE UNA MEZCLA DENSA EN CALIENTE MODIFICADA
CON CENIZA DE PALMA DE ACEITE**

**LUIS EDUARDO DIAZ CHACON
JUAN SEBASTIAN RIVEROS SANTOS**

**Tesis de grado como requisito para optar
al título de Ingeniero Civil**

**Director (a):
MARIA FERNANDA SERRANO GÚZMAN
PhD. Ingeniería Civil**

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

2011

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Bucaramanga, Diciembre de 2011

DEDICATORIAS

En primer lugar a Dios por darme las capacidades y las fuerzas necesarias para sacar adelante el título de Ingeniero Civil. A mis padres Luis y Rosy por ese amor y acompañamiento fundamental para poder alcanzar este gran logro en mi vida. Mis hermanos que siempre estuvieron cuando necesite de ellos. Y finalmente a mi novia Carolina que me acompañó y brindó todo de ella en los momentos mas difíciles.

Luís Eduardo Díaz Chacon

DEDICATORIAS

Dedico el trabajo realizado durante toda mi carrera y en especial estos seis últimos meses, a la familia tan maravillosa que me regalo Dios, a mi Papa Víctor Hugo quien con sus consejos e inteligencia hizo posible comenzar la investigación con el residuo de palma, a mi mamá esperanza que siempre me brinda el amor que se necesita en los momentos difíciles y en los de alegría. A los dos por darlo todo y ser un ejemplo de grandes Padres.

A mi hermano Víctor por estar siempre pendiente de mi y dispuesto a colaborar en cualquier momento.

A mis abuelitos en el cielo en especial a mi nona Lucrecia y mi nono Luís que siempre están muy presentes.

Finalmente a mi novia Malory por ayudarme a encontrar soluciones en momentos difíciles y por ese sentimiento tan especial que nos unirá siempre.

Juan Sebastián Riveros Santos

AGRADECIMIENTOS

- A nuestros padres por el apoyo incondicional en todo momento de la carrera y durante la investigación.
- A la Doctora Maria Fernanda Serrano Guzmán por estar siempre pendiente de nuestra tesis y ofrecernos siempre todo su conocimiento y tiempo.
- A los profesores de la facultad de ingeniería civil que contribuyeron a nuestra formación.
- A los laboratoristas que nos apoyaron durante la etapa de ensayos.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	18
1. OBJETIVOS	20
1.1. OBJETIVO GENERAL	20
1.2. OBJETIVO ESPECIFICO	20
1.3. ALCANCE	20
1.4. JUSTIFICACION	21
1.5. RELEVANCIA DEL ESTUDIO	22
1.6. ORGANIZACIÓN DE LA TESIS	22
2. MARCO CONCEPTUAL	24
2.1. MARCO TEÓRICO	24
2.2. DISEÑO EN MEZCLAS POR EL METODO MARSHALL	25
2.3. ARACTERISTICA DE MEZCLA	26
2.4 ESTUDIOS PREVIOS REALIZADOS ALREDEDOR DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS	27
2.5 MATERIALES QUE SE PUEDEN APROVECHAR PARA PREPARA MEZCLAS ASFALTICAS MODIFICADAS.	29
3. METODOLOGIA.	30
3.1 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL GRANULAR, LA CENIZA Y ENSAYOS HECHOS AL ASFALTO	33
3.2 DETERMINACIÓN DE PORCENTAJES DE AGREGADOS, CENIZA Y ASFALTO PARA BRIQUETAS.	34
4. RESULTADOS	43
4.1 CARACTERIZACION DEL AGREGADO GRUESO	43

4.2 CARACTERIZACION DEL AGREGADO FINO	44
4.3 CARACTERIZACION DE LA CENIZA	44
4.4 CARAS FRACTURADAS	45
4.5 DESGASTE EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES	46
4.6 MASA UNITARIA SUELTA Y COMPACTA	46
4.7 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO FINO	46
4.8 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCION DE AGREGADO GRUESO	47
4.9 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCION DE LA CENIZA	47
4.10 SANIDAD DE LOS AGREGADOS FRENTE A LA ACCION DE SULFATO DE SODIO	48
4.11 EQUIVALENTE DE ARENA	49
4.12 INDICE DE ALARGAMIENTO Y APLANAMIENTO	50
4.13 INDICE DE PENETRACION EN EL ASFALTO	50
4.14 DETERMINACION DE PUNTO DE ABLANDAMIENTO Y LLAMA	51
4.15 CONTENIDO DE ASFALTO	51
5. ANALISIS DE LOS RESULTADOS	52
5.1 CARACTERIZACION DE LA CENIZA	52
5.2 CARACTERIZACION DE LOS AGREGADOS	52
5.3 RESULTADOS ENSAYOS MARSHALL	53
6. CONCLUSIONES	57
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	59
ANEXOS	61

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Metodología	32
Figura 2 Curva granulométrica de los agregados gruesos utilizados	43
Figura 3 Curva granulométrica de los agregados finos utilizados	44
Figura 4 Curva granulométrica realizada a la ceniza que se utilizo.	45
Figura 5 grafico peso unitario .vs. % asfalto	55
Figura 6 grafico estabilidad-lb.vs. % asfalto	55
Figura 7 grafico vacios%-mezcla total.vs. % asfalto	55
Figura 8 grafico vacios%-llenos.vs. % asfalto	56
Figura 9 grafico fluencia 0,01*.vs. % asfalto	56

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Cantidad en gramos de material granular con contenido de asfalto de 4,5% 5,5% y 6,5% sin adición de ceniza	35
Tabla 2. Cantidad en gramos de material granular con contenido de asfalto de 4,5% y adición de 5% de ceniza	36
Tabla 3. Cantidad en gramos de material granular con contenido de asfalto de 4,5% y adición de 10% de ceniza	37
Tabla 4. Cantidad en gramos de material granular con contenido de asfalto de 4,5% y adición de 15% de ceniza	38
Tabla 5. Cantidad en gramos de material granular con contenido de asfalto de 5,5% y adición de 5% de ceniza.	39
Tabla 6. Cantidad en gramos de material granular con contenido de asfalto de 5,5% y adición de 10% de ceniza.	39
Tabla 7. Cantidad en gramos de material granular con contenido de asfalto de 5,5% y adición de 15% de ceniza.	40
Tabla 8. Cantidad en gramos de material granular con contenido de asfalto de 6,5% y adición de 5% de ceniza.	40
Tabla 9. Cantidad en gramos de material granular con contenido de asfalto de 6,5% y adición de 10% de ceniza.	41
Tabla 11. Matriz del número de briquetas realizadas.	42
Tabla 12. % de caras fracturadas.	45
Tabla 13. Valores del ensayo de masa unitaria suelta y compacta.	46
Tabla 14. resultados del ensayo de peso específico y absorción del agregado fino	47
Tabla 15. resultados del ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso	47
Tabla 16. resultados del ensayo de peso específico y absorción de la ceniza	48

Tabla 17. Análisis cuantitativo agregado grueso	48
Tabla 18. Análisis cuantitativo agregado fino	49
Tabla 19. Análisis cualitativo agregado grueso	49
Tabla 20. Resultados de ensayo equivalente de arena	50
Tabla 21. % de alargamiento y aplanamiento en el material grueso	50
Tabla 22. Índice de penetración en el asfalto.	50
Tabla 23. Punto de ablandamiento y llama.	51
Tabla 24. Contenido de Asfalto.	51
Tabla 25. Caracterización de los agregados	533
Tabla 26. Resumen del ensayo Marshall realizado a las briquetas vírgenes.	53
Tabla 27. Resumen del ensayo Marshall realizado a las briquetas con adición del 5% de ceniza sobre el asfalto	54
Tabla 28. Resumen del ensayo Marshall realizado a las briquetas con adición del 10% de ceniza sobre el asfalto	54
Tabla 29. Resumen del ensayo Marshall realizado a las briquetas con adición del 15% de ceniza sobre el asfalto	54

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1 ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS	61
ANEXO 2. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCION DE LOS AGREGADOS.	64
ANEXO 3 PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADOS GRUESOS	69
ANEXO 4 RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES	73
ANEXO 5. PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS	77
ANEXO 6. EQUIVALENTE DE ARENA	81
ANEXO 7. INDICE DE ALARGAMIENTO Y APLANAMIENTO.	84
ANEXO 8. SANIDAD DE LOS AGREGADOS FRENTE A LA ACCION DE SULFATO DE SODIO O DE MAGNESIO.	88
ANEXO 9. PESO UNITARIO Y PORCENTAJE DE VACIOS DE LOS AGREGADOS	92
ANEXO 10. INDICE DE PENETRACION DE LOS MATERIALES ASFALTICOS	97
ANEXO 11. DETERMINACION DEL PUNTO DE IGNICION Y LLAMA	102
ANEXO 12. ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL	107
ANEXO 13. CONTENIDO DE ASFALTO	112
ANEXO 14 GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO	115
ANEXO 18 RESULTADOS DE DESGASTE EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES	125
ANEXO 19 RESULTADO DE MASAS UNITARIAS SUeltas Y COMPACTAS	126
ANEXO 20 RESULTADO GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCION AGREGADO GRUESO	127
ANEXO 21 RESULTADO GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION AGREGADO FINO	128
ANEXO 22 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCION DE LA CENIZA	129

ANEXO 23 SANIDAD DE LOS AGREGADOS	130
ANEXO 24 INDICE DE ALARGAMIENTO Y APLANAMIENTO	131
ANEXO 25 MEZCLAS ASFALTICAS METODO MARSHALL SIN ADICION DE CENIZA	132
ANEXO 26 DISEÑO MEZCLAS ASFALTICAS METODO MARSHALL CON ADICION DE CENIZA DEL 5%	135
ANEXO 27 DISEÑO MEZCLAS ASFALTICAS METODO MARSHALL CON ADICION DE CENIZA DEL 10%	138
ANEXO 28 DISEÑO MEZCLAS ASFALTICAS METODO MARSHALL CON ADICION DE CENIZA DEL 15%	141
ANEXO 29 REGISTRO FOTOGRAFICO DEL TRABAJO REALIZADO.	144

RESUMEN

TITULO: Comportamiento de una mezcla densa en caliente modificada con ceniza de palma de aceite.

AUTOR: Luís Eduardo Díaz Chacón
Juan Sebastián Riveros Santos

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

La tecnología de asfaltos modificados es una técnica que se utiliza para mejorar las características que presentan las mezclas asfálticas convencionales cuando estas se someten a un nivel elevado de tránsito o a temperaturas críticas, lo que se busca con este tipo de ensayos es mejorar algunas de las propiedades mecánicas o reológicas de los asfaltos tales como la rigidez, resistencia al envejecimiento, fatiga y a las deformaciones.

El presente proyecto presenta el análisis experimental de un asfalto modificado con ceniza de palma de aceite. La importancia de este trabajo tiene que ver con la incorporación de materiales de desecho, que generan un alto grado de contaminación ambiental.

Para la realización de este proyecto se realizaron los siguientes ensayos: granulometría, densidad bulk, equivalente de arena, porcentaje de caras fracturadas, sanidad de los agregados, desgaste en la máquina de los ángeles, índice de aplanamiento y alargamiento, pesos específicos, al asfalto se le realizaron los siguientes ensayos: penetración, punto de ablandamiento y llama, y

a lo largo de este proyecto se trabajara con el método Marshall para el diseño de las mezclas asfálticas modificadas.

En la actualidad el método Marshall es el más utilizado para el diseño de mezclas asfálticas, en el cual se consideran las propiedades del material asfálticos. Desafortunadamente una de sus grandes desventajas es el método de compactación en el laboratorio por impacto el cual no simula la densificación de la mezcla que ocurre por el transito en un pavimento real.

El objetivo de este estudio era evaluar el comportamiento mecánico de mezclas asfálticas modificadas con un porcentaje de ceniza de palma de aceite sobre el asfalto, verificando para esto la estabilidad y el flujo de la mezcla luego de variaciones en el porcentaje de asfalto en 4,5%, 5,5% y 6,5%.

Este estudio permitió evidenciar que la ceniza de palma de aceite aumenta un 2% la estabilidad para las mezclas asfálticas realizadas con un porcentaje de asfalto óptimo que era de 5,5%, pero para las mezclas con los porcentajes de asfalto de 4,5% y 6,5% la estabilidad disminuye en el mismo 2%.

PALABRAS CLAVES: Asfalto, Asfalto modificado, Ceniza de palma, Mezcla asfáltica, Pavimento.

ABSTRACT

TITLE: Performance of a modified hot dense mix with oil palm ash.

AUTHOR: Luís Eduardo Díaz Chacón

Juan Sebastián Reveros Santos

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

Modified asphalt technology is a technique that is used to improve the features found in conventional asphalt mixtures when they are subjected to elevated temperatures or critical traffic, which is sought with this type of testing is to improve some properties mechanical and rheological properties of asphalts such as stiffness, resistance to aging, fatigue and strain.

This project presents an experimental analysis of modified asphalt oil palm ash. The importance of this work deals with the incorporation of waste materials, which generate a high degree of environmental pollution.

For this project the following tests were performed: particle size, bulk density, sand equivalent, percent fractured faces, health of aggregates, wear on the machine of angels, flattening and elongation index, specific gravity, the asphalt were performed the following test: penetration, softening point and flame, and through this project will work with the Marshall method for the design of modified asphalt mixtures.

Currently, the Marshall method is the most used for the design of asphalt mixtures, which are considered Asphalt material properties. Unfortunately one of their major disadvantages is the method of compaction in the laboratory by impact which does

not simulate the densification of the mixture occurs by the traffic in a real pavement.

The objective of this study was to evaluate the mechanical behavior of asphalt modified with a percentage of oil palm ash on the pavement, checking for this stability and flow of the mixture after variations in the percentage of asphalt in 4,5%, 5,5% and 6,5%.

This study allowed to evidence that the oil palm ash increases by 2% stability for asphalt mixes made with optimum asphalt percentage was 5,5% but for mixtures with optimum asphalt percentage was 5,5%, but for mixtures with percentages of 4,5% asphalt and 6,5% stability decreases in the same 2%.

KEYWORDS: Asphalt, Modified bitumen, Ash palm, Mix asphalt, Paviment

INTRODUCCION

El presente estudio incluyó modificaciones al ligante en mezclas asfálticas en caliente para NT3. Las proporciones de ceniza añadida fueron 5%, 10% Y 15% respectivamente sobre el asfalto. Los resultados demuestran un mejoramiento en el comportamiento de mezclas asfálticas con adiciones de ceniza en porcentaje de 10% que fueron las que mayor resistencia a la estabilidad Marshall arrojaron en los resultados.

El desarrollo de la infraestructura vial en Colombia muestra la necesidad de adelantar trabajos de investigación en busca de nuevos materiales o de mejorar la calidad de los existentes y así optimizar el funcionamiento de las carreteras, ofreciendo soluciones a la problemática de las mismas.

Es importante realizar estudios relacionados con mejoramiento del cemento asfáltico y la incidencia de los modificadores en el comportamiento final de las mezclas asfálticas.

El diseño de una mezcla asfáltica consiste en seleccionar la calidad de los materiales que vamos a utilizar para el diseño, como los agregados y granulometría de la mezcla a emplear, así como el tipo y cantidad de asfalto de acuerdo al clima o al tipo de vía a construir para saber que cargas va a presentar durante su vida útil. Para obtener un pavimento asfáltico de alta calidad es indudable que las propiedades de los materiales, el diseño, la producción y la colocación de la mezcla son factores fundamentales.

Algunas de las bondades que se pueden obtener a partir de la modificación del cemento asfáltico son:

- Disminución de la susceptibilidad térmica.
- Aumentar la cohesión interna.
- Mejorar la flexibilidad y la elasticidad a bajas temperaturas
- Mejorar el comportamiento a la fatiga
- Aumentar la adhesividad agregado-ligante.
- Aumentar la resistencia al envejecimiento

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Comparar las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica tipo MCD-2 y con la mezcla modificada con 5%, 10% y 15% de ceniza de palma de aceite como adición del ligante.

1.2. OBJETIVO ESPECIFICO

- Caracterizar el material granular y la ceniza de palma de aceite.
- Realizar ensayos de penetración, viscosidad y punto de ablandamiento del cemento asfáltico sin ceniza de palma de aceite y con ceniza de palma de aceite añadiéndole al 5%, 10% y 15% con respecto al peso total de la viscosidad de 1200 gr.
- Evaluar los resultados del ensayo Marshall en mezcla asfáltica MCD-2 convencional y modificada con ceniza de palma de aceite añadida al cemento asfáltico.

1.3. ALCANCE

Para el desarrollo de este proyecto de grado se caracterizó la ceniza de palma de aceite mediante los ensayos de granulometría y peso específico. Se realizaron un total de 8 briquetas por porcentaje de asfalto con su respectivo agregado de ceniza. La dosificación del asfalto utilizada fue de 4,5%, 5,5% y 6,5% buscado con esto cual es el porcentaje óptimo a utilizar. Con este proyecto se esperaba

mejorar el comportamiento de mezclas asfálticas en donde el ligante era modificado con porcentajes de ceniza en porcentaje por peso del asfalto.

1.4. JUSTIFICACION

El fuerte interés de las principales ciudades en Colombia y el mundo por generar soluciones de movilidad, educación, vivienda y demás servicios básicos para las personas, promueven retos constantemente en la ingeniería, la cual se encarga de ofrecer soluciones eficaces, duraderas y económicas.

Un aspecto que no es muy tenido en cuenta al evaluar un proyecto de cualquier índole pero que pueda generar impactos negativos sobre el medio ambiente son los residuos finales que generan dichos proyectos. Es aquí donde se surge el interés de aprovechar los residuos que se pueden estar generando en los cultivos de la palma de aceite o palma africana y sus procesos de transformación del fruto o almendra al producto final.

Durante el proceso de extracción de la almendra se generan residuos sólidos, algunos de ellos son utilizados como subproductos en alimentación de animales y a otros se les trata de sacar algunas propiedades para abonar las tierras; debido a las gran cantidad y sus propiedades los residuos sobrantes son adquiridos a bajos costos para ser utilizados como combustible en diversos campos de la industria. Es después de todos estos procesos de transformación que se produce la ceniza de palma de aceite, residuo que es tirado en los botaderos autorizados.

La investigación podría dar solución a un problema de contaminación en los vertederos, aportando soluciones eficaces para tener en cuenta las cenizas de palma de aceite como un posible nuevo agregado no solamente en pavimentos

flexible que es la prioridad sino que también en un futuro para mezclas de concreto que pueda bajar el costo final de los proyectos sin afectar su durabilidad.

1.5. RELEVANCIA DEL ESTUDIO

El estudio que se realizó genera un impacto a la ingeniería civil por cuanto se están haciendo aportes para la incorporación de nuevos materiales para la preparación de mezclas asfálticas. Lo que se propuso fue aprovechar la ceniza de palma de aceite que es un residuo industrial, con el fin de brindar un espacio para estos residuos. La conclusión de este ensayo es que se pueden plantear diferentes alternativas en el uso de materiales residuales en construcción de obras civiles.

Los resultados de este estudio serán presentados en el “10° Congreso Colombiano de Ingeniería de Tránsito y Transporte” que tendrá lugar en Medellín el 5 y 6 de Diciembre de 2011. El estilo de presentación aprobado fue de tipo oral, con la ponencia titulada “Asfalto modificado con ceniza de palma de aceite“, en coautoría con la ing. Norma C. Solarte Vanegas y Maria F. Serrano Guzmán. El artículo presentado estará incluido en las memorias del evento.

1.6. ORGANIZACIÓN DE LA TESIS

El trabajo de tesis que se presenta a continuación esta organizado de la siguiente manera, capítulo 1: introducción, justificación, alcance, objetivos y relevancia del estudio; capítulo 2: marco teórico con algunos conceptos y estudios realizados previamente sobre el tema; capítulo 3: metodología que se realizo durante el proyecto; capítulo 4: resultados obtenidos mediante el estudio; capítulo 5: análisis de los resultados obtenidos y finalmente las referencias bibliográficas. En la

sección de anexos se encuentra un registro fotográfico, procedimientos realizados a los ensayos y por último las hojas de cálculos de los ensayos.

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1. MARCO TEÓRICO

Para el tema de diseño de mezclas asfálticas utilizando agregados no convencionales es necesario presentar conceptos técnicos relacionados al respecto. En el presente marco teórico se incluirán definiciones relacionadas con pavimentos, estudios realizados previamente y definiciones acerca del residuo que vamos a utilizar.

Asfalto: es una mezcla compleja en la cual diferentes tipos de moléculas, tales como compuestos orgánicos están interconectados. Los elementos fundamentales en los asfaltos son un 82-88% de carbono, 8 a 11 % de hidrogeno, 0-6% de sulfuro, 1 a 1.5% óxigeno y de 0 a 1 % de nitrógeno y otros metales.¹

Pavimento: Constituida por una o mas materiales que se colocan sobre 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.²

Mezclas asfálticas: Las mezclas asfálticas las constituye el material pétreo convenientemente recubierto con una película de asfalto y luego sometida a un proceso de compactación, que hace que esta mezcla tenga propiedades

¹ Cho y otros, 2010

² Montejo y otros, 2006

resistentes a los desgastes producidos por vehículos y a su vez pueda traspasar la sollicitación del peso de ellos hacia las capas inferiores.³

Tipo de base asfáltica: Dependiendo el tipo de construcción que se pretenda realizar en una obra de infraestructura vial, es el tipo de base asfáltica que se utiliza; es el caso por ejemplo, en el que para la ejecución de trabajos de bacheos y bases asfálticas livianas, generalmente se emplea la gradación MDC-1; Para capas de rodadura y bases asfálticas bajas se emplea la gradación MDC-1, si el espesor compacto no supera tres centímetros (3 cm.), se empleará la gradación MDC-2 y para espesores superiores cinco centímetros (5 cm.), se empleara la gradación MDC-3.⁴

2.2. DISEÑO EN MEZCLAS POR EL METODO MARSHALL

El Método Marshall para el diseño de mezclas fue desarrollado por Bruce Marshall, del Mississippi Highway Department 1 alrededor de 1939. El ensayo Marshall, en su forma actual, surgió de una investigación iniciada por The Corps of Engineers Waterways (WES) de los Estados Unidos en 1943. Éste método fue normalizado por la ASTM D-1559, denominado Resistencia al Flujo Plástico de Mezcla Bituminosa usando el equipo Marshall (el método AASHTO T-245 es similar a la Norma ASTM D-1559, excepto en lo referente al martillo operado mecánicamente, en lugar de un martillo operado manualmente), sin embargo, actualmente la norma ASTM D-1559 ha sido reemplazado por otro procedimiento denominado Superpave.

³ Montejo y otros, 2006

⁴ Normas y documentos técnicos Invias 2007

2.3. CARACTERISTICA DE MEZCLA

Al realizar el diseño de mezclas asfálticas en caliente se deben obtener las siguientes características:

- **RESISTENCIA A LAS DEFORMACIONES PERMANENTES:** La resistencia a la deformación permanente es crítica al elevarse la temperatura durante los meses de verano cuando la viscosidad del cemento asfáltico baja y la carga del tráfico es soportada por la estructura del agregado en mayor proporción. La resistencia a la deformación permanente se controla seleccionando la calidad de agregados con gradación apropiada y seleccionando el contenido asfáltico y vacíos adecuados para la mezcla.
- **RESISTENCIA A LA FATIGA:** La mezcla no se agrietara por causa de la repetición de las cargas en un periodo de tiempo (periodo de diseño).
- **DURABILIDAD:** La mezcla contiene suficiente cemento asfáltico asegurando un adecuado espesor de la película rodeando las partículas de agregados, así se minimiza el endurecimiento del cemento asfáltico. El curado durante la producción y la puesta en servicio también contribuye a esta característica. Por otro lado, la mezcla compactada no debería tener altos porcentajes de vacíos que aceleren el proceso de curado.
- **RESISTENCIA A LA HUMEDAD:** Algunas mezclas expuestas a humedad pierden adhesión entre el agregado y el cemento asfáltico. Las propiedades de los agregados son los primeros responsables de este fenómeno, aunque algunos cementos asfálticos son más propensos a separarse que otros.

- **RESISTENCIA AL PATINAJE:** Este requisito es solamente aplicable a mezclas superficiales que sean diseñadas para proporcionar la suficiente resistencia al patinaje.
- **TRABAJABILIDAD:** La mezcla debe ser capaz de ser colocada y compactada con razonable esfuerzo. Los problemas de trabajabilidad se presentan frecuentemente durante los trabajos de pavimentación.

2.4 ESTUDIOS PREVIOS REALIZADOS ALREDEDOR DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS

En el mundo, la tecnología de los asfaltos modificados es una técnica que se esta empleando para buscar cambiar las características mecánicas de este. Los estudios realizados sobre el tema de diseños de mezclas asfálticas varían en que unos hacen adiciones al agregado y otros hacen al adición al ligante asfaltico, pero todos buscando el mismo objetivo, mejorar algunas características de la mezcla.

Algunos estudios sobre modificación de asfaltos fueron:

El doctor yusif m. en el año 2005 evaluó el efecto de las partículas de caucho grueso en el rendimiento de la mezcla asfáltica en caliente. Las partículas de caucho grueso presentan un aumento de resistencia hasta (3,5%) en el otro lado realizo las mismas pruebas con caucho fino aumentando su resistencia en tan solo un (2%).

Según Arenas y Serrano que en el año 2006 realizaron un estudio acerca de la comparación de las propiedades de las mezclas MCD2, MCD3 y M1 stone matrix asphalt. Encontraron que la mezcla stone matrix asphalt (SMA) es la que presenta

menor deformación de estas 3 mezclas estudiadas, al ser sometidas a diferentes presiones de carga y a diferentes temperaturas

Peña, en el año 2007 realizó un en el cual comparo las mezclas MCD2 con asfalto original con otras preparadas por polímeros por los métodos Marshall y superpave, en un proyecto desarrollado con corasfaltos. Encontró que el método superpave arroja porcentajes óptimos de asfalto a las mezclas menores a las que se obtiene por el método Marshall y por el tipo de compactación por el amasado que emplea el método superpave.

Víctor Vivas, en el año 2011 realizo su tesis sobre diseñar una mezcla asfáltica aprovechando como agregado fino la limadura metálica con el fin de tener una mayor estabilidad, obteniendo como resultado una mayor estabilidad, sin embargo se observa que las mezclas asfálticas con limalla presentaron porcentajes de vacíos altos en la mezcla asfáltica lo cual puede afectar la durabilidad de la misma.

Resyes y otros (2003). Despues de realizar estudios a asfaltos modificados con elastómero (caucho) y un plastomero (tiras de bolsas de leche con asfalto 80-100). En el caso de las mezclas modificadas (con caucho o plástico) se puede concluir que a medida que el porcentaje de caucho o plástico aumenta, el porcentaje de vacíos e la mezcla también, lo que indica que al aumentar proporciones de los modificantes en la mezcla, se dificulta la unión entre el agregado y el asfalto.

2.5 MATERIALES QUE SE PUEDEN APROVECHAR PARA PREPARAR MEZCLAS ASFALTICAS MODIFICADAS.

Los agentes modificadores utilizados en los asfaltos, modifican su comportamiento reologico de los mismos. Se puede decir que una mezcla asfáltica modificada es el resultante de la interacción física o química de los materiales utilizados para el experimento.

Un asfalto puede modificarse con:

- Residuos minerales
- Cauchos
- Hidrocarburos Naturales.
- Plásticos

Los asfaltos se caracterizan por variar su comportamiento según a la temperatura a la que se encuentren; es por ello que a distintas temperaturas el asfalto posee distintas consistencias, propiedad que se denomina susceptibilidad térmica, la cual debería ser lo más baja posible de modo que a bajas temperaturas y tiempos cortos de aplicación de cargas sean suficientemente flexibles para evitar el fisuramiento y a tiempos prolongados de aplicación de cargas que sean resistentes a las deformaciones.

La situación ideal es aquella de aquel asfalto que mantiene su consistencia en un amplio intervalo de temperatura.

La acción de los modificadores es colaborar en la tendencia a que el asfalto presenta las menores variaciones de consistencia para los cambios de temperatura registrados y mayos resistencia a las cargas a soportar.

3. METODOLOGIA.

El tipo de mezcla asfáltica seleccionada fue mezcla densa en caliente MCD-2 y la categoría del tránsito es NT3 (tráfico pesado), según las especificaciones de diseño, este tipo de mezcla es apropiada para capas de rodaduras de espesores entre 40mm y 60 mm.

El agregado pétreo empleado para la elaboración de las briquetas (ensayo Marshall) es procedente de la cantera de ASFALTART que queda e el anillo vial. A este material se le realizaron los siguientes ensayos, siguiendo las especificaciones del Instituto Nacional de Vías: Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos (INV. E-213), peso específico y absorción de agregados finos (INV. E-222), peso específico y absorción de agregados gruesos (INV. E-223), resistencia al desgaste de los agregados (tamaños menores de ¾”) por medio de la máquina de Los Ángeles (INV. E-218), partículas fracturadas (INV. E-227), ensayo para medir el equivalente de arena (INV. E-133) e índice de alargamiento aplanamiento (INV. E-230), sanidad de los agregados frente a soluciones de sulfato de sodio o de magnesio (INV. E-220), Peso unitario y porcentaje de vacios de los agregados (INV. E-217-07).

La ceniza de palma de aceite se consigue mediante el proceso de extracción de la almendra, esta generan unos residuos sólidos, algunos de ellos son utilizados como subproductos en alimentación de animales y a otros se les trata de sacar algunas propiedades para abonar las tierras; debido a las gran cantidad y sus propiedades los residuos sobrantes son adquiridos a bajos costos para ser utilizados como combustible en diversos campos de la industria. Es después de todos estos procesos de transformación que se produce la ceniza de palma de aceite, residuo que es tirado en los botaderos autorizados. A este material se le realizaron los siguientes ensayos tomándolo como una agregado fino para los

ensayos y como un porcentaje para el asfalto en las briquetas, siguiendo las especificaciones del Instituto Nacional de Vías: Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos (INV. E-213), peso específico y absorción de agregados finos (INV. E-222).

El asfalto que se utilizó proviene de la planta ASFALTART, ubicada en el anillo vial. A este material se le realizaron los siguientes ensayos, siguiendo las especificaciones del Instituto Nacional de Vías: Índice de penetración de los materiales asfálticos (INV. E-706-07), determinación del punto de ablandamiento y llama (INV. E-709).

A las briquetas de las mezclas bituminosas se le realizaron los siguientes ensayos, siguiendo las especificaciones del Instituto Nacional de Vías: Estabilidad y flujo Marshall (INV. E-748), Contenido de Asfalto (INV. E-703).

La metodología seguida en cada uno de los ensayos se resume a continuación en la Figura 1:

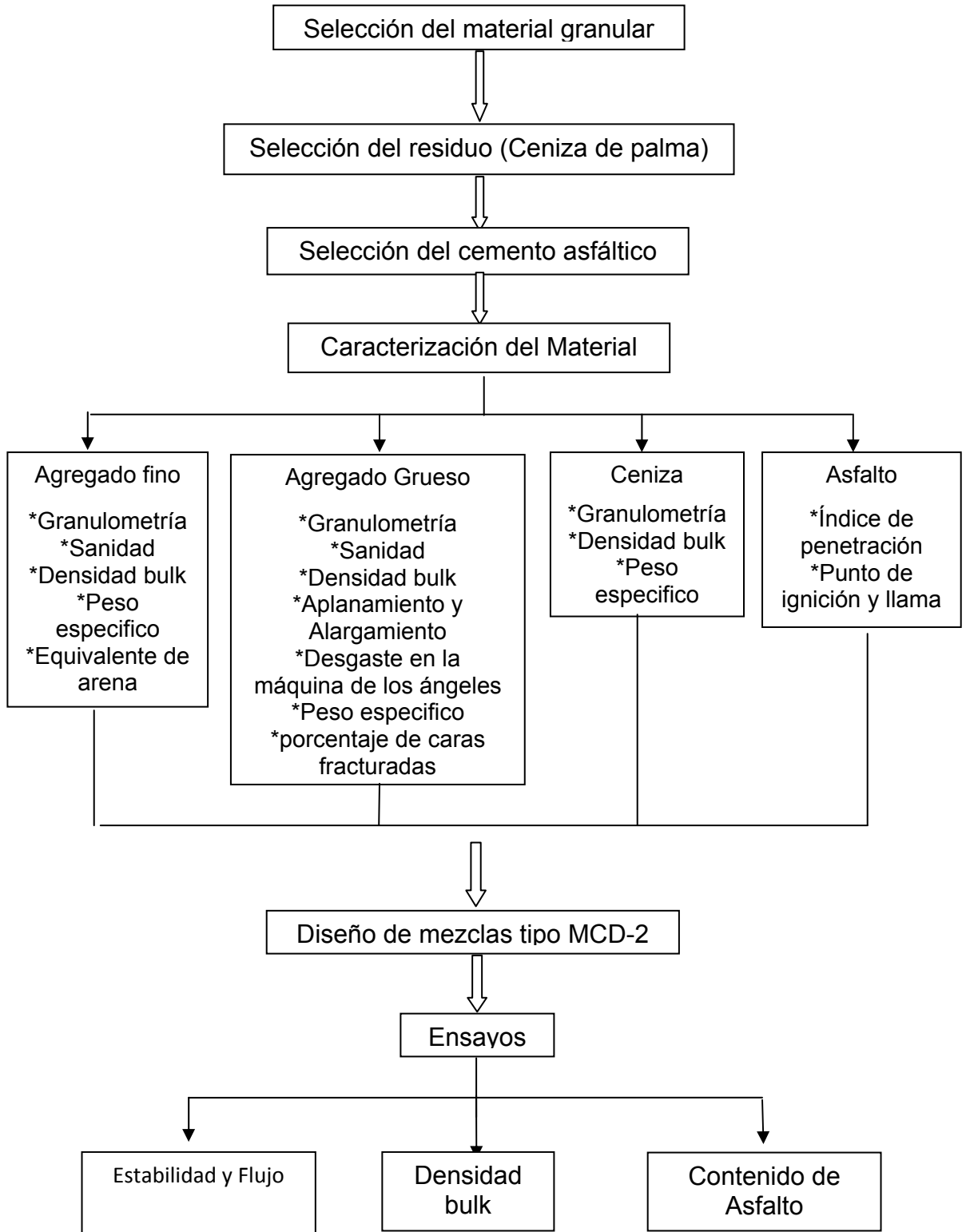


Figura 1. Metodología

3.1 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL GRANULAR, LA CENIZA Y ENSAYOS HECHOS AL ASFALTO

Granulometría: El ensayo granulométrico se realiza con el objetivo de determinar el la distribución de partículas del material. La norma que rige este ensayo de granulometría es la INV. E-213. El procedimiento seguido se puede ver en (Anexo 1 Análisis granulométrico de los agregados).

Resistencia al desgaste por medio de la máquina de los ángeles: Este ensayo se emplea para determinar la resistencia al desgaste de los agregados naturales o triturados empleando la máquina de los ángeles con una carga formada por un número de esferas de acero dependiendo el tipo de granulometría. La norma que rige este ensayo de desgaste es la INV. E-218. El procedimiento seguido se puede ver en (Anexo Resistencia al desgaste por medio de la máquina de los ángeles).

Porcentaje de caras fracturadas en los agregados: Este ensayo se realiza para determinar el porcentaje de caras fracturadas que presentan los agregados y poder saber si el agregado sirve i no para que adhiera el asfalto. La norma que rige este ensayo es la INV. E-227. El procedimiento que se realizo se puede ver en (Anexo 3 Porcentaje de caras fracturadas).

Peso específico y absorción de agregados finos y gruesos: Este ensayo se realiza para calcular que % de absorción y que gravedad especifica bulk tienen estos. La norma que rige este ensayo es la INV. E-222 para agregados finos y la INV. E-223 para los agregados gruesos. El procedimiento que se realizo se puede ver en (Anexo 2 y Anexo 3 Peso específico y absorción de los agregados).

Equivalente de arena: Este ensayo se realiza para precisar la proporción relativa del contenido de polvo nocivo o material arcilloso, en los suelos finos. Este método

consiste en tener cierto volumen de agregado fino al cual se le adiciona cierta cantidad de solución floculante, mezclándolos en una probeta de plástico y agitándolo durante 30 segundos en el cual se deben cumplir 90 ciclos con el fin de las partículas de arena pierdan la cobertura arcillosa. La norma que rige este ensayo es INV.E-133.El procedimiento que se realizó se puede ver en (Anexo 6 Equivalente de arena).

Índice de aplanamiento y alargamiento: Este método se utiliza para determinar los índices de aplanamiento y alargamiento de los agregados que se van a utilizar en la construcción de las carreteras y busca determinar el porcentaje de partículas aplanadas y alargadas para ver si pueden ser utilizadas en la construcción de una capa de rodadura. La norma que rige este ensayo es la INV. E-230. El procedimiento que se realizó se puede ver en (Anexo 7 Índice de Aplanamiento y Alargamiento).

Sanidad de los agregados frente a la acción de soluciones de sulfato de Sodio: Este ensayo se realiza para ver la resistencia del material a la desintegración de los agregados por la acción de soluciones saturadas de sulfato de sodio. La norma que rige este ensayo es la INV. E-220-07. El procedimiento que se realizó se puede ver en (**Anexo 8** Sanidad de los agregados frente a soluciones de sulfato de sodio o de magnesio).

3.2 DETERMINACIÓN DE PORCENTAJES DE AGREGADOS, CENIZA Y ASFALTO PARA BRIQUETAS.

Para estas pruebas se realizaron 78 briquetas; de las cuales:

Solo 6 briquetas fueron realizadas sin adiciones de ceniza, estas son las llamadas briquetas vírgenes, la proporción de los agregados y pesos para armar estas briquetas se puede ver en la Tabla 1.

Tabla 1. Cantidad en gramos de material granular con contenido de asfalto de 4,5% 5,5% y 6,5% sin adición de ceniza

BRIQUETAS CON 4,5% 5,5% Y 6,5% DE ASFATO		
Peso briqueta (gr):		1200
peso Agregados (gr):		1146
Peso Asfalto para 4,5% (gr):		54
Peso Asfalto para 5,5% (gr):		66
Peso Asfalto para 6,5% (gr):		78
Tamiz	% por tamiz	Peso por tamiz
1	0%	0,00
0,75	0%	0,00
0.5	10%	114,60
0,375	11%	126,06
no 4	22%	252,12
10	20%	229,20
40	17,50%	200,55
80	7%	80,22
200	6,50%	74,49
pasa 200	6%	68,76

Adicionalmente se incluyeron 24 briquetas con un contenido de asfalto del 4,5%; de las cuales: se realizaron de cada una 8 con un 5% de ceniza, 8 con un 10% de ceniza, 8 con un 15% de ceniza, la proporción de los agregados y pesos para armar estas briquetas se puede ver en las tablas 2,3 y 4.

Tabla 2. Cantidad en gramos de material granular con contenido de asfalto de 4,5% y adición de 5% de ceniza

BRIQUETA CON 4,5% DE ASFALTO Y 5% DE CENIZA		
Peso briqueta (gr):		1200
peso Agregados (gr):		1146
Peso Asfalto (gr):		51,3
Peso ceniza (gr):		2,7
Tamiz	% por tamiz	Peso por tamiz
1	0%	0,00
0,75	0%	0,00
0.5	10%	114,60
0,375	11%	126,06
no 4	22%	252,12
10	20%	229,20
40	17,50%	200,55
80	7%	80,22
200	6,50%	74,49
pasa 200	6%	68,76

Tabla 3. Cantidad en gramos de material granular con contenido de asfalto de 4,5% y adición de 10% de ceniza

BRIQUETA CON 4,5% DE ASFALTO Y 10% DE CENIZA		
Peso briqueta (gr):		1200
peso Agregados (gr):		1146
Peso Asfalto (gr):		48,6
Peso ceniza (gr):		5,4
Tamiz	% por tamiz	Peso por tamiz
1	0%	0,00
0,75	0%	0,00
0.5	10%	114,60
0,375	11%	126,06
no 4	22%	252,12
10	20%	229,20
40	17,50%	200,55
80	7%	80,22
200	6,50%	74,49
pasa 200	6%	68,76

Tabla 4. Cantidad en gramos de material granular con contenido de asfalto de 4,5% y adición de 15% de ceniza

BRIQUETA CON 4,5% DE ASFALTO Y 15% DE CENIZA		
Peso briqueta (gr):		1200
peso Agregados (gr):		1146
Peso Asfalto (gr):		45,9
Peso ceniza (gr):		8,1
Tamiz	% por tamiz	Peso por tamiz
1	0%	0,00
0,75	0%	0,00
0.5	10%	114,60
0,375	11%	126,06
no 4	22%	252,12
10	20%	229,20
40	17,50%	200,55
80	7%	80,22
200	6,50%	74,49
pasa 200	6%	68,76

Adicionalmente se incluyeron 24 briquetas con un contenido de asfalto del 5,5%; de las cuales: se realizaron de cada una 8 con un 5% de ceniza, 8 con un 10% de ceniza, 8 con un 15% de ceniza, la proporción de los agregados y pesos para armar estas briquetas se puede ver en las tablas 5,6 y 7.

Tabla 5. Cantidad en gramos de material granular con contenido de asfalto de 5,5% y adición de 5% de ceniza.

BRIQUETA CON 5,5% DE ASFALTO Y 5% DE CENIZA		
Peso briqueta (gr):		1200
peso Agregados (gr):		1134
Peso Asfalto (gr):		62,7
Peso ceniza (gr):		3,3
Tamiz	% por tamiz	Peso por tamiz
1	0%	0,00
0,75	0%	0,00
0.5	10%	113,40
0,375	11%	124,74
no 4	22%	249,48
10	20%	226,80
40	17,50%	198,45
80	7%	79,38
200	6,50%	73,71
pasa 200	6%	68,04

Tabla 6. Cantidad en gramos de material granular con contenido de asfalto de 5,5% y adición de 10% de ceniza.

BRIQUETA CON 5,5% DE ASFALTO Y 10% DE CENIZA		
Peso briqueta (gr):		1200
peso Agregados (gr):		1134
Peso Asfalto (gr):		59,4
Peso ceniza (gr):		6,6
Tamiz	% por tamiz	Peso por tamiz
1	0%	0,00
0,75	0%	0,00
0.5	10%	113,40
0,375	11%	124,74
no 4	22%	249,48
10	20%	226,80
40	17,50%	198,45
80	7%	79,38
200	6,50%	73,71
pasa 200	6%	68,04

Tabla 7. Cantidad en gramos de material granular con contenido de asfalto de 5,5% y adición de 15% de ceniza.

BRIQUETA CON 5,5% DE ASFALTO Y 15% DE CENIZA		
Peso briqueta (gr):		1200
peso Agregados (gr):		1134
Peso Asfalto (gr):		56,1
Peso ceniza (gr):		9,9
Tamiz	% por tamiz	Peso por tamiz
1	0%	0,00
0,75	0%	0,00
0.5	10%	113,40
0,375	11%	124,74
no 4	22%	249,48
10	20%	226,80
40	17,50%	198,45
80	7%	79,38
200	6,50%	73,71
pasa 200	6%	68,04

Adicionalmente se incluyeron 24 briquetas con un contenido de asfalto del 6,5%; de las cuales: se realizaron de cada una 8 con un 5% de ceniza, 8 con un 10% de ceniza, 8 con un 15% de ceniza, la proporción de los agregados y pesos para armar estas briquetas se puede ver en las tablas 8,9 y 10.

Tabla 8. Cantidad en gramos de material granular con contenido de asfalto de 6,5% y adición de 5% de ceniza.

BRIQUETA CON 6,5% DE ASFALTO Y 5% DE CENIZA		
Peso briqueta (gr):		1200
peso Agregados (gr):		1122
Peso Asfalto (gr):		74,1
Peso ceniza (gr):		3,9
Tamiz	% por tamiz	Peso por tamiz
1	0%	0,00
0,75	0%	0,00
0.5	10%	112,20
0,375	11%	123,42
no 4	22%	246,84
10	20%	224,40
40	17,50%	196,35
80	7%	78,54
200	6,50%	72,93
pasa 200	6%	67,32

Tabla 9. Cantidad en gramos de material granular con contenido de asfalto de 6,5% y adición de 10% de ceniza.

BRIQUETA CON 4,5% DE ASFALTO Y 5% DE CENIZA		
Peso briqueta (gr):		1200
peso Agregados (gr):		1122
Peso Asfalto (gr):		70,2
Peso ceniza (gr):		7,8
Tamiz	% por tamiz	Peso por tamiz
1	0%	0,00
0,75	0%	0,00
0.5	10%	112,20
0,375	11%	123,42
no 4	22%	246,84
10	20%	224,40
40	17,50%	196,35
80	7%	78,54
200	6,50%	72,93
pasa 200	6%	67,32

Tabla 10. Cantidad en gramos de material granular con contenido de asfalto de 6,5% y adición de 15% de ceniza.

BRIQUETA CON 4,5% DE ASFALTO Y 5% DE CENIZA		
Peso briqueta (gr):		1200
peso Agregados (gr):		1122
Peso Asfalto (gr):		66,3
Peso ceniza (gr):		11,7
Tamiz	% por tamiz	Peso por tamiz
1	0%	0,00
0,75	0%	0,00
0.5	10%	112,20
0,375	11%	123,42
no 4	22%	246,84
10	20%	224,40
40	17,50%	196,35
80	7%	78,54
200	6,50%	72,93
pasa 200	6%	67,32

3.3 PRUEBA DE LA RESISTENCIA A LAS BRIQUETAS POR EL MÉTODO MARSHALL.

La norma INV. E-748-07 del Instituto nacional de Vías establece que un diseño con seis contenidos de asfaltos necesitará por lo menos 18 probetas, 3 por cada contenido de asfalto. Teniendo en cuenta que en nuestro diseño se realizará con 3 contenidos distintos de asfalto, mas 3 adiciones de diferente porcentaje de ceniza en el asfalto, se podría decir que es un diseño con 9 contenidos de asfalto distinto, ya que el porcentaje en peso de la ceniza desplaza el porcentaje en peso del asfalto, se realizaron 78 probetas en total según la Tabla 11.

Tabla 11. Matriz del número de briquetas realizadas.

% ASFALTO	% CENIZA	# PROBETAS
4,50%	-	2
	5%	8
	10%	8
	15%	8
5,50%	-	2
	5%	8
	10%	8
	15%	8
6,50%	-	2
	5%	8
	10%	8
	15%	8
TOTAL PROBETAS		78

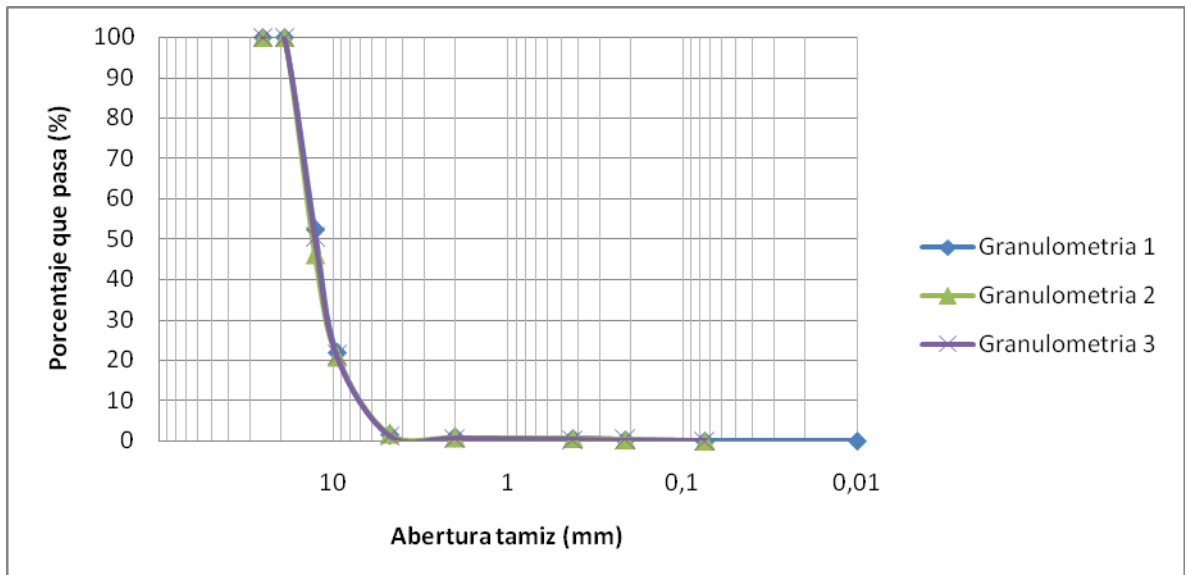
4. RESULTADOS

Este estudio permitió la caracterización de agregados naturales y artificiales para la preparación de mezclas asfálticas tipo MCD-2. A continuación se registran los resultados de los ensayos que se le realizaron a los materiales. Los resultados detallados se encuentran en la sección de anexos, a partir del ANEXO 14.

4.1 CARACTERIZACION DEL AGREGADO GRUESO

La caracterización del agregado grueso se realizó según la norma I.N.V E-213, y se utilizó la serie de tamices establecidos para ello. Se realizaron 3 ensayos granulométricos al agregado grueso, los cuales arrojaron las curvas registradas en la figura 2. En esta figura se puede observar la homogeneidad de los agregados gruesos. (ANEXO 14).

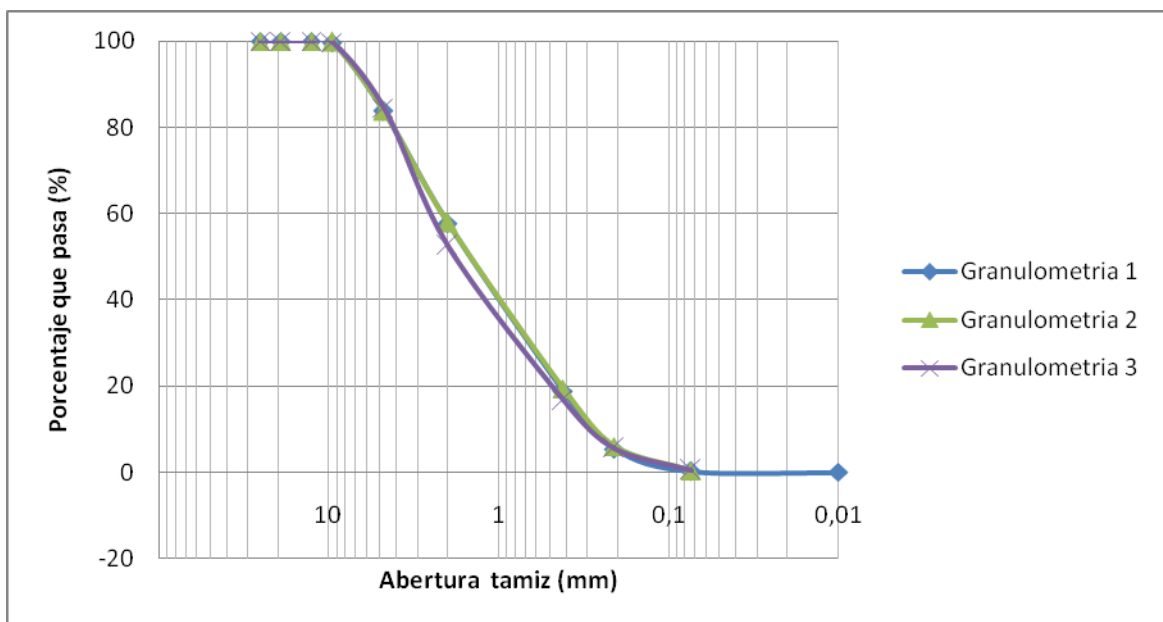
Figura 2 Curva granulométrica de los agregados gruesos utilizados



4.2 CARACTERIZACION DEL AGREGADO FINO

La caracterización del agregado fino se realizó según la norma I.N.V E-213, y se utilizó la serie de tamices establecidos para ello. Se realizaron 3 ensayos granulométricos al agregado fino, los cuales arrojaron las curvas registradas en la figura 3. En esta figura se puede observar la homogeneidad de los agregados finos. (ANEXO 15).

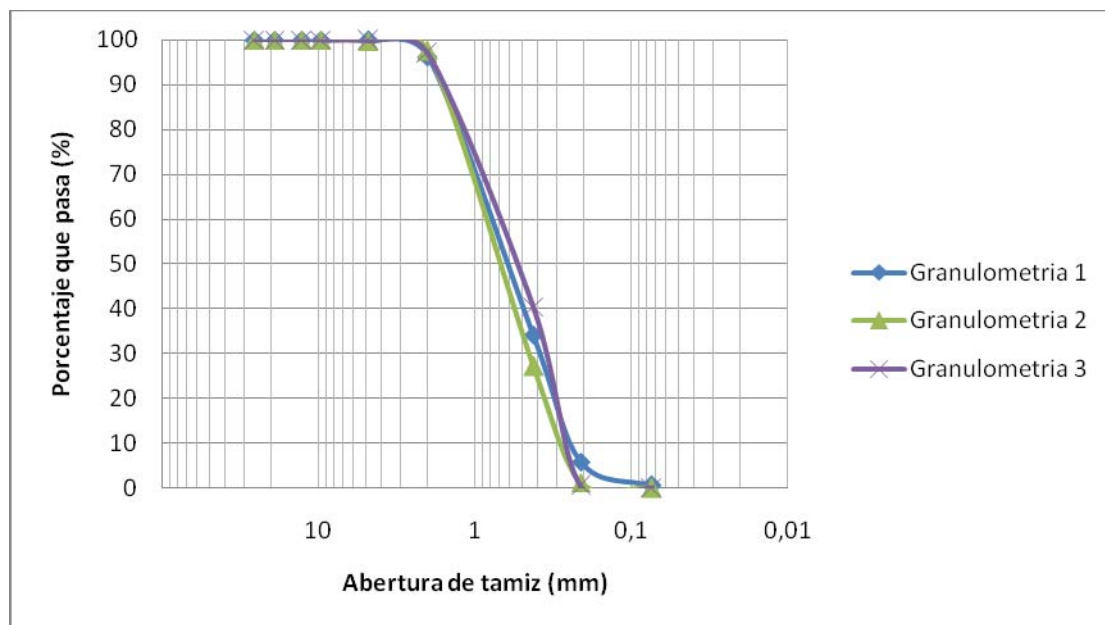
Figura 3 Curva granulométrica de los agregados finos utilizados



4.3 CARACTERIZACION DE LA CENIZA

La caracterización de la ceniza se realizó según la norma I.N.V E-213, y se utilizó la serie de tamices establecidos para ello, esta ceniza es un agregado fino. Se realizaron 3 ensayos granulométricos a la ceniza, los cuales arrojaron las curvas registradas en la figura 4. En esta figura se puede observar la homogeneidad de la granulometría de las cenizas. (ANEXO 16).

Figura 4 Curva granulométrica realizada a la ceniza que se utilizó.



4.4 CARAS FRACTURADAS

El ensayo de caras fracturadas se hizo con la norma INV. E-227, y para ello se utilizó la granulometría número 1 del agregado grueso. El ensayo arrojó que el 81,2% del material presenta caras fracturadas. (Tabla 12), este valor indica que es posible el aprovechamiento de este material para la preparación de mezclas asfálticas según la norma I.N.V E-400 donde están los rangos o porcentajes de cada ensayo para que puedan ser utilizados en mezclas. (ANEXO 17).

Tabla 12. % de caras fracturadas.

TAMIZ		PESO INICIAL (g)	PESO CARAS FRACTURADAS	PESO CARAS NO FRACTURADAS	% DE CARAS FRACTURADAS
PASA	RETENIDO				
1 1/2"	1"	0	0	0	0
1"	3/4"	0	0	0	0
3/4"	1/2"	1268	1069,7	198,30	84,36
1/2"	3/8"	565	440,9	124,10	78,04

4.5 DESGASTE EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES

La granulometría que se utilizó para este ensayo fue la tipo B. El ensayo se realizó según la norma INV. E-218. El resultado del desgaste fue de 23%. Este valor indica que el material puede ser utilizado para mezclas asfálticas (ANEXO 18).

4.6 MASA UNITARIA SUELTA Y COMPACTA

El ensayo de masa unitaria se realizó según la norma INV. E-217 y los resultados se pueden observar en la Tabla 13. (ANEXO 19).

Tabla 13. Valores del ensayo de masa unitaria suelta y compacta.

Material	Masa Unitaria Suelta (kg/m ³)	Masa Unitaria Compacta (kg/m ³)
Agregado fino	1524,64	1654,13
Agregado grueso	1512,2	1661,02

4.7 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO FINO

La tabla 14 muestra los valores de pesos específicos del agregado fino (ANEXO 21).

Tabla 14. resultados del ensayo de peso especifico y absorción del agregado fino

CARACTERISTICA	UNIDAD	VALOR
Gravedad especifica bulk (Gsb)	g/cm ³	2,35
Gravedad especifica bulk sss (Gsb _{sss})	g/cm ³	2,23
Gravedad especifica aparente (Gsa)	g/cm ³	2,15
Absorción	%	3,95

4.8 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCION DE AGREGADO GRUESO

La tabla 15 muestra los valores de los pesos específicos del agregado grueso. (ANEXO 20).

Tabla 15. resultados del ensayo de peso especifico y absorción del agregado grueso

CARACTERISTICA	UNIDAD	VALOR
Gravedad especifica bulk (Gsb)	g/cm ³	2,9
Gravedad especifica bulk sss (Gsb _{sss})	g/cm ³	2,94
Gravedad especifica aparente (Gsa)	g/cm ³	3,03
Absorcion	%	1,45

4.9 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCION DE LA CENIZA

La tabla 16 muestra los valores de pesos específicos de la ceniza. Se observa que este material se comporta como un agregado fino. (ANEXO 22).

Tabla 16. resultados del ensayo de peso específico y absorción de la ceniza

CARACTERISTICA	UNIDAD	VALOR
Gravedad especifica bulk (Gsb)	g/cm ³	2,6
Gravedad especifica bulk sss (Gsb _{sss})	g/cm ³	2,3
Gravedad especifica aparente (Gsa)	g/cm ³	2,12
Absorcion	%	8,7

4.10 SANIDAD DE LOS AGREGADOS FRENTE A LA ACCION DE SULFATO DE SODIO

Las tablas 17,18 y 19 muestran los valores de los resultados realizados a los agregados finos y gruesos, los cuales fueron sometidos a inmersión en sal durante un tiempo no menor de 16 horas y no mayores de 18 horas durante 5 días. Este ensayo se realizó según la norma I.N.V E-230 y para ello se tuvo en cuenta la granulometría número 3. Se realizaron el ensayo cualitativo y cuantitativo; en el análisis cualitativo se observó que a partir del tercer día se puede notar cambio en las partículas. Los datos de los ensayos se encuentran en el (ANEXO 23)

Tabla 17. Análisis cuantitativo agregado grueso

PESO RETENIDO FINAL	PERDIDA TOTAL POR FRACCION	PREDIDA PONDERADA FRACCION	No FINAL PARTICULAS
627,10	7,9	0,16	98
321,17	4,3	0,18	125
289,49	3,6	0,17	-
1237,76	15,8	0,51	-

Tabla 18. Análisis cuantitativo agregado fino

PESO RETENIDO FINAL	PERDIDA TOTAL POR FRACCION	PREDIDA PONDERADA FRACCION	No FINAL PARTICULAS
100,00	100	0	-
91,10	8,9	0,66	-
84,30	15,7	0,44	-
85,40	14,6	0,51	-
-	-	-	-

Tabla 19. Análisis cualitativo agregado grueso

CICLO	FRACCION		No INICIAL DE PARTICULAS	No DE PARTICULAS DESPUES DE CADA CICLO			
	PASA	RETENIDO		BUEN ESTADO	PARTIDAS	ESCAMOSAS	DESINTEGRADAS
1	3/4"	1/2"	105	105	0	1	0
	1/2"	3/8"	119	119	0	0	0
2	3/4"	1/2"	105	103	0	3	0
	1/2"	3/8"	119	115	0	0	0
3	3/4"	1/2"	105	94	0	5	0
	1/2"	3/8"	119	100	0	2	0
4	3/4"	1/2"	105	72	1	12	0
	1/2"	3/8"	119	69	2	4	0
5	3/4"	1/2"	105	48	3	25	0
	1/2"	3/8"	119	28	5	32	0

4.11 EQUIVALENTE DE ARENA

La tabla 20 muestra los valores obtenidos en el ensayo de equivalente de arena de suelos y agregados finos según la norma I.N.V. E-133.

Tabla 20. Resultados de ensayo equivalente de arena

Lectura de arena	4,80
Lectura de arcilla	3,50
Equivalente de arena (%)	72,92

4.12 INDICE DE ALARGAMIENTO Y APLANAMIENTO

La tabla 21 muestra los porcentajes de aplanamiento y alargamiento que se obtuvieron de acuerdo a la norma I.N.V E-230 (ANEXO 24)

Tabla 21. % de alargamiento y aplanamiento en el material grueso

INDICE DE APLANAMIENTO	14,85%
INDICE DE ALARGAMIENTO	20,46%

4.13 INDICE DE PENETRACION EN EL ASFALTO

La tabla 22 muestra los resultados del ensayo de índice de penetración en el asfalto de acuerdo a la norma I.N.V E-706.

Tabla 22. Índice de penetración en el asfalto.

INDICE DE PENETRACION	
SIN CENIZA	70
5% CENIZA	70
10 % CENIZA	60
15% CENIZA	60

4.14 DETERMINACION DE PUNTO DE ABLANDAMIENTO Y LLAMA

La tabla 23 muestra los resultados del ensayo de determinación de punto de ablandamiento y llama en el asfalto realizado de acuerdo a la norma I.N.V E-709.

Tabla 23. Punto de ablandamiento y llama.

PUNTO (°C)	ABLANDAMIENTO	IGNICION
SIN CENIZA	47,5	240
5% CENIZA	48,6	250
10% CENIZA	49,5	250
15% CENIZA	49,4	250

4.15 CONTENIDO DE ASFALTO

La tabla 24 muestra los resultados del ensayo realizado a las briquetas para determinar su contenido de asfalto después de probadas.

Tabla 24. Contenido de Asfalto.

BRIQUETA	CONTENIDO DE ASFALTO
6,5	6,4
5,5	5,4
4,5	4,5

5. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

El presente estudio se centró en el aprovechamiento de la ceniza de palma de aceite en el diseño de mezclas asfálticas. Para esto fue necesario realizar caracterización de los agregados y también del material experimental que fue la ceniza. Los resultados por tanto se realizaron siguiendo las norma invías que regulan la forma de hacer estos ensayos.

5.1 CARACTERIZACION DE LA CENIZA

La ceniza cumple con todas las especificaciones según la norma I.N.V. E-400. Por lo tanto su caracterización se realizó según este tipo de material.

5.2 CARACTERIZACION DE LOS AGREGADOS

En la tabla 25 encontramos el resumen de los ensayos realizados a los agregados comparados con la especificación INV. E-400 que nos dice los porcentajes mínimos y máximos para cada ensayo realizado.

Tabla 25. Caracterización de los agregados

ENSAYO	NORMA I.N.V.	ESPECIF. I.N.V. E-400 MEZCLA DENSA EN CALIENTE	VALOR
GRANULOMETRIA	E-213	----	----
IND. ALARGAMIENTO	E-230	30% Max	14,85%
IND. APLANAMIENTO	E-230	30% Max	20,46%
DESGASTE LOS ANGELES	E-219	25% Max	23%
% CARAS FRACTURADAS	E-227	75% Min	81,20%
EQUIVALENTE ARENA	E-133	50% Min	72,92%
PESO ESPECIFICO GRUESO	E-223	----	2,9
PESO ESPECIFICO FINO	E-222	----	2,35
% ABSORCION GRUESO	E-223	----	1,45
% ABSORCION FINO	E-222	----	3,95

5.3 RESULTADOS ENSAYOS MARSHALL

En las tablas 25,26,27 y 28 se observan los resultados de las briquetas elaboradas con asfalto por el método convencional para mezcla tipo MCD-2, a este asfalto se le adicionó un 5, 10 y 15 % de ceniza para cada % de asfalto. Se trabajaron las briquetas con 4,5%, 5,5% y 6,5% (figura 5 a 8) encontrando que el óptimo % de asfalto para este tipo de mezcla es 5,5.

Tabla 26. Resumen del ensayo Marshall realizado a las briquetas vírgenes.

% de asfalto	peso unitario lb/in ³	estabilidad corregida	vacíos %		flujo 0,01*
			mezcla total	lentos	
4,5	143,98	2906	5,44	65,31	17
5,5	146,24	3138	2,75	83,33	18
6,5	146,64	2339	0,84	94,67	22

Tabla 27. Resumen del ensayo Marshall realizado a las briquetas con adición del 5% de ceniza sobre el asfalto

% de asfalto	peso unitario lb/in ³	estabilidad	vacíos %		flujo 0,01*
		corregida	mezcla total	lentos	
4,5	144,78	2595	4,91	67,68	17
5,5	145,02	3067	3,57	79,02	18
6,5	145,57	2260	1,57	90,53	23

Tabla 28. Resumen del ensayo Marshall realizado a las briquetas con adición del 10% de ceniza sobre el asfalto

% de asfalto	peso unitario lb/in ³	estabilidad	vacíos %		flujo 0,01*
		corregida	mezcla total	lentos	
4,5	141,85	2802	6,83	59,7	17
5,5	144,85	3187	3,68	78,45	17
6,5	145,93	2369	1,32	91,91	20

Tabla 29. Resumen del ensayo Marshall realizado a las briquetas con adición del 15% de ceniza sobre el asfalto

% de asfalto	peso unitario lb/in ³	estabilidad	vacíos %		flujo 0,01*
		corregida	mezcla total	lentos	
4,5	138,59	2543	8,97	52,49	17
5,5	144,99	2993	3,59	78,91	19
6,5	146,97	2276	0,62	96	20

Figura 5 peso unitario .vs. % asfalto

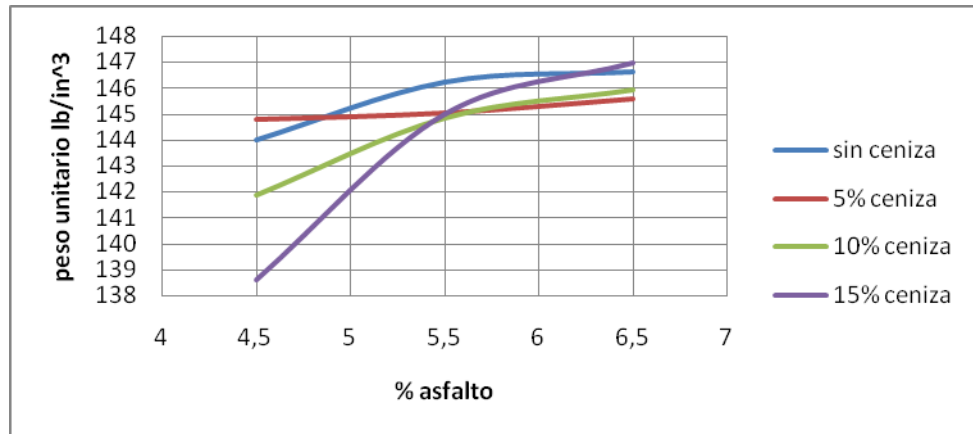


Figura 6 estabilidad-lb.vs. % asfalto

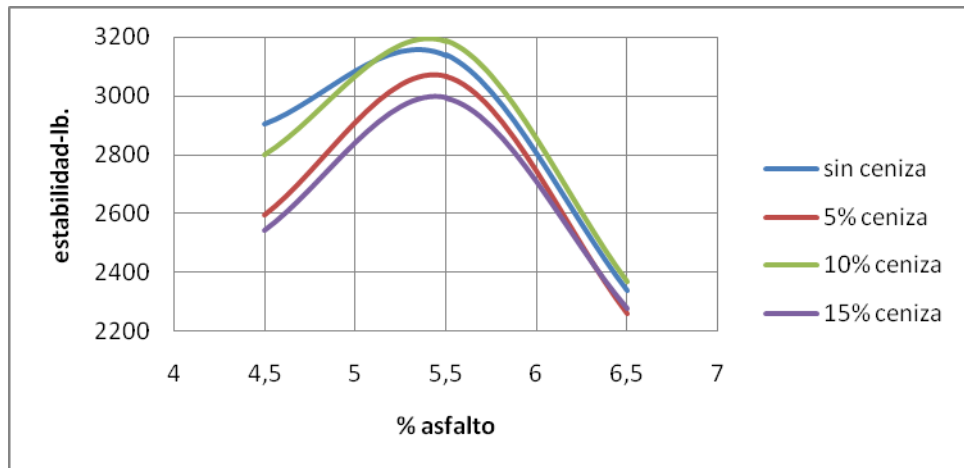


Figura 7 vacios%-mezcla total.vs. % asfalto

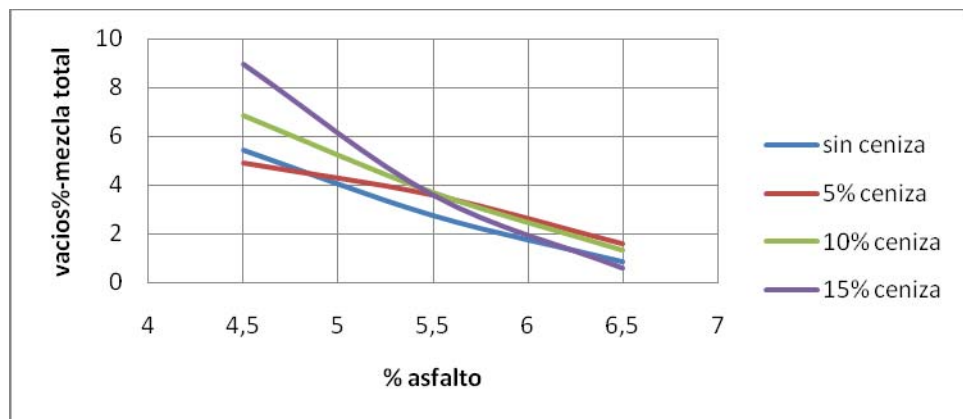


Figura 8 vacios%-llenos.vs. % asfalto

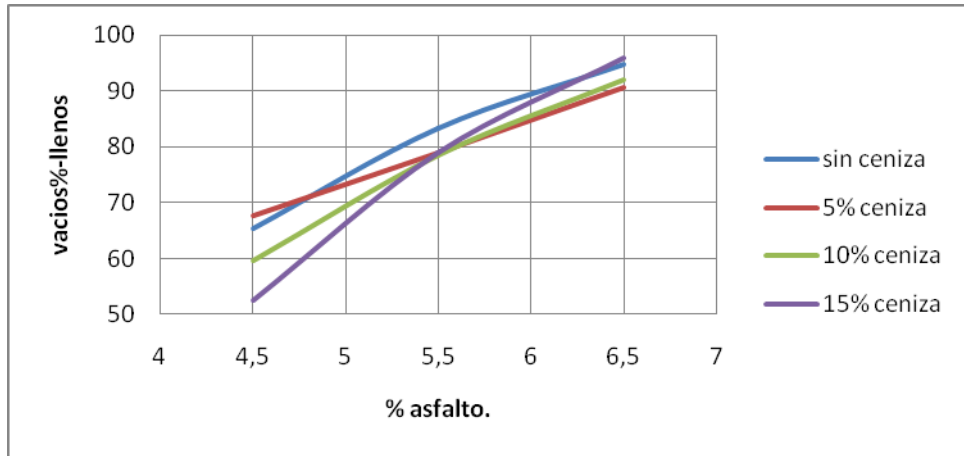
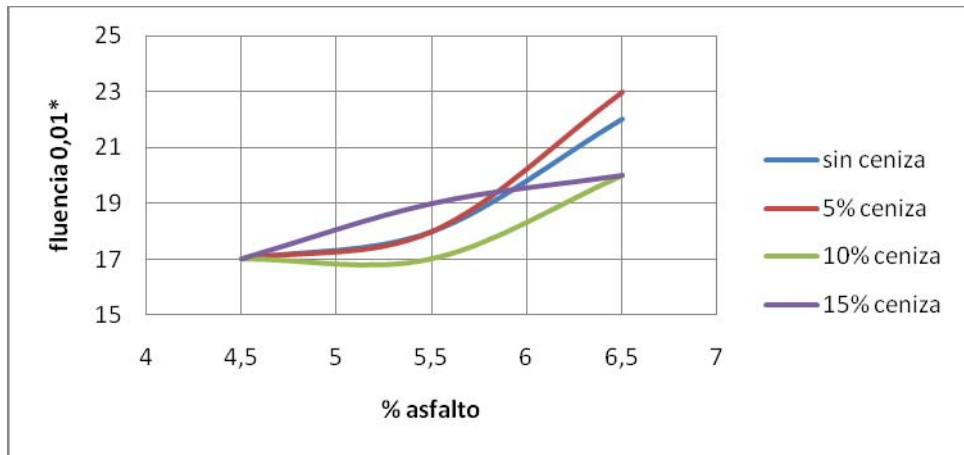


Figura 9 fluencia 0,01*.vs. % asfalto



6. CONCLUSIONES

Con respecto a los agregados naturales:

Se observa que los agregados naturales utilizados y obtenidos en la zona cumplen con todas las normas técnicas del instituto nacional de vías. La ceniza de aceite fue tratada como un agregado fino, basándonos en estudios previos para ello, y también según la norma I.N.V E-400, se observó que la limalla arroja todos sus resultados similares a los del agregado fino, aunque en el porcentaje de absorción la ceniza de palma es de 8,7% mientras que la absorción del agregado fino es tan solo de 3,95%.

Con respecto a la ceniza:

Esta ceniza utilizada en la elaboración de esta tesis, era un residuo industrial por lo que se asumió que podía ser utilizada para la preparación de mezclas asfálticas tipo MCD-2, esto fue lo que se observó:

- La mezcla asfáltica con una adición del 10% de ceniza de palma de aceite, fue la que mayor valor arrojó en los resultados de estabilidad Marshall siendo 3187lb para un porcentaje de asfalto del 5,5% y 2369lb para un porcentaje de asfalto de 6,5%.
- El flujo más alto en todas las mezclas probadas se presentó en las briquetas elaboradas con un % de asfalto de 6,5%, pero la mayor fueron las probadas con la adición del 5% de ceniza al asfalto, y también arrojando esta mezcla el menor valor para la estabilidad Marshall con un valor de 2260lb.
- Las briquetas sin adición de ceniza, fueron las que menor porcentaje de de vacíos arrojaron.

Con respecto a la mezcla asfáltica

- Todas las briquetas fueron preparadas con la misma calidad de agregados, todos provenientes de la misma fuente, utilizar esta ceniza que es un residuo industrial en la elaboración de mezclas asfálticas puede ser una solución para la disposición final de este material y también podemos reducir el impacto negativo que puede tener la incorrecta disposición de este material.
- Se observó que la mezcla asfáltica con mayor estabilidad es la que tiene un % de asfalto de 5,5% arrojando un valor de 3138lb, pero que con una adición de 10% de ceniza de palma en el asfalto esta estabilidad puede aumentar un 1,5% dando una estabilidad de 3187lb, y las mezclas con adiciones de 5% y 15% respectivamente de ceniza al asfalto disminuye su estabilidad.
- El porcentaje óptimo de asfalto es de un 5,5% según los resultados de los ensayos Marshall realizados a las briquetas.
- Este estudio permitió evidenciar que la ceniza de palma de aceite aumenta un 2% la estabilidad para las mezclas asfálticas realizadas con un porcentaje de asfalto óptimo que era de 5,5%, pero para las mezclas con los porcentajes de asfalto de 4,5% y 6,5% la estabilidad disminuye en el mismo 2%.

Recomendaciones para trabajos futuros:

- Se recomienda realizar ensayos de resistencia a fatiga y envejecimiento sobre las mezclas asfáltica.
- Se recomienda continuar el estudio, añadiéndole la ceniza de palma directamente como un porcentaje de agregado fino y en mas altos porcentajes mas no como un porcentaje de asfalto.
- La ceniza de palma de aceite se podría utilizar en el diseño de mezclas asfálticas, ya que no genera ningún cambio drástico en los resultados Marshall que puedan perjudicar el comportamiento de la mezcla asfáltica.
- Ya que el porcentaje óptimo de asfalto para las mezclas es de 5,5%, recomendaría para futuros trabajos, realizar las mezclas asfálticas con este porcentaje y la ceniza de palma de aceite tomarla como un agregado mas, sin añadirsele a ningún agregado como el fino, grueso, o el mismo asfalto.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 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.
- Carlos Mercado Huertas .Revista Épsilon, Universidad de La Salle, ISSN (Versión impresa): 1692-1259.COLOMBIA.
- CHO D-W., K. Kim y M-J. Lee, Chemical Model to explain asphalt binder and asphalt-aggregate interface behaviors, Canadian Journal Civil Engineering, volumen 37, No. 45-53, doi:10.1139/L09-163, publicado por NRC Research Press
- HEITZMAN m, (2006) “new approaches for computing film thickness “Electron. J . asso.asph. paving technol.(CD-ROM)75.
- http://www.utp.edu.co/php/revistas/cafeconletras/docsFTP/92842sis_icontec.pdf. Pagina consultada el 15 de Noviembre par alas Norma Icontec.
- 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
- LOPEZ PULIDO, Manuel, Estudio para la aplicabilidad de asfalto natural de pesca (boyaca) como mezcla asfáltica en caliente, Tesis para optar por el título de ingeniero civil, Universidad Pontificia Bolivariana, 2005

- MONTEJO FONSECA, Alonso, Ingeniería de Pavimentos para carreteras. 2 ed. Santa Fe de Bogota, Colombia, 1998.
- MONTEJO FONSECA, Alonso, Ingeniería de Pavimentos para carreteras. 2 ed. Santa Fe de Bogota, Colombia, 2006.
- Normas de Ensayos Para Materiales de Carreteras (Santa Fe de Bogotá, D.C, 1998.) INSTITUTO NACIONAL DE VIAS.
- TAHA M. Y., Evaluation of the Acceptance of the Hot Mix Asphalt Paving Mixture using Backpropagation Artificial Neural Network, Al-Rafidain Engineering, Volumen 19, No. 2, Abril, 2011.
- 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, 2010.
- Yusif.M. http://www.amp.ece.cmu.edu/publication/devi/mehta_SWJ_2005.pdf. consultada el 6 de Julio de 2011.

ANEXOS

ANEXO 1 ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS

Tomado y adaptado, Normas de Ensayos Para Materiales de Carreteras (Santa Fe de Bogotá, D.C, 1998. INSTITUTO NACIONAL DE VIAS.

I.N.V. E – 213 – 07

1. OBJETO

1.1 Este método de ensayo tiene por objeto determinar cuantitativamente la distribución de los tamaños de las partículas de agregados gruesos y finos de un material, por medio de tamices de abertura cuadrada progresivamente decreciente. Este método también se puede aplicar usando mallas de laboratorio de abertura redonda, y no se empleará para agregados recuperados de mezclas asfálticas.

1.2 Esta norma no pretende considerar todos los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien la emplee, el establecimiento de prácticas apropiadas de seguridad y salubridad y la aplicación de limitaciones regulatorias con anterioridad a su uso.

2. EQUIPOS Y MATERIALES

2.1 Balanza

2.2 Tamices

2.3 Tamizadora mecánica

2.4 Horno

3. PREPARACION DE LA MUESTRA

3.1 Las muestras para el ensayo se obtendrán por medio de cuarteo, manual o mecánico, (según la norma INV E – 202).

3.2 Agregado fino – Las muestras de agregado fino para el análisis granulométrico, después de secadas, deberán tener una masa mínima de 300 g.

3.3 Agregado grueso – Las muestras de agregado grueso para el análisis granulométrico, después de secadas, deberán tener una masa mínima de 5 Kg.

4. PROCEDIMIENTO

Colocar la serie de tamices de mayor a menor tamaño de abertura como aparece en la norma. Seguidamente a esto se realiza tamizado de forma manual de un lado a otro en forma circular durante 10 minutos. No se debe forzar el material para que pase por los tamices si no utilizando el cepillo para los tamices mayores a 4" y con una brocha para los menores de 4".

Después de esto pesar el material retenido en cada tamiz para tabularlo, hacer su respectiva grafica y poder analizar la granulometría del suelo.

5. CALCULOS

5.1 Se calculan los siguientes porcentajes: a) el porcentaje que pasa, b) el porcentaje total retenido, o c) el porcentaje de las fracciones de diferentes tamaños, con una aproximación de 0.1%, con base en la masa total de la muestra inicial seca.

5.2 Cuando la muestra se haya ensayado por porciones, se deberán totalizar las masas de todas las porciones retenidas en cada tamiz y usar dichos totales para calcular el porcentaje.

5.3 Se calcula el módulo de finura, cuando así se prescriba, sumando los porcentajes totales de material en la muestra, retenidos en los tamices siguientes y dividiendo la suma por 100.

ANEXO 2. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCION DE LOS AGREGADOS.

Tomado y adaptado, Normas de Ensayos Para Materiales de Carreteras (Santa Fe de Bogotá, D.C, 1998). INSTITUTO NACIONAL DE VIAS.

I.N.V. E-222-07

1. OBJETIVOS

1.1 Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para la determinación de gravedades específicas bulk y aparente $23 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$ ($73.4/73.4^{\circ}\text{F}$), así como la absorción de agregados finos.

1.2 Este método determina (después de 15 horas en agua) la gravedad específica bulk y la aparente como están definidas en la norma INV E – 223, la gravedad específica bulk basada en la masa saturada y superficialmente seca del agregado, y la absorción como está definida en la norma INV E – 223.

1.3 Esta norma no pretende considerar los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien emplee esta norma el establecer prácticas apropiadas de seguridad y salubridad y el determinar la aplicación de limitaciones regulatorias antes de su empleo.

2. EQUIPOS Y MATERIALES

2.1 Balanza

2.2 Picnómetro

2.3 Molde cónico

2.4 Pisón

3. PREPARACION DE LA MUESTRA

3.1 Se toma una muestra de agregado fino de aproximadamente 1 kg.

3.2 Se seca el espécimen de prueba en un recipiente adecuado hasta masa constante a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($290 \pm 9^{\circ}\text{F}$). Se permite que enfriara hasta temperatura en la que sea manejable, se cubre con suficiente agua o al menos que quede con una humedad de 6% e l agregado fino, y se mantiene en ese estado de 15 a 19 horas.

3.3 Después del período de inmersión, se decanta cuidadosamente el agua para evitar la pérdida de finos y se extiende la muestra sobre una superficie plana no absorbente, se inicia la operación de secar la superficie de las partículas, dirigiendo sobre ella una corriente moderada de aire caliente, si se desea para agilizar y homogenizar el secado se voltea periódicamente la muestra, y se continua el secado hasta que las partículas puedan fluir libremente.

3.4 Prueba del cono para chequear la condición saturada y superficialmente seca— Cuando se empiece a observar visualmente que se está aproximando el agregado fino a esta condición, se sujeta firmemente el molde cónico con su diámetro mayor apoyado sobre una superficie plana no absorbente, se pone en su interior, una porción de muestra suficiente para llenarlo, y sin apelmazar se apisona ligeramente con 25 golpes de la varilla, cada golpe se debe dar dejando caer libremente el pisón bajo la acción de la gravedad únicamente, desde unos 5mm (0.2”) por encima de la superficie superior del agregado fino en el momento del golpe. Se levanta a continuación, con cuidado, verticalmente el molde, si hay humedad superficial aun presente, la muestra de agregado fino mantendrá su forma cónica, por lo que se continuará secando y mezclando la muestra, realizando frecuentemente la prueba del cono hasta que se produzca un primer desmoronamiento superficial. Cuando los agregados finos se derrumban

parcialmente, es indicativo que se ha alcanzado la condición de seco superficial. Algunos agregados finos angulares o materiales con alta proporción de finos pueden que no se derrumben en la condición de secos superficialmente. Esto puede ocurrir si se presentan finos suspendidos en el aire (volantes) al dejar caer sobre una superficie la cantidad de muestra de ensayo que puede ser sostenida en una mano, desde una altura entre 100 y 150 mm. Para estos materiales la condición saturada y superficialmente seco puede ser considerada como el punto en el cual un lado se asienta ligeramente al remover el molde.

4. PROCEDIMIENTO

Se llena el picnómetro con agua. Inmediatamente, se introducen en el picnómetro, 500 g del agregado fino saturado y superficialmente seco, y se le añade agua hasta un 90% de su capacidad. Para eliminar el aire atrapado se rueda manualmente el picnómetro sobre un superficie plana, después se toman los pesos del picnómetro vacío, picnómetro con el material, y el picnómetro solo. Después de estos se tabulan y se sacan los resultados.

5. CALCULOS

5.1 Se calcula la gravedad específica bulk, 23/23°C, ($G_{sb} 23/23^{\circ}C$) de la siguiente forma:

$$G_{sb} 23/23^{\circ}C \text{ sp gr} = \frac{A}{B + S - C}$$

Donde:

A = masa al aire de la muestra de seca al horno, g;

B = masa del picnómetro aforado lleno de agua, g;

C = masa total del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua, g; y

S = masa de la muestra saturada y superficialmente seca , g.

Si se ha utilizado el método del frasco de Le Chatelier, se calcula la gravedad específica bulk, 23/23°C, ($Gsb_{23/23^{\circ}C}$) de la siguiente forma:

$$Gsb_{23/23^{\circ}C} \text{ sp gr} = \frac{S_1 \left(\frac{A}{S} \right)}{0.9975 (R_1 - R_2)}$$

Donde:

A = masa al aire de la muestra de seca al horno, g;

R1 = lectura inicial con agua en el frasco de Le Chatelier;

R2 = lectura final con agua y muestra en el frasco de Le Chatelier; y

S1 = masa de la muestra saturada y superficialmente seca añadida al frasco, g.

5.2 Se calcula la gravedad específica bulk saturada y superficialmente seca, 23/23°C, ($Gsb_{sss, 23/23^{\circ}C}$) de la siguiente forma:

$$Gsb_{sss, 23/23^{\circ}C} \text{ sp gr} = \frac{S}{B + S - C}$$

Si se ha utilizado el método del frasco de Le Chatelier, se calcula la gravedad específica bulk saturada y superficialmente seca, 23/23°C, ($Gsb_{sss, 23/23^{\circ}C}$) de la siguiente forma:

$$Gsb_{sss, 23/23^{\circ}C} \text{ sp gr} = \frac{S_1}{0.9975 (R_1 - R_2)}$$

5.3 Se calcula la gravedad específica aparente, 23/23°C definida en la norma INV E – 223, ($G_{sa\ 23/23^{\circ}C}$), de la siguiente forma:

$$G_{sa\ 23/23^{\circ}C}\ sp\ gr = \frac{A}{B + A - C}$$

5.4 Se calcula absorción definida en la norma INV E – 223, de la siguiente forma:

$$Absorción\ (\%) = \frac{S - A}{A} \times 100$$

ANEXO 3 PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADOS GRUESOS

Tomado y adaptado, Normas de Ensayos Para Materiales de Carreteras (Santa Fe de Bogotá, D.C, 1998). INSTITUTO NACIONAL DE VIAS.

I.N.V. E-223-07

1. OBJETIVOS

1.1 Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para la determinación de gravedades específicas bulk, bulk saturada y superficialmente seca y aparente, así como la absorción, después que los agregados con tamaño igual o mayor a 4.75 mm (tamiz No.4) han estado sumergidos en agua durante 15 horas. Este método de ensayo no se debe aplicar a agregados pétreos livianos.

1.2 Esta norma no pretende considerar los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien la emplee establecer prácticas apropiadas de seguridad y salubridad y el determinar la aplicación de limitaciones regulatorias antes de su empleo.

2.2 EQUIPOS Y MATERIALES

2.1 Balanzas

2.2 Canastillas metálicas

2.3 Tanque de agua

2.4 Dispositivo de suspensión

3. PREPARACION DE LA MUESTRA

3.1 Se comienza por mezclar completamente los agregados, cuarteándolos a continuación conforme se indica en la norma INV E – 202, hasta obtener

aproximadamente la cantidad mínima necesaria para el ensayo, después de eliminar el material inferior a 4.75 mm mediante tamizado en seco y se lava completamente para remover los finos adheridos a la superficie. Las cantidades mínimas para ensayo se indican en la Tabla 1, en función del tamaño máximo nominal del agregado. Si el material tiene una cantidad sustancial de material menor de 4.75mm, se debe usar el tamiz de 2.36 mm (No. 8), en lugar del de 4.75 mm (No. 4).

3.2 Si se desea, se puede fraccionar la muestra y ensayar separadamente cada una de las fracciones; cuando la muestra contenga más de un 15 % retenido en el tamiz de 37.5 mm (1 ½”), se separará entonces siempre por este tamiz al menos en dos fracciones.

3.3 Si la muestra se ensaya en dos o más fracciones se debe determinar la gradación de la muestra (norma INV E-213), incluyendo los tamices usados para separar las fracciones. Al calcular el porcentaje de material en cada fracción, se deberá ignorar la cantidad de material más fino que el tamiz 4.75mm (No 4) o del tamiz de 2.36mm (No 8).

4. PROCEDIMIENTO

Se deja la muestra sumergida en agua durante 15 a 19 horas, después de sacarse se frota las partículas sobre un paño hasta eliminar el agua superficial visible, a continuación de esto se toma el peso del material saturado con la superficie seca. A continuación se coloca muestra dentro de la canastilla metálica y se determina su masa sumergida en el agua. Se seca en el horno hasta masa constante, posteriormente se determina su masa.

5. RESULTADOS

5.1 Se calculan las gravedades específicas bulk, bulk saturada con superficie seca y aparente, así como la absorción, por medio de las siguientes expresiones:

$$Gsb_{23^{\circ}C/23^{\circ}C} = \frac{A}{B - C} \quad \text{Gravedad específica bulk, } 23^{\circ}C/23^{\circ}C$$

$$Gsb_{sss\ 23^{\circ}C/23^{\circ}C} = \frac{B}{B - C} \quad \text{Gravedad específica bulk sss, } 23^{\circ}C/23^{\circ}C$$

$$Gsa_{23^{\circ}C/23^{\circ}C} = \frac{A}{A - C} \quad \text{Gravedad específica aparente, } 23^{\circ}C/23^{\circ}C$$

$$\% \text{ Absorción} = \frac{B - A}{A} \times 100$$

Donde:

A = masa en el aire de la muestra seca en gramos.

B = masa en el aire de la muestra saturada con superficie seca (g)

C = masa sumergida en agua de la muestra saturada. (g)

Se expresarán siempre las temperaturas a las que se hayan determinado las masas.

5.2 Para obtener el verdadero valor, tanto de cada gravedad específica como de la absorción, correspondientes a la mezcla total (n fracciones), se aplica las expresiones:

$$Gpr = \frac{1}{\frac{P_1}{100 G_1} + \frac{P_2}{100 G_2} + \dots + \frac{P_n}{100 G_n}}$$

$$A = \frac{P_1 A_1}{100} + \frac{P_2 A_2}{100} + \dots + \frac{P_n A_n}{100}$$

Donde:

P_1, P_2, \dots, P_n = porcentajes respectivos de la masa de cada fracción con respecto a la masa total de la muestra.

G_1, G_2, \dots, G_n = gravedades específicas (bulk, bulk saturada con superficie seca o aparente la que se esté calculando) de cada fracción de la muestra total.

A_1, A_2, \dots, A_n = porcentajes de absorción de cada fracción de la muestra total.

G_{pr} = verdadero valor de la gravedad específica correspondiente (bulk, bulk saturada con superficie seca o aparente) a la muestra total.

A = valor del porcentaje de absorción de la muestra total.

ANEXO 4 RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES

Tomado y adaptado, Normas de Ensayos Para Materiales de Carreteras (Santa Fe de Bogotá, D.C, 1998). INSTITUTO NACIONAL DE VIAS.

I.N.V. E-218-07

1. OBJETIVOS

1.1 Este método se refiere al procedimiento que se debe seguir para realizar el ensayo de desgaste de los agregados gruesos hasta de 37.5 mm (1½") por medio de la máquina de Los Ángeles.

1.2 El método se emplea para determinar la resistencia al desgaste de agregados naturales o triturados, empleando la citada máquina con una carga abrasiva.

1.3 Para evaluar la resistencia al desgaste de los agregados gruesos, de tamaños mayores de 19 mm (¾"), por medio de la máquina de Los Ángeles, deberá utilizarse la norma INV E – 219.

1.4 Esta norma no pretende considerar todos los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien la emplee, el establecimiento de prácticas apropiadas de seguridad y salubridad, y la aplicación de limitaciones regulatorias con anterioridad a su uso.

2. EQUIPOS Y MATERIALES

2.1 Balanza

2.2 Horno

2.3 Tamices

2.4 Máquina de Los Ángeles

3. PREPARACION DE LA MUESTRA.

3.1 La muestra destinada al ensayo se obtendrá empleando el procedimiento descrito en la norma INV E – 201 y se reducirá a un tamaño adecuado para el ensayo, según la norma INV E – 202.

3.2 La muestra reducida se lava y se seca en horno a una temperatura constante comprendida entre $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$).

3.3 Se elige en la Tabla la gradación más parecida al agregado que se va a usar en la obra. Se se para la muestra en las fracciones indicadas en la tabla, de acuerdo con la granulometría elegida se toma la cantidad de cada una de ellas, indicada en la Tabla 1 hasta obtener el requerimiento para el tamaño de la muestra total. Se registra la masa de la muestra total, aproximada a 1 g. Las muestras de las diferentes fracciones se unen para formar la muestra de ensayo.

Pasa tamiz		Retenido en tamiz		Masa de la muestra para ensayo (g) Granulometrías			
mm	(alt.)	mm	(alt.)	A	B	C	D
37.5	(1½")	25.0	(1")	1250 ± 25	...	...	...
25.0	(1")	19.0	(¾")	1250 ± 25	...	...	...
19.0	(¾")	12.5	(½")	1250 ± 10	2500 ± 10	...	...
12.5	(½")	9.5	(3/8")	1250 ± 10	2500 ± 10	...	...
9.5	(3/8")	6.3	(¼")	...	...	2500 ± 10	...
6.3	(¼")	4.75	(No.4)	...	...	2500 ± 10	...
4.75	(No.4)	2.36	(No.8)	...	...	...	5000 ± 10
TOTALES				5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

3.4 Cuando se triture la muestra en el laboratorio, se hará constar esto en el informe, debido a la influencia que tiene la forma de las partículas en el resultado del ensayo.

4. PROCEDIMIENTO

4.1 Luego de comprobar que el tambor este limpio, la muestra y la carga abrasiva correspondiente se colocan en la máquina de Los Ángeles y se hace girar el cilindro a una velocidad comprendida entre 188 y 208 rad/minuto (30 y 33 r.p.m.) hasta completar 500 revoluciones (Nota 3). La máquina deberá girar de manera uniforme para mantener una velocidad periférica prácticamente constante. Una vez cumplido el número de vueltas prescrito, se descarga el material del cilindro y se procede con una separación preliminar de la muestra ensayada, empleando un tamiz de abertura mayor al de 1.70 mm (No.12). La fracción fina que pasa, se tamiza a continuación empleando el tamiz de 1.70

mm (No.12), utilizando el procedimiento de la norma INV E – 213. El material más grueso que la abertura del tamiz de 1.70 mm (No.12) se lava, se seca en el horno, a una temperatura comprendida entre $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$), hasta masa constante, y se determina la masa con precisión de 1 g.

4.2 Si el agregado está libre de costras o de polvo se puede eliminar la exigencia del lavarlo antes y después del ensayo. La eliminación del lavado posterior, rara vez reducirá la pérdida medida, en más del 0.2% del peso de la muestra original. Sin embargo, en caso de ensayos con fines de arbitraje, el procedimiento de lavado es perentorio.

5. CALCULOS

5.1 El resultado del ensayo es la diferencia entre la masa original y la masa final de la muestra ensayada, expresada como tanto por ciento de la masa original.

5.2 El resultado del ensayo (% desgaste) recibe el nombre de coeficiente de desgaste de Los Ángeles, el cual se calcula así:

$$\% \text{Desgaste} = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100$$

donde:

P_1 = masa de la muestra seca antes del ensayo, y

P_2 = masa de la muestra seca después del ensayo, previo lavado sobre tamiz de 1.70 mm (No.12).

ANEXO 5. PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS

Tomado y adaptado, Normas de Ensayos Para Materiales de Carreteras (Santa Fe de Bogotá, D.C, 1998). INSTITUTO NACIONAL DE VIAS.

I.N.V. E-227-07

1. OBJETIVOS

1.1 Esta norma describe el procedimiento para determinar el porcentaje, en masa o por conteo de una muestra de agregado grueso compuesta por partículas fracturadas que cumplen con los requisitos específicos.

1.2 Los valores deben expresarse en unidades SI.

1.3 Esta norma no considera los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien la emplee establecer prácticas apropiadas de seguridad y salubridad y determinar la aplicabilidad de limitaciones regulatorias antes de su empleo.

2. EQUIPOS

2.1 Balanza

2.2 Tamices

2.3 Cuarteador

2.4 Espátula

3. PREPARACION DE LA MUESTRA

3.1 Se debe secar la muestra lo suficiente para obtener por tamizado una separación limpia de los agregados gruesos y finos. Se Tamiza el material sobre el tamiz de 4.75 mm (No.4) u otro tamiz especificado para esta prueba de acuerdo con la norma INV E – 213 y posteriormente se debe reducir la muestra retenida en

ese tamiz por cuarteo de acuerdo con la norma INV E – 202 para obtener el tamaño de muestra apropiado para este ensayo.

3.2 La masa de la muestra debe ser al menos lo suficientemente grande de tal forma que la partícula de mayor tamaño no sea mayor del 1.0% de la masa de la muestra; o la muestra de ensayo debe ser al menos del tamaño indicado en la siguiente tabla, la que sea menor:

Tamaño Máximo Nominal Abertura, mm (pulgadas)		Masa mínima de la muestra, g (lb aprox.)
9.50	(3/8)	200 (0.5)
12.5	(1/2)	500 (1.0)
19.0	(3/4)	1500 (3.0)
25.0	(1)	3000 (6.5)
37.5	(1 1/2)	7500 (16.5)
50.0	(2)	15000 (33.0)
63.0	(2 1/2)	30000 (66.0)
75.0	(3)	60000 (132.0)
90.0	(3 1/2)	90000 (198.0)

3.3 Para agregados con tamaño nominal máximo de 19.0 mm (3/4”) o mayores, donde el contenido de partículas fracturadas se determina para el material retenido en el tamiz de 4.75 mm (No.4) o en uno menor, la muestra de ensayo debe ser separada en el tamiz de 9.5 mm (3/8”) La porción pasante del tamiz de 9.5 mm (3/8”) debe ser posteriormente reducida de acuerdo con la norma INV E – 202, a un mínimo de 200 g (0.5 libras). Esto reducirá el número de partículas que deben ser separadas durante el procedimiento. En este caso, el porcentaje de partículas fracturadas se determina en cada porción y se calcula el promedio de los porcentajes en masa de partículas fracturadas basados en la Masa de cada una de las porciones, para así representar el porcentaje de caras fracturadas de la muestra total.

4. PROCEDIMIENTO.

4.1 Se lava el material sobre el tamiz designado para la determinación de las partículas fracturadas, con el fin de remover cualquier residuo de material fino y se

seca a masa constante. Se debe determinar la masa de la muestra y cualquier determinación de masa posterior con una aproximación del 0.1% de la masa seca original de la muestra.

4.2 Se debe esparcir la muestra seca en una superficie suficientemente grande, para inspeccionar cada partícula. Para verificar que una partícula cumple el criterio de fractura, se sostiene la partícula de agregado de tal manera que la cara pueda ser observada directamente. Si la cara constituye al menos un cuarto de la mayor sección transversal de la partícula, se debe considerar como una cara fracturada.

4.3 Utilizando la espátula o una herramienta similar, se separa la muestra en tres categorías así: (1) partículas fracturadas, basados en el hecho de que la partícula tiene el número de caras fracturadas requerido, (2) partículas que no cumplan el criterio especificado y (3) partículas dudosas o en la frontera. Si el número requerido de caras fracturadas no se da en la especificación, la determinación se hará sobre la base de una cara fracturada.

4.4 Se determina la masa o se cuenta el número de partículas clasificadas en la categoría de fracturadas, la masa o el conteo de partículas clasificadas en la categoría de dudosas y la masa o el conteo de partículas que no cumplen el criterio de fracturadas. Se debe usar la masa para calcular el porcentaje de partículas fracturadas a no ser que se especifique calcular el porcentaje con Base en el conteo.

4.5 Si más de un número de caras fracturadas es especificado (por ejemplo, 70% con una o más caras fracturadas y 40% con dos o más caras fracturadas), se repite el procedimiento en la misma muestra para cada requisito.

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

este presente en esa categoría. Para esta determinación se debe usar el porcentaje basado en la masa, a menos que se especifique hacerlo con base en el conteo. También si la muestra ha sido dividida en dos porciones de ensayo, el criterio de 15% debe aplicar a cada una.

ANEXO 6. EQUIVALENTE DE ARENA

Tomado y adaptado, Normas de Ensayos Para Materiales de Carreteras (Santa Fe de Bogotá, D.C, 1998). INSTITUTO NACIONAL DE VIAS.

I.N.V. E-133-07

1. OBJETIVO

1.1 Este ensayo tiene por objeto determinar la proporción relativa del contenido de polvo fino nocivo, o material arcilloso, en los suelos o agregados finos. Es un procedimiento que se puede utilizar para lograr una correlación rápida en campo.

1.2 Esta norma no pretende considerar todos los problemas de seguridad asociados con su uso. Es de responsabilidad de quien la emplee, el establecimiento de prácticas apropiadas de seguridad y salubridad y la aplicabilidad de limitaciones regulatorias, con anterioridad a su uso.

2. EQUIPO

2.1 Cilindro graduado de plástico

2.2 Tapón macizo

2.3 Tuvo irrigador

2.4 Tubo flexible

2.5 Un botellón

2.6 Dispositivo para tomar lecturas

2.7 Recipiente metálico

2.8 Embudo

3. PREPARACION DE LA MUESTRA.

3.1 La prueba equivalente de arena se debe hacer con materiales de agregado gradado que pasen el tamiz de 4.75 mm (No.4). Todos los terrones de suelo de grano fino se deben pulverizar para que pasen el tamiz de 4.75 mm y todos los finos adheridos a las partículas retenidas en dicho tamiz deben ser limpiados y añadidos al material que lo pasa.

3.2 Cuartear una cantidad suficiente de la muestra original para producir algo más de cuatro (4) medidas del recipiente metálico de 85 ml, de material pasante del tamiz de 4.75 mm (No.4). Se debe emplear extremo cuidado para obtener una porción verdaderamente representativa de la muestra original.

4. PROCEDIMIENTO.

4.1 Se empieza a sifonar forzando aire dentro de la boca del frasco de solución a través del tubo irrigador acodado de cobre, vidrio o acero inoxidable, mientras la abrazadera que corta el paso del líquido se encuentra abierta. El aparato se encuentra ahora listo para ser usado.

4.2 Se vierte solución de trabajo de cloruro de calcio en el cilindro graduado, con la ayuda del sifón, hasta una altura de 101.6 ± 2.54 mm (4 ± 0.1 ").

4.3 Con ayuda del embudo, se vierte la muestra de ensayo en el cilindro graduado. Se golpea varias veces el fondo del cilindro con la palma de la mano para liberar las burbujas de aire y remojar la muestra completamente. Se deja en reposo durante 10 ± 1 minuto. Al finalizar los 10 minutos (periodo de humedecimiento), se tapa el cilindro con un tapón y se afloja el material del fondo invirtiendo parcialmente el cilindro y agitándolo simultáneamente.

4.4 Después de aflojar el material del fondo, se agita el cilindro

5. CALCULOS

5.1 Si el equivalente de arena calculado no es un número entero, se debe redondear al número entero superior.

Por ejemplo, para las lecturas indicadas en el numeral 7. 10 se tienen los valores:

$$\begin{array}{l} \text{Lectura de arcilla} = 8.0 \\ \text{Lectura de arena} = 3.3 \end{array}$$

Entonces:

$$EA = \frac{3.3}{8.0} \times 100 = 41.2$$

ANEXO 7. INDICE DE ALARGAMIENTO Y APLANAMIENTO.

Tomado y adaptado, Normas de Ensayos Para Materiales de Carreteras (Santa Fe de Bogotá, D.C, 1998). INSTITUTO NACIONAL DE VIAS.

I.N.V. E-230-07

1. OBJETIVOS.

1.1 Esta norma describe el procedimiento que se deben seguir, para la determinación de los índices de aplanamiento y de alargamiento, de los agregados que se van a emplear en la construcción de carreteras.

1.2 Esta norma se aplica a los agregados de origen natural o artificial, incluyendo los agregados ligeros y no es aplicable a los tamaños de partículas menores de 6.3mm ($\frac{1}{4}$ ") o mayores de 63 ($2 \frac{1}{2}$ ").

2. EQUIPOS.

2.1 Tamices de barras

2.2 Calibradores metálicos

2.3 Tamices

2.4 Balanza

2.5 Horno ventilado

2.6 Equipo misceláneo

3. PREPARACION DE LA MUESTRA.

3.1 El material recibido en el laboratorio, se reduce por cuarteo hasta obtener una muestra representativa de ensayo de masa mínima acorde con la requerida para la prueba de granulometría.

3.2 Se seca la muestra de ensayo a $110^{\circ} \pm 5^{\circ}$ C hasta masa constante. Se deja enfriar. Se pesa y se registra su masa como M0.

4. PROCEDIMIENTO.

4.1 Se tamiza la muestra de acuerdo con el método de norma INV E – 213, utilizando los tamices indicados. Se pesan las partículas retenidas en el tamiz de 63 mm y las que pase el tamiz de 6.3 mm y se rechazan. Se pesan los retenidos de las diferentes fracciones d_i/D_i , sus masas se registran como (R_i) y se conservan separadas.

4.2 Índice de aplanamiento:

4.2.1 Se separan las partículas planas de cada fracción d_i/D_i , se tamiza cada fracción por el correspondiente tamiz de barras paralelas, indicados en la Tabla 1. El cribado se realizara manualmente y se considerará terminado cuando el rechazo no varíe en más de 1% durante un minuto de tamizado. Para cada fracción d_i/D_i , se determina la masa (m_i) de las partículas que pasaron el tamiz de barras, o sea las planas, con una aproximación del 0.1% de la masa de la muestra total de ensayo.

4.2.2 Cuando no se disponga de tamiz de barras y se desee utilizar el calibrador de espesores se procede así: se separa el material de forma aplanada de cada

una de las fracciones de ensayo d_i/D_i , preparadas como se indica en la Sección 6.1, se analiza la mayor dimensión de cada partícula en el calibrador de aplanamiento por la ranura cuya abertura corresponda a la fracción que se ensaya, de acuerdo con la Tabla 3. Se determina la masa (m_i) de las partículas de la fracción d_i/D_i , que pasaron por la ranura respectiva del calibrador, o sea las planas con una aproximación de 0.1% de la masa de la muestra total de ensayo.

4.3 Índice de alargamiento

4.3.1 Se separa el material con forma alargada de cada una de las fracciones de ensayo d_i/D_i , preparadas, se hace pasar cada partícula de la fracción en el calibrador de alargamiento por la separación entre barras correspondiente a la fracción que se ensaya, de acuerdo con la Tabla 3. Se determina la masa (m_i) de las partículas de cada fracción retenidas en el calibrador de longitud, o sea las largas, con una aproximación de 0.1% de la masa de la muestra total de ensayo.

5. CALCULOS

5.1 Se registran las masa (R_i) de las diferentes fracciones d_i/D_i , se calcula la suma y se anota como M1. en uno de los formatos anexos según el índice que se desee determinar.

5.2 Los resultados de las masas de las partículas planas o largas, según el índice que se quiere determinar, de cada fracción (m_i) se anotarán en el formato anexo respectivo.

5.3 Se calcula la suma de las masas (m_i) de las partículas planas o largas de las fracciones d_i/D_i , según el índice que se desee determinar, y se anota como M2.

5.4 El índice de aplanamiento global o alargamiento global, IA ó IL respectivamente, según el que se desee determinar, se calcula como sigue:

$$I_A \text{ ó } I_L = \frac{M_2}{M_1} \times 100$$

donde:

M_1 = es la suma de las masas de las fracciones d_i/D_i , en g, y

M_2 = es la suma de las masas de las partículas planas o largas, según el índice que se desee calcular, de las fracciones d_i/D_i , en g.

5.5 El índice de aplanamiento o de alargamiento de cada fracción d_i/D_i , I_{Ai} ó I_{Li} . Se calculara cuando sea necesario, como sigue:

$$I_{Ai} \text{ ó } I_{Li} = \frac{m_i}{R_i} \times 100$$

donde:

R_i = es la masa de la fracción d_i/D_i , en g, y

m_i = es la masa de las partículas planas o largas, según el índice que se desee calcular, de la fracción d_i/D_i , en g.

5.6 Cuando la suma de las masas R_i junto con la masa de las fracciones descartadas, difiera en más del 1% de la masa M_0 , sección 5.2, el ensayo se repetirá utilizando otra muestra.

ANEXO 8. SANIDAD DE LOS AGREGADOS FRENTE A LA ACCION DE SULFATO DE SODIO O DE MAGNESIO.

Tomado y adaptado, Normas de Ensayos Para Materiales de Carreteras (Santa Fe de Bogotá, D.C, 1998). INSTITUTO NACIONAL DE VIAS.

I.N.V. E-220-07

1. OBJETIVO

1.1 Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir, para determinar la resistencia a la desintegración de los agregados, por la acción de soluciones saturadas de sulfato de sodio o de magnesio, seguido de secado al horno para deshidratar parcial o completamente la sal precipitada en los poros permeables. La fuerza de expansión interna derivada de la rehidratación de la sal después de re inmersión simula la expansión del agua por congelamiento.

1.2 Mediante este método se puede obtener una información útil para juzgar la calidad de los agregados que han de estar sometidos a la acción de los agentes atmosféricos, sobre todo cuando no se dispone de datos sobre el comportamiento de los materiales que se van a emplear, en las condiciones climatológicas de la obra. Se llama la atención sobre el hecho que los resultados que se obtienen varían según la sal que se emplee y que hay que tener cuidado al fijar los límites en las especificaciones en que se incluya este ensayo.

1.3 Los valores se deben expresar en unidades SI. .

1.4 Esta norma no considera los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien la emplee establecer prácticas apropiadas de seguridad y salubridad y determinar la aplicación de limitaciones regulatorias antes de su empleo.

2. EQUIPO

2.1 Tamices

2.2 Recipientes para muestras

2.3 Regulación de la temperatura

2.4 Termómetro

2.5 Balanzas

2.6 Horno

2.7 Medidores de gravedad específica

3. PREPARACION DE LA MUESTRA.

3.1 Agregado fino – La muestra de agregado fino se lava bien sobre el tamiz de 300 μm (No.50); se seca hasta masa constante, a una temperatura de $110^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$ ($230^{\circ} \pm 9^{\circ} \text{F}$) y se separa en las diferentes fracciones por medio de un tamizado realizado de la siguiente manera: Se efectúa primero una separación aproximada, por medio de la serie de los tamices indicados. De cada una de las fracciones obtenidas de esta forma se separa la suficiente cantidad de muestra para poder obtener 100 g, después de tamizar sobre el correspondiente tamiz hasta rechazo (en general, son suficientes unos 110 g). Las partículas de agregado fino que quedan atrapadas en la malla del tamiz, no se emplean en la preparación de la muestra. Las muestras de 100 g, de cada una de las fracciones, después del tamizado final, se pesan y colocan por separado en los recipientes para ensayo.

3.2 Agregado grueso – La muestra de agregado grueso se lava bien, se seca hasta peso constante, a una temperatura de $110^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$ ($230^{\circ} \pm 9^{\circ} \text{F}$) y se separa en las diferentes fracciones, por tamizado hasta que no pase más material. La cantidad requerida de cada una de estas fracciones, se pesa y se coloca, por

separado, en los recipientes para ensayo. En el caso de las fracciones con tamaño superior a 19 mm (3/4"), se cuenta también el número de partículas.

Tamaño de tamiz	Gradación original muestra (%)	Peso fracciones de ensayo antes de ensayar (g)	Porcentaje pasa después de ensayo	Porcentaje de pérdida en peso
Fracción fina				
150 µm	5	-	-	-
300µm a 150µm	12	-	-	1.1
600µm a 300µm	26	100	4.2	1.2
1.18mm a 600µm	25	100	4.8	1.4
2.36mm a 1.18mm	17	100	8.0	1.2
4.75mm a 2.36mm	11	100	11.2	0.4
9.5mm a 4.75mm	4	-	11.2	-
Totales	100	-	-	5
Fracción gruesa				
63mm a 50mm	20	4783	4.8	1.0
50mm a 37.5mm	20	4783	4.8	1.0
37mm a 25.0mm	45	1525	8.0	3.6
25.0mm a 19.0mm	45	1525	8.0	3.6
19.0mm a 12.5mm	23	1008	9.6	2.2
12.5mm a 9.5mm	23	1008	9.6	2.2
9.5mm a 4.75mm	12	298	11.2	1.3
Totales	100			8

4. PROCEDIMIENTO.

4.1 Inmersión de las muestras en la solución – Las muestras se sumergen en la solución de sulfato de sodio o de magnesio, durante un período no menor de 16 horas ni mayor de 18 horas, de manera que el nivel de la solución quede por lo menos 12.5 mm (1/2") por encima de la muestra.

El recipiente se cubre para evitar la evaporación y la contaminación con sustancias extrañas. Las muestras sumergidas en la solución, se mantienen a una temperatura entre 20.3° y 21.9° C (68.5° y 71.5° F), durante todo el periodo de inmersión.

4.2 Secado de las muestras, posterior a la inmersión – Después del período de inmersión, la muestra se saca de la solución dejándola escurrir durante 15 ± 5 minutos y se la introduce en el horno, cuya temperatura se habrá regulado previamente a $110^\circ \pm 5^\circ \text{ C}$ ($230^\circ \pm 9^\circ \text{ F}$). Se secan las muestras hasta masa constante a la temperatura indicada. Se debe establecer el tiempo requerido para obtener masa constante de la siguiente manera: Con la muestra dentro del horno se chequea la pérdida de masa de la muestra, se revuelve y se pesa sin enfriar a intervalos de 2 a 4 horas; se deben realizar los chequeos necesarios para determinar el tiempo de secado para la ubicación más desfavorable del horno y condición de la muestra. Se puede considerar que se ha alcanzado una masa constante, cuando la pérdida de masa es menor del 0.1% de la masa de la muestra después de 4 horas de secado. Una vez alcanzada la masa constante se enfría la muestra a una temperatura entre 20° y 25° C (68° a 77° F) y se sumergen de nuevo las muestras en la solución.

Se puede ayudar al enfriamiento de las muestras usando aire acondicionado o un ventilador. La temperatura del material se debe verificar con un termómetro antes de llevar el material nuevamente a inmersión.

4.3 Número de ciclos – El proceso de inmersión y secado de las muestras se repite hasta completar el número de ciclos que se especifiquen. El ensayo se debe realizar preferiblemente en forma continua hasta que se realicen todos los ciclos especificados. Sin embargo, si el ensayo se interrumpe, se dejan las muestras en el horno a $110^\circ \pm 5^\circ \text{ C}$ ($230^\circ \pm 9^\circ \text{ F}$), hasta que se pueda continuar el ensayo.

4.4 Se deben revisar las temperaturas de ensayo registradas en la unidad de registro de temperatura (si se tiene) y se verifica si la temperatura de la solución no ha excedido los límites.

ANEXO 9. PESO UNITARIO Y PORCENTAJE DE VACIOS DE LOS AGREGADOS

Tomado y adaptado, Normas de Ensayos Para Materiales de Carreteras (Santa Fe de Bogotá, D.C, 1998). INSTITUTO NACIONAL DE VIAS.

I.N.V. E-217-07

1. OBJETIVOS.

Esta norma tiene por objeto establecer el método para determinar la densidad bulk (peso unitario) y el porcentaje de los vacíos de los agregados, ya sean finos, gruesos o una mezcla de ambos.

Este método es aplicable a materiales que tengan tamaño máximo nominal menor o igual a 125mm (5")

2. EQUIPO.

2.1 Balanza

2.2 Varilla compactadora

2.3 Recipientes de medida

2.4 Pala o cuchara

2.5 Equipo de calibración

3. PROCEDIMIENTO.

3.1 Densidad bulk del agregado compactado

3.1.1 Método del apisonado o varillado – Para agregados de tamaño nominal menor o igual que 37.5 mm (1½").

3.1.1.1 El agregado se debe colocar en el recipiente, en tres capas de igual volumen aproximadamente, hasta colmarlo.

3.1.1.2 Cada una de las capas se empareja con la mano y se apisona con 25 golpes de varilla, distribuidos uniformemente sobre la superficie, utilizando el extremo semiesférico de la varilla.

3.1.1.3 Al apisonar la primera capa, se debe evitar que la varilla golpee el fondo del recipiente. Al apisonar las capas superiores, se aplica la fuerza necesaria para que la varilla solamente atraviese la capa respectiva.

3.1.1.4 Una vez compactada la última capa, se enrasa la superficie del agregado con una regla o con la mano, de modo que las partes salientes se compensen con las depresiones en relación al plano de enrase, y se determina la masa del recipiente lleno con aproximación a 0.05 kg (0.1lb).

3.1.2 Método del vibrado – Para agregados de tamaño nominal, mayor 37.5 mm (1½) y menor o igual a 125 mm (5").

3.1.2.1 El agregado debe colocarse en el recipiente, en tres capas de igual volumen aproximadamente, hasta colmarlo.

3.1.2.2 Cada una de las capas se compacta del siguiente modo. Se coloca el recipiente sobre una base firme, tal como un piso de concreto, y se inclina, hasta que el borde opuesto al punto de apoyo, diste unos 50 mm (2") de la base. Luego se suelta, con lo que se produce un golpe seco y se repite la operación inclinando el recipiente por el borde opuesto. Estos golpes alternados se ejecutan 25 veces

de cada lado, de modo que el número total sea 50 para cada capa y 150 para todo el conjunto.

3.1.2.3 Una vez compactada la última capa, se enrasa la superficie del agregado con una regla o con la mano, de modo que las partes salientes se compensen con las depresiones en relación al plano de enrase, y se determina la masa del recipiente lleno con aproximación a 0.05 kg (0.1lb).

3.2 Densidad bulk del agregado suelto

Método de llenado a paladas – Para agregados de tamaño máximo nominal hasta de 125 mm (5"). Se llena el recipiente por medio de una pala o cuchara, de modo que el agregado se descargue de una altura no mayor de 50 mm (2") por encima del borde del recipiente hasta colmarlo. Se debe tener cuidado de que no se segreguen las partículas de las cuales se compone la muestra. Se enrasa la superficie del agregado con una regla o con la mano, de modo que las partes salientes se compensen con las depresiones en relación con el plano de enrase y se determina la masa, del recipiente lleno con aproximación a 0.05 kg (0.1lb).

4. CALCULOS

4.1 Densidad bulk – Se calcula la densidad bulk sea compacta (apisonada o vibrada) o suelta , con la siguiente expresión:

$$M = \frac{G - T}{V}$$

ó

$$M = (G - T) \times F$$

donde:

M = densidad bulk del agregado, kg/m³ (lb/pie³),

G = masa del agregado más la del recipiente de medida, kg (lb),

T = masa del recipiente de medida, kg (lb),

V = volumen del recipiente de medida, m³ (pie³), y

F = factor de medida, 1/m³ (1/pie³).

La densidad bulk que se determina en la prueba es en condición seca al horno. Si se desea la densidad bulk en estado saturado y superficialmente seco (SSS), se sigue exactamente el mismo procedimiento descrito en esta norma y con la siguiente expresión se calcula la densidad bulk en estado SSS:

$$M_{SSS} = M \left[1 + \frac{A}{100} \right]$$

donde:

M_{SSS} = densidad bulk en condición SSS, kg/m³ (lb/pie³), y

A = % de absorción, determinado según las normas INV E – 222 (agregados finos) o INV E – 223 (agregados gruesos).

.2 Vacíos en los agregados – Los vacíos en los agregados se pueden calcular en la siguiente forma, empleando la densidad bulk obtenida mediante apisonado, vibrado o simplemente mediante el llenado a paladas

$$\% \text{ Vacíos} = \frac{S \times W - M}{S \times W} \times 100$$

donde:

S = gravedad específica bulk determinada según las normas INV E - 222 (agregados finos) o INV E - 223. (agregados gruesos),

M = densidad bulk de los agregados, determinada por los procedimientos descritos en las Secciones 8.1 y 8.2 y calculado con la fórmula indicada en la Sección 9.1, en kg/m³ (lb/pie³), y

W = densidad del agua, 998 kg/m³ (62.4 lb/pie³)

ANEXO 10. INDICE DE PENETRACION DE LOS MATERIALES ASFALTICOS

Tomado y adaptado, Normas de Ensayos Para Materiales de Carreteras (Santa Fe de Bogotá, D.C, 1998). INSTITUTO NACIONAL DE VIAS.

I.N.V. E-706-07

1. OBJETIVOS

1.1 Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para determinar la consistencia de los materiales asfálticos sólidos o semisólidos en los cuales el único o el principal componente es un asfalto.

1.2 Los valores establecidos en unidades SI deben ser considerados como la norma. Los valores en paréntesis son de información, únicamente.

1.3 Esta norma no involucra las debidas precauciones de seguridad que se deben tomar para la manipulación de materiales y equipos aquí descritos, ni establece pautas al respecto para el desarrollo de cada proceso en términos de riesgo y seguridad industrial. Es responsabilidad del usuario, establecer las normas apropiadas con el fin de minimizar los riesgos en la salud e integridad física, que se puedan generar debidos a la ejecución de la presente norma y determinar las limitaciones que regulen su uso.

2. EQUIPO

2.1 Penetrometro

2.2 Aguja de penetración

2.3 Recipiente o molde para la muestra

2.4 Baño de Agua

2.5 Baño auxiliar

2.6 Dispositivo medidor del tiempo

2.7 Termómetros

3. PROCEDIMIENTO.

3.1 Preparación de la muestra – Se tomarán las precauciones necesarias para que la muestra del ensayo sea verdaderamente representativa, de aspecto homogéneo y sin contaminación.

De la muestra de laboratorio, se separarán con una espátula caliente unos 400 a 500 g de material que se colocarán en un recipiente, que se calienta cuidadosamente agitándolo para evitar sobrecalentamientos locales y para homogeneizar el material, hasta que alcance la fluidez que permita su vertido en los moldes para las probetas. Las temperaturas de calentamiento no excederán a las del Punto de Ablandamiento (norma INV E – 712, método de anillo y bola) de cada material en más de 90° C (195° F). El tiempo total de calentamiento no excederá 30 minutos, evitándose la formación de burbujas de aire.

A continuación, se llena el molde para la probeta calentado a una temperatura semejante a la del material, y hasta una altura que, medida a la temperatura del ensayo, sea superior al menos en 10 mm a la penetración supuesta. Se preparará un total de dos moldes por cada muestra de material y ensayo de iguales características.

Después de llenar los moldes, se cubren con un vaso de vidrio invertido, de dimensiones apropiadas, para protegerlos del polvo y permitir la eliminación de posibles burbujas de aire, y se dejan enfriar al aire a una temperatura entre 20° y

30° C, (68° y 86° F), por un período entre 1 y 1.5 horas, si se emplean moldes pequeños, y entre 1.5 y 2 horas si se utilizan los de mayor tamaño.

Finalmente, se sumergen los recipientes en el baño de agua a la temperatura especificada, manteniéndolos así durante los mismos períodos de enfriamiento.

3.2 Condiciones del ensayo – Las condiciones normalizadas del ensayo son respectivamente, de 25° C (77° F), 100 g y 5 segundos para la temperatura, la carga y el tiempo de duración de la misma. Sin embargo, se admite emplear otras condiciones de ensayo, como por ejemplo:

Temperatura °C (°F)	Carga g	Tiempo s
0 (32)	200	60
4 (39.2)	200	60
25 (77)	100	5
25 (77)	50	5
45 (113)	50	5
46.1 (115°)	50	5

Cuando las condiciones del ensayo no se mencionan expresamente, se entenderá que serán las normalizadas, debiéndose especificar claramente en los demás casos las condiciones especiales que se podrán emplear.

3.3 Ejecución del ensayo – Primero se comprueba que el vástago soporte de la aguja este perfectamente limpio y seco, y que se deslice en forma suave y sin rozamiento sobre su guía. La aguja de penetración se limpia con tolueno u otro disolvente apropiado y se seca con un paño limpio, fijándola firmemente en su soporte. Salvo que se especifique otra carga, se coloca el peso suplementario de 50 g sobre el vástago, para obtener la masa móvil total de 100 ± 0.1 g.

El ensayo de penetración se puede realizar directamente en el baño de agua, colocando el penetrómetro sobre la plataforma que para este fin debe tener el baño, y sobre la base del penetrómetro el recipiente con la muestra, el cual debe quedar completamente sumergido. La penetración se puede, igualmente, llevar a cabo en el baño auxiliar colocado sobre la base del penetrómetro, conectándolo directamente al baño de agua mediante un sistema de alimentación en circuito cerrado, que mantenga constante la temperatura de ambos baños. El recipiente con la muestra se coloca en el baño auxiliar, completamente sumergido.

Si el ensayo se realiza para un arbitraje, las penetraciones a temperaturas diferentes a la normalizada, se realizarán directamente en el baño de agua. Cuando no se disponga de un sistema de alimentación como el descrito en el párrafo anterior, la penetración se puede también realizar mediante un pequeño baño auxiliar de unos 400 cm³, de fondo plano y suficiente profundidad, el cual se deberá mantener sumergido en el baño principal hasta la realización del ensayo. La muestra se pasa al baño pequeño, se cubre completamente con agua procedente del baño principal, a la temperatura de ensayo y el conjunto se sitúa sobre la base del penetrómetro.

Puede ser conveniente dotar a este baño con un tipo de soporte, así como un sistema que proporcione un apoyo con 3 puntos de contacto al recipiente para la muestra.

Una vez transcurridos los tiempos de inmersión prescritos en la Sección 5.1, se aproxima la aguja del penetrómetro hasta que su punta toque justamente la superficie de la muestra, sin que penetre, lo cual se facilita aproximando la aguja y su imagen reflejada mediante una lámpara auxiliar, convenientemente colocada. Se anota la lectura o se pone en cero el penetrómetro y se suelta seguidamente el mecanismo que libera la aguja durante el tiempo especificado. Finalmente, se lee

y anota la distancia, expresada en décimas de milímetro, que haya penetrado la aguja en la muestra.

4. RESULTADOS

4.1 El resultado del ensayo será el promedio de tres penetraciones cuyos valores no difieran en más de las siguientes cantidades:

Penetración	0 a 49	50 a 149	150 a 249	Entre 250 y 500
Diferencia máxima entre valores extremos	2	4	12	20

4.2 Si se excede la tolerancia anterior, se repite el ensayo utilizando el segundo molde con muestra previamente preparada. Si se excediera de nuevo la correspondiente tolerancia, se anulan los resultados obtenidos y se procederá a la realización de un nuevo ensayo.

ANEXO 11. DETERMINACION DEL PUNTO DE IGNICION Y LLAMA

Tomado y adaptado, Normas de Ensayos Para Materiales de Carreteras (Santa Fe de Bogotá, D.C, 1998). INSTITUTO NACIONAL DE VIAS.

I.N.V. E-709-07

1. OBJETIVO

1.1 Este ensayo tiene por objeto determinar los puntos de ignición y de llama, mediante la copa abierta de Cleveland de productos de petróleo y de otros líquidos con excepción de los aceites combustibles y de los materiales que tienen un punto de ignición, en copa abierta de Cleveland por debajo de 79° C (175° F), empleando el equipo manual o el equipo automático.

1.2 Esta norma se deberá emplear para medir y describir las propiedades de materiales, productos o sistemas, en respuesta al calor y a la llama bajo condiciones de laboratorio controladas y no se deberá considerar ni emplear para la descripción o para la apreciación de materiales, productos o sistemas, que presenten riesgo de incendio bajo condiciones reales.

1.3 Los valores dados en unidades SI, deben ser tomados como norma. Los valores en paréntesis son de información solamente.

1.4 Esta norma no involucra las debidas precauciones de seguridad que se deben tomar para la manipulación de materiales y equipos aquí descritos, ni establece pautas al respecto para el desarrollo de cada proceso en términos de riesgo y seguridad industrial. Es responsabilidad del usuario, establecer las normas apropiadas con el fin de minimizar los riesgos en la salud e integridad física, que se puedan generar debidos a la ejecución de la presente norma y determinar las limitaciones que regulen su uso.

2. EQUIPO

2.1 Aparato de copa abierta de Cleveland

2.2 Placa de calentamiento

2.3 Aplicador de llama al ensayo

2.4 Calentador

2.5 Protector

2.6 Termómetro

2.7 Mordaza de nivel llenado

3. PROCEDIMIENTO.

3.1.1 Se llena la copa a cualquier temperatura que no exceda de 56° C (100° F) por encima del punto de ignición esperado de la muestra de tal manera que la parte superior del menisco quede en la línea de llenado. Si se ha vertido demasiada muestra en la copa, se remueve el exceso empleando una pipeta u otro dispositivo apropiado; sin embargo, si hay muestra en la parte exterior del aparato, se vacía, se limpia y se vuelve a llenar. Se deshacen todas las burbujas de aire sobre la superficie de la muestra con un implemento puntiagudo u otro dispositivo apropiado, y se mantiene el nivel requerido de muestra para el ensayo. Si persiste espuma durante el final de esta fase del ensayo, se debe terminar el ensayo y desechar cualquier resultado.

3.1.2 Se enciende la llama de ensayo y se ajusta a un diámetro entre 3.8 y 5.4 mm (0.15" a 0.21")

3.1.3 Se aplica calor inicialmente de tal manera que la rata de incremento de temperatura de la muestra sea de 14° a 17° C (25° a 30° F) por minuto. Cuando la temperatura de la muestra sea de aproximadamente 56° C (100° F) por debajo del

punto de ignición esperado, se disminuye el calor de manera que la temperatura se aumente, para los últimos 28° C (50° F) antes de llegar al punto de ignición, en 5° a 6° C (9 a 11° F) por minuto.

3.1.4 Por lo menos a 28° C (50° F) bajo el punto de ignición, se empieza a aplicar la llama de ensayo, una vez por cada aumento de 2° C (5° F). Se pasa la llama de ensayo a través del centro de la copa, en ángulos rectos con el diámetro que pasa a través del termómetro, con un movimiento suave y continuo, bien sea en una línea recta o a lo largo del arco de una circunferencia que tenga un radio de al menos 150 ± 0.1 mm (6 ± 0.039 "). El centro de la llama de prueba se debe mover en un plano horizontal que esté a no más de 2.5 mm (0.10") por encima del plano del borde superior de la copa, pasando primero en una dirección, y la siguiente vez en la dirección opuesta. El tiempo empleado para efectuar un barrido de la llama de ensayo a través de la copa deberá ser de alrededor de 1 ± 0.1 segundos. Durante los últimos 28° C (50° F) de aumento de temperatura antes del punto de ignición, se debe evitar la perturbación de los vapores en la copa de ensayo por movimientos repentinos o por respirar cerca de la copa.

3.1.5 Cuando persiste espuma encima del espécimen de ensayo durante los últimos 28° C (50° F), se eleva la temperatura sin sobrepasar la esperada para el punto de ignición, se termina el ensayo y omite cualquier resultado.

3.1.6 Se presta atención a todos los detalles relativos del ensayo de llama, tales como, tamaño de ésta, velocidad de incremento de la temperatura y de paso de la llama sobre el espécimen de ensayo, ya que estas observaciones son requeridas para proporcionar resultados adecuados.

3.1.7 Cuando se ensayen materiales donde la temperatura esperada de punto de ignición no se conozca, se debe llevar el material en la copa de ensayo a una temperatura no mayor a 50° C (122° F), o cuando el material lo requiera éste será

calentado antes de colocarlo en la copa y posteriormente se llevará a esta temperatura.

3.1.8 Para determinar el punto de llama, se continúa calentando la muestra tal, de tal manera, que la temperatura se aumente a una rata de 5° a 6° C (9° a 11° F) por minuto. Se continúa con la aplicación de la llama de ensayo a intervalos de 2° C (5° F) hasta que se obtenga el punto de ignición.

3.1.9 Se registra el punto de ignición observado, la lectura en el aparato de medida de temperatura y el tiempo del ensayo en el que se distingue una llama producida por la ignición en el interior de la copa.

3.1.10 Se considera que la muestra tiene ignición cuando una larga flama aparece instantáneamente y se propaga sobre toda la superficie del espécimen.

3.1.11 La aplicación de la llama puede causar un halo azulado o una flama abundante antes del verdadero punto de ignición, este no se considera como el verdadero punto de ignición, por lo tanto, debe ser ignorado.

3.1.12 Cuando el punto de ignición es detectado en la primera aplicación de la llama, el ensayo deberá ser interrumpido, los resultados serán descartados y se repetirá nuevamente el ensayo con una muestra fresca. La primera aplicación de la llama sobre la muestra fresca se deberá realizar a una temperatura menor a 28° C (50° F), de la hallada cuando el punto de ignición fue detectado en la primera aplicación.

3.1.13 Cuando los aparatos se hayan enfriado, se bajan y se calientan a una temperatura inferior a 60° C (140° F), se remueve la copa y se limpia al igual que el resto de accesorios, tal como se recomienda en el manual del usuario.

3.1.14 Para determinar el punto de llama, se continua calentando el espécimen, después de registrar el punto de ignición, con incrementos de temperatura a una rata de 5° a 6° C (9° a 11° F)/min, se continúa la aplicación de la llama a intervalos de 2° C (5° F), hasta que el espécimen se encienda y las sustancias permanezcan quemándose por lo menos durante 5 segundos. Se registra la temperatura de ensayo del espécimen, cuando la flama que cause la ignición sea aplicada. Se mantiene ardiendo el espécimen y se observa el punto de llama.

4. CALCULOS

Si la presión barométrica real ambiente en el momento del ensayo difiere de 760 mm de mercurio (101.3 kPa), se debe hacer la corrección del punto de ignición y de llama de la siguiente forma:

$$\text{Corrección del punto de ignición} = C + 0.25 \times (101.3 - K)$$

$$\text{Corrección del punto de ignición} = F + 0.06 \times (760 - P)$$

$$\text{Corrección del punto de ignición} = C + 0.033 \times (760 - P)$$

donde:

C = punto de ignición observado en °C,

F = punto de ignición observado en °F,

P = presión barométrica ambiente en mm de mercurio, y

K = presión barométrica en KPa.

ANEXO 12. ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL

Tomado y adaptado, Normas de Ensayos Para Materiales de Carreteras (Santa Fe de Bogotá, D.C, 1998). INSTITUTO NACIONAL DE VIAS.

I.N.V. E-748-07

1. OBJETIVO

1.1 Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para la determinación de la resistencia a la deformación plástica de especímenes cilíndricos de mezclas asfálticas para pavimentación, empleando el aparato Marshall. El procedimiento se puede emplear tanto para el proyecto de mezclas en el laboratorio como para el control en obra de las mismas. El método es aplicable a mezclas elaboradas con cemento asfáltico y agregados pétreos con tamaño máximo menor o igual a 25.4 mm (1”).

1.2 Los valores establecidos en unidades SI deben ser considerados como la norma.

1.3 Esta norma no pretende dar directrices sobre aspectos de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien la emplee, establecer las medidas de seguridad y salubridad apropiadas y determinar la aplicación de las limitaciones regulatorias antes de su empleo.

2. EQUIPO

2.1 Dispositivo para moldear probetas

2.2 Extractor de probetas

2.3 Martillo de compactación

- 2.4 Pedestal de compactación
- 2.5 Sujetador para el molde
- 2.6 Mordazas
- 2.7 Prensa
- 2.8 Medidor de estabilidad
- 2.9 Elementos de calefacción
- 2.10 Mezcladora
- 2.11 Tanque de agua
- 2.12 Tamices
- 2.13 Termómetros blindados
- 2.14 Balanzas
- 2.15 Guantes
- 2.16 Crayolas
- 2.17 Bandejas metálicas

3. PREPARACION DE LAS PROBETAS

3.1 Número de Probetas – Para una gradación particular del agregado, original o mezclada, se preparará una serie de probetas con diferentes contenidos de asfalto (con incrementos de 0.5% en peso, entre ellos); de tal manera que los resultados se puedan graficar en curvas que indiquen un valor "óptimo" definido, con puntos de cada lado de este valor. Como mínimo, se prepararán tres probetas para cada contenido de asfalto.

3.2 Cantidad de materiales – Un diseño con seis contenidos de asfalto, necesitará, entonces, por lo menos dieciocho (18) probetas. Para cada probeta se necesitan aproximadamente 1200 g de ingredientes: para una serie de muestras de una gradación dada resulta conveniente disponer de unos 23 kg (50 lb) de agregados y alrededor de 4 litros (1 galón) de cemento asfáltico. Se requiere,

además, una cantidad extra de materiales para análisis granulométricos y para la determinación de las gravedades específicas.

3.3 Preparación de los agregados – Los agregados se deberán sacar hasta masa constante a una temperatura entre 105° C y 110° C (221° F y 230° F) y se separarán por tamizado en los tamaños deseados. En general se recomiendan las porciones que se indican a continuación, aunque las fracciones definitivas dependerán de los tamaños disponibles en la planta de producción:

25.0 mm a 19.0 mm	(1" a 3/4")
19.0 mm a 9.50 mm	(3/4" a 3/8")
9.50 mm a 4.75 mm	(3/8" a No.4)
4.75 mm a 2.36 mm	(No.4 a No.8)
Pasante de 2.36 mm	(No.8)

3.4 Determinación de las temperaturas de mezcla y compactación – La temperatura a la cual se debe calentar el cemento asfáltico para las mezclas, será la requerida para producir una viscosidad de 170 ± 20 centiStokes. (1 centistoke = 1 mm²/s).

La temperatura a la cual se deberá calentar el cemento asfáltico para que tenga una viscosidad de 280 ± 30 centiStokes, será la temperatura de compactación.

3.5 Preparación de las mezclas – En bandejas taradas, separadas para cada fracción de la muestra, se pesarán sucesivamente las cantidades de cada porción de agregados, previamente calculadas de acuerdo con la gradación necesaria para la fabricación de cada probeta, de tal forma que ésta resulte con una altura de 63.5 ± 1.3 mm . Se calentarán los agregados en una plancha de calentamiento o en el horno a una temperatura de 28°C (50°F) por encima de la temperatura de mezcla. Se transfieren los agregados al recipiente de mezclado donde se mezclan en seco y se forma a continuación un cráter en su centro, dentro del cual se vierte la cantidad requerida de asfalto, debiendo estar ambos materiales en ese instante a temperaturas comprendidas dentro de los límites establecidos para el proceso

de mezcla en la Sección 4.4. A continuación se mezclan los materiales lo más rápidamente posible hasta obtener una mezcla completa y homogénea.

3.6 Compactación de las Probetas – Simultáneamente con la preparación de la mezcla, el conjunto de molde, collar, placa de base y la base del martillo de compactación, se limpian y calientan en un baño de agua o en el horno a una temperatura comprendida entre 93.3° C y 148.9° C (200° F y 300° F).

Se arma el conjunto del dispositivo para moldear las probetas y se coloca un papel de filtro en el fondo del molde antes de colocar la mezcla. A continuación, se coloca toda la mezcla recién fabricada en el molde y se la golpea vigorosamente con una espátula o palustre caliente, 15 veces alrededor del perímetro y 10 sobre el interior. Se quita el collar y se alisa la superficie hasta obtener una forma ligeramente redondeada. La temperatura de la mezcla inmediatamente antes de la compactación deberá hallarse dentro de los límites de temperatura de compactación.

Se vuelve a poner el collar y se coloca el conjunto en el sujetador sobre el pedestal de compactación. Se coloca otro papel filtro sobre la superficie de la mezcla y se aplican 50 o 75 golpes según se especifique, de acuerdo con el tránsito de diseño, empleando para ello el martillo de compactación una caída libre de 457.2 mm (18"), manteniendo el eje del martillo perpendicular a la base del molde durante la compactación. Se retiran la placa de base y el collar, se colocan en los extremos opuestos del molde; se vuelve a montar éste en el pedestal y se aplica el mismo número de golpes a la cara invertida de la muestra

Después de la compactación, se retira la base y se deja enfriar la muestra al aire hasta que no se produzca ninguna deformación cuando se la saque del molde. Se pueden utilizar ventiladores de mesa cuando se desee un enfriamiento más rápido, pero en ningún caso agua, a menos que la muestra se coloque dentro de

una bolsa plástica. Se saca cuidadosamente la probeta del molde por medio del extractor, se identifica con la crayola, se mide su espesor y se coloca sobre una superficie plana, lisa, donde se deja en reposo durante una noche.

ANEXO 13. CONTENIDO DE ASFALTO

Tomado y adaptado, Normas de Ensayos Para Materiales de Carreteras (Santa Fe de Bogotá, D.C, 1998). INSTITUTO NACIONAL DE VIAS.

I.N.V. E-703-07

1. OBJETIVO

1.1 Este método sirve para determinar el contenido de bitumen en materiales que tienen al menos 25% de este material. Este contenido se puede determinar con rapidez y exactitud por el procedimiento No.1 que se describe más adelante. Sin embargo, algunos materiales que tengan material mineral finamente dividido, pueden colmatar el filtro o el residuo mineral puede no ser fácilmente retenido, en cuyo caso se deberá aplicar el procedimiento.

1.2 Esta norma no involucra las debidas precauciones de seguridad que se deben tomar para la manipulación de materiales y equipos aquí descritos, ni establece pautas al respecto para el desarrollo de cada proceso en términos de riesgo y seguridad industria I. Es responsabilidad del usuario, establecer las normas apropiadas con el fin de minimizar los riesgos en la salud e integridad física, que se puedan generar debidos a la ejecución de la presente norma y determinar las limitaciones que regulen su uso.

2. EQUIPO

2.1 Crisol filtrante

2.2 Vasos picudos

2.3 Bisulfuro de carbono

2.4 Matraz filtrante

- 2.5 Horno eléctrico
- 2.6 Fogon
- 2.7 Bomba de succion
- 2.8 Balanza analítica
- 2.9 Desecador
- 2.10 Vidrios de reloj
- 2.11 Capsula de evaporación

3. PREPARACION DE LA MUESTRA

La muestra deberá ser representativa, y si contiene más del 2% de agua, se deberá deshidratar por destilación según el método de ensayo ASTM D-370 o NLT 184. Si el material es duro y frágil (quebradizo), podrá ser sedimentado y secado a una temperatura inferior a la de volatilización del material, el material también se puede deshidratar calentándolo con agitación constante a temperatura inferior a 30° C, siempre que la operación se realice rápidamente.

4. CALCULOS.

Se calculan los contenidos de bitumen (% soluble en bisulfuro de carbono), de material mineral y la diferencia, como sigue:

$$\textit{Contenido de bitumen ,\%, } X = 100 \frac{A - (B + D)}{A}$$

$$\textit{Material mi neral ,\%, } Y = 100 \frac{C + D}{A}$$

$$\textit{Diferencia} = 100 - (X + Y)$$

donde:

A = peso de la muestra libre de agua,

B = peso neto del residuo insoluble ,

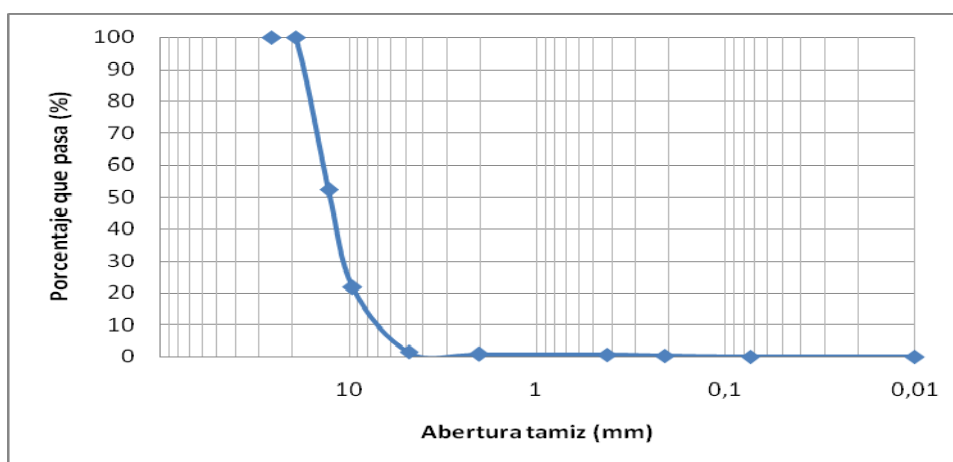
C = peso neto del material mineral quemado, y

D = peso total de corrección.

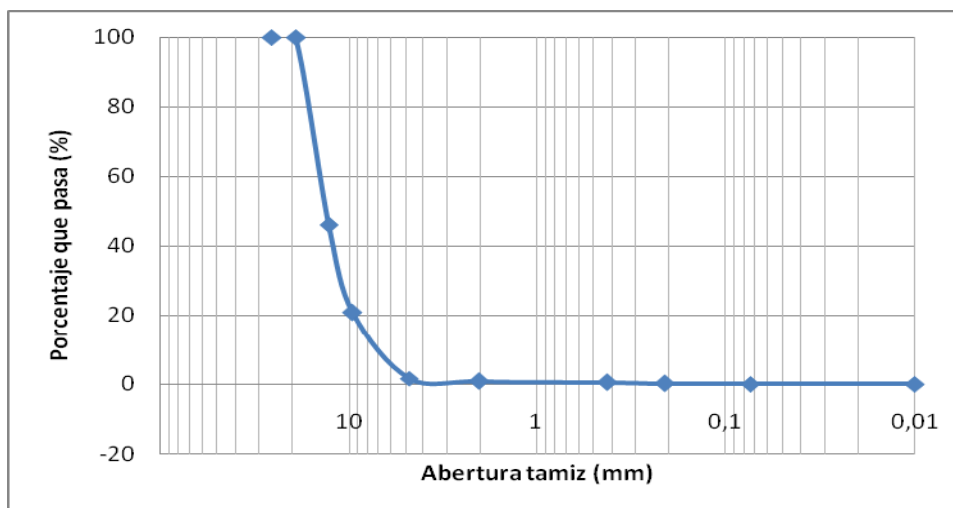
ANEXO 14 GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO



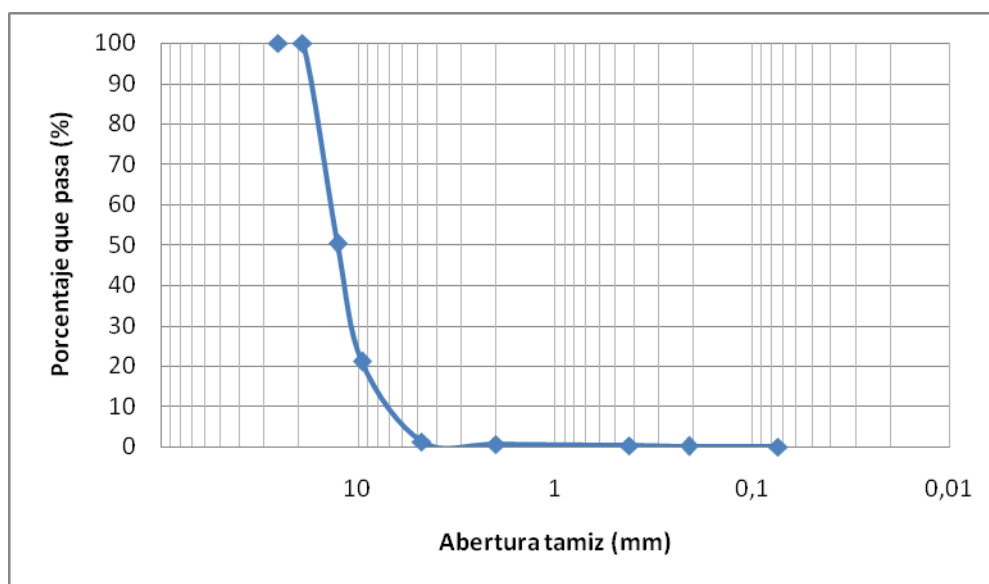
ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS AGREGADOS I.N.V. E-213		MUESTRA N°	1		REALIZARON:
		DESCRIPCION: AGREGADO GRUESO	LUIS EDUARDO DIAZ CHACON JUAN SEBASTIAN RIVEROS SANTOS		
PESO INICIAL DE LA MUESTRA (gr)					4920
PESO DE LA MUESTRA DESPUES DE LAVADA Y SECADA (gr)					4901,2
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RET. (gr)	% RETENIDO	% RET. TOTAL	% PASA TOTAL
1"	25,4	0	0	0,00	100
3/4"	19,05	0	0	0,00	100
1/2"	12,7	2343,2	47,84	47,84	52,16
3/8"	9,52	1495,4	30,53	78,36	21,64
No. 4	4,75	991,3	20,24	98,60	1,40
10	2	33,3	0,68	99,28	0,72
40	0,42	6,3	0,13	99,41	0,59
80	0,21	13	0,27	99,68	0,32
200	0,074	15,7	0,32	100,00	0,00
FOND O	0	0,2	0,00	100,00	0,00
TOTAL	-----	4898,4	100	-----	-----



ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS AGREGADOS I.N.V. E-213		MUESTRA N°	2	REALIZARON: LUIS EDUARDO DIAZ CHACON JUAN SEBASTIAN RIVEROS SANTOS	
DESCRIPCION: AGREGADO GRUESO					
PESO INICIAL DE LA MUESTRA (gr)				5200	
PESO DE LA MUESTRA DESPUES DE LAVADA Y SECADA (gr)				5176,8	
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RET. (gr)	% RETENIDO	% RET. TOTAL	% PASA TOTAL
1"	25,4	0	0	0,00	100
3/4"	19,05	0	0	0,00	100
1/2"	12,7	2780	53,92	53,92	46,08
3/8"	9,52	1300	25,21	79,13	20,87
No. 4	4,75	987	19,14	98,28	1,72
10	2	48	0,93	99,21	0,79
40	0,42	12	0,23	99,44	0,56
80	0,21	15	0,29	99,73	0,27
200	0,074	13	0,25	99,98	0,02
FONDO	0	0,8	0,02	100,00	0,00
TOTAL	-----	5155,8	100,00	-----	-----



ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS AGREGADOS I.N.V. E-213		MUESTR A N°	3	REALIZARON: LUIS EDUARDO DIAZ CHACON JUAN SEBASTIAN RIVEROS SANTOS	
PESO INICIAL DE LA MUESTRA (gr)				5000	
PESO DE LA MUESTRA DESPUES DE LAVADA Y SECADA (gr)				4990,5	
TAMIZ	ABERTUR A (mm)	PESO RET. (gr)	% RETENID O	% RET. TOTAL	% PASA TOTAL
1"	25,4	0	0	0,00	100
3/4"	19,05	0	0	0,00	100
1/2"	12,7	2480,8	49,76	49,76	50,24
3/8"	9,52	1450,6	29,09	78,85	21,15
No. 4	4,75	990,1	19,86	98,71	1,29
10	2	34,8	0,70	99,41	0,59
40	0,42	13,6	0,27	99,68	0,32
80	0,21	8,2	0,16	99,84	0,16
200	0,074	7,6	0,15	100,00	0,00
FONDO	-----	0,2	0,00	100,00	0,00
TOTAL	-----	4985,9	100,00	-----	-----



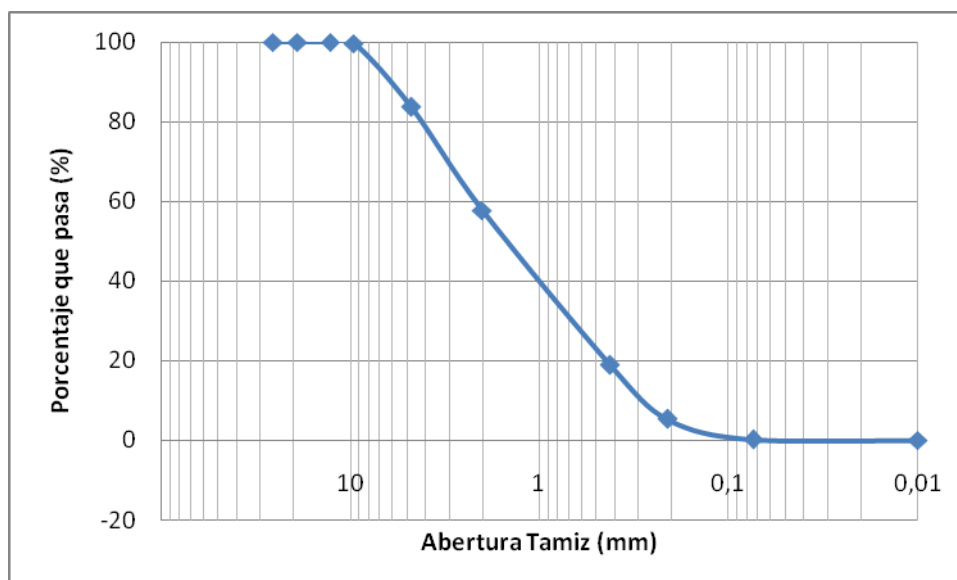
ANEXO 15 GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO.



ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS AGREGADOS I.N.V. E-213	MUESTRA N°	1	REALIZARON:
	DESCRIPCION: AGREGADO FINO	LUIS EDUARDO DIAZ CHACON JUAN SEBASTIAN RIVEROS SANTOS	

PESO INICIAL DE LA MUESTRA (gr)	2283,6
PESO DE LA MUESTRA DESPUES DE LAVADA Y SECADA (gr)	2279,9

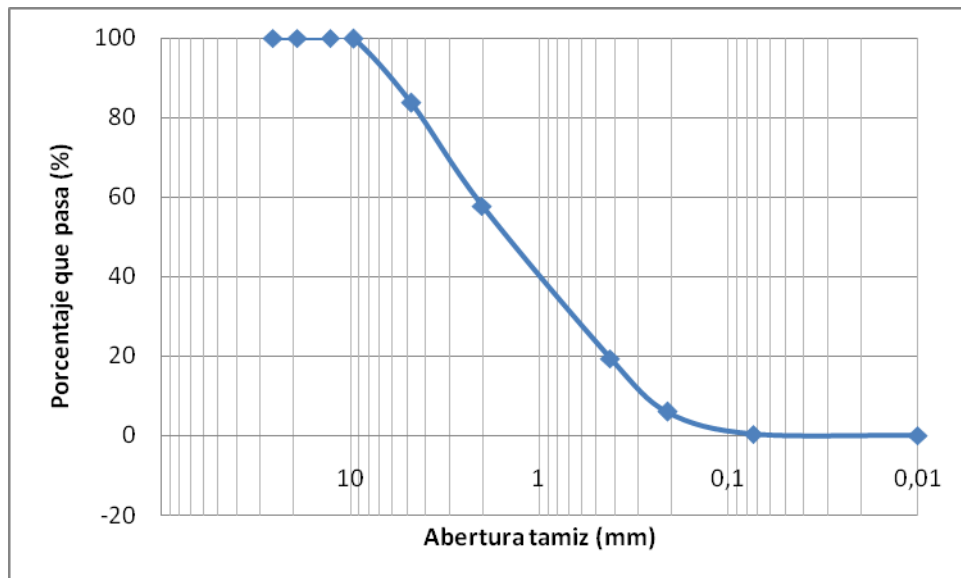
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RET. (gr)	% RETENIDO	% RET. TOTAL	% PASA TOTAL
1"	25,4	0	0	0,00	100
3/4"	19,05	0	0	0,00	100
1/2"	12,7	0	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,52	7,2	0,32	0,32	99,68
No. 4	4,75	362,3	15,92	16,23	83,77
10	2	591	25,97	42,20	57,80
40	0,42	886,6	38,95	81,15	18,85
80	0,21	306,1	13,45	94,60	5,40
200	0,074	117	5,14	99,74	0,26
FONDO	0	5,9	0,26	100,00	0,00
TOTAL	-----	2276,1	100	-----	-----



ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS AGREGADOS I.N.V. E-213	MUESTRA N°	2	REALIZARON: LUIS EDUARDO DIAZ CHACON JUAN SEBASTIAN RIVEROS SANTOS
	DESCRIPCION:		
	AGREGADO FINO		

PESO INICIAL DE LA MUESTRA (gr)	2365
PESO DE LA MUESTRA DESPUES DE LAVADA Y SECADA (gr)	2361,2

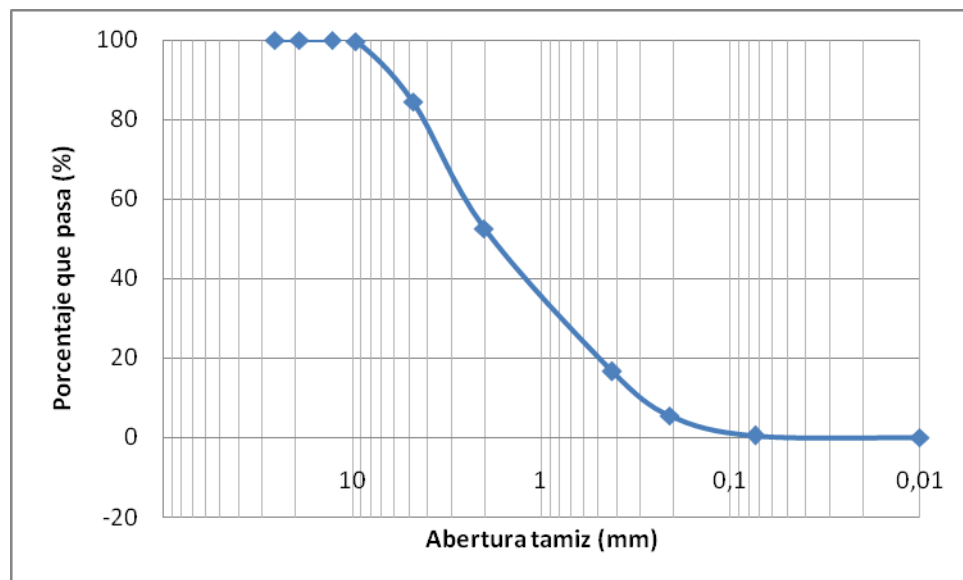
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RET. (gr)	% RETENIDO	% RET. TOTAL	% PASA TOTAL
1"	25,4	0	0	0,00	100
3/4"	19,05	0	0	0,00	100
1/2"	12,7	0	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,52	4	0,17	0,17	99,83
No. 4	4,75	378,9	16,05	16,22	83,78
10	2	612,8	25,96	42,19	57,81
40	0,42	905,7	38,37	80,56	19,44
80	0,21	315,9	13,38	93,94	6,06
200	0,074	135	5,72	99,66	0,34
FONDO	0	8	0,34	100,00	0,00
TOTAL	----	2360,3	100,00	----	----



ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS AGREGADOS	MUESTRA N°	3	REALIZARON:
	DESCRIPCION:	LUIS EDUARDO DIAZ CHACON JUAN SEBASTIAN RIVEROS SANTOS	
	I.N.V. E-213	AGREGADO FINO	

PESO INICIAL DE LA MUESTRA (gr)	2000
PESO DE LA MUESTRA DESPUES DE LAVADA Y SECADA (gr)	1989,9

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RET. (gr)	% RETENIDO	% RET. TOTAL	% PASA TOTAL
1"	25,4	0	0	0,00	100
3/4"	19,05	0	0	0,00	100
1/2"	12,7	0	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,52	6	0,30	0,30	99,70
No. 4	4,75	300,5	15,14	15,44	84,56
10	2	635,4	32,02	47,46	52,54
40	0,42	712,3	35,89	83,36	16,64
80	0,21	220,9	11,13	94,49	5,51
200	0,074	100,4	5,06	99,55	0,45
FONDO	-----	9	0,45	100,00	0,00
TOTAL	-----	1984,5	100,00	-----	-----



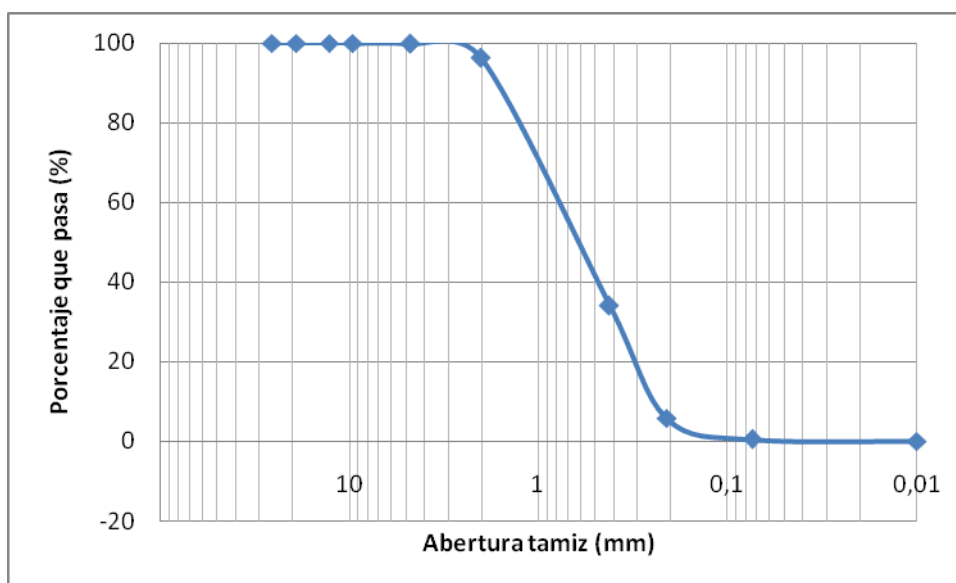
ANEXO 16 GRANULOMETRIA DE LA CENIZA DE PALMA



ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS AGREGADOS I.N.V. E-213	MUESTRA N°	1	REALIZARON:
	DESCRIPCION: CENIZA	LUIS EDUARDO DIAZ CHACON JUAN SEBASTIAN RIVEROS SANTOS	

PESO INICIAL DE LA MUESTRA (gr)	1000
PESO DE LA MUESTRA DESPUES DE LAVADA Y SECADA (gr)	942,3

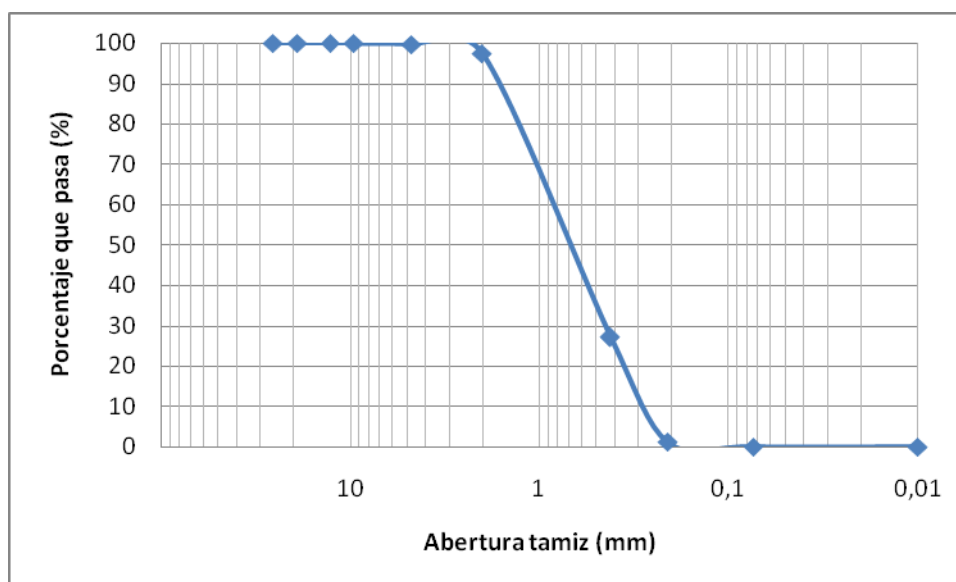
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RET. (gr)	% RETENIDO	% RET. TOTAL	% PASA TOTAL
1"	25,4	0	0	0,00	100
3/4"	19,05	0	0	0,00	100
1/2"	12,7	0	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,52	0	0,00	0,00	100,00
No. 4	4,75	1,8	0,19	0,19	99,81
10	2	33,1	3,51	3,71	96,29
40	0,42	585,3	62,15	65,86	34,14
80	0,21	266,3	28,28	94,14	5,86
200	0,074	50,7	5,38	99,52	0,48
FONDO	----	4,5	0,48	100,00	0,00
TOTAL	----	941,7	100	----	----



ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS AGREGADOS	MUESTRA Nº	2	REALIZARON: LUIS EDUARDO DIAZ CHACON JUAN SEBASTIAN RIVEROS SANTOS
	DESCRIPCION: CENIZA		
I.N.V. E-213			

PESO INICIAL DE LA MUESTRA (gr)	2000
PESO DE LA MUESTRA DESPUES DE LAVADA Y SECADA (gr)	1928,5

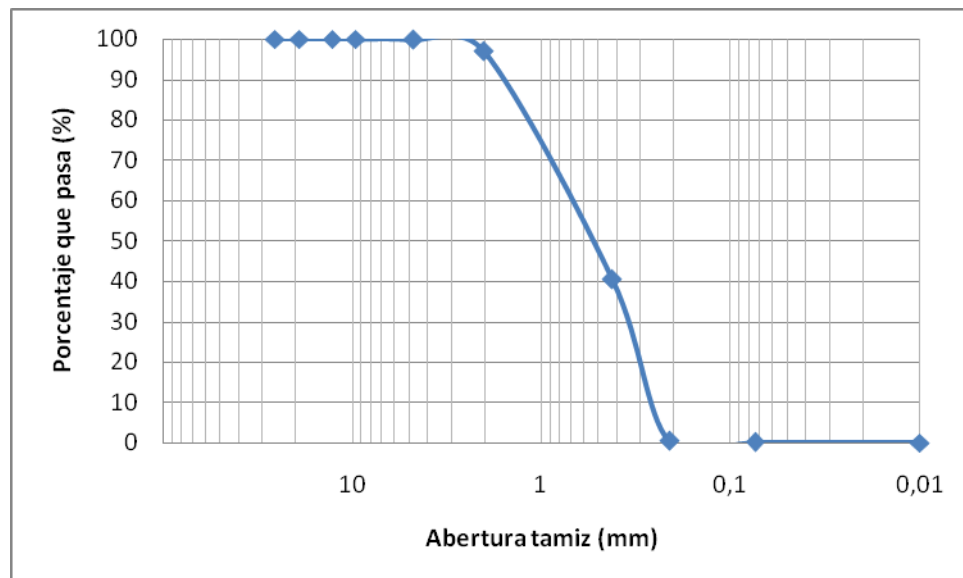
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RET. (gr)	% RETENIDO	% RET. TOTAL	% PASA TOTAL
1"	25,4	0	0	0,00	100
3/4"	19,05	0	0	0,00	100
1/2"	12,7	0	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,52	0	0,00	0,00	100,00
No. 4	4,75	5,6	0,29	0,29	99,71
10	2	42,8	2,23	2,52	97,48
40	0,42	1348,1	70,27	72,79	27,21
80	0,21	498,5	25,98	98,78	1,22
200	0,074	22,9	1,19	99,97	0,03
FONDO	-----	0,6	0,03	100,00	0,00
TOTAL	-----	1918,5	100,00	-----	-----



ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS AGREGADOS	MUESTRA N°	3	REALIZARON: LUIS EDUARDO DIAZ CHACON JUAN SEBASTIAN RIVEROS SANTOS
	DESCRIPCION: CENIZA		
I.N.V. E-213			

PESO INICIAL DE LA MUESTRA (gr)	2200
PESO DE LA MUESTRA DESPUES DE LAVADA Y SECADA (gr)	2145,2

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RET. (gr)	% RETENIDO	% RET. TOTAL	% PASA TOTAL
1"	25,4	0	0	0,00	100
3/4"	19,05	0	0	0,00	100
1/2"	12,7	0	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,52	0	0,00	0,00	100,00
No. 4	4,75	3,6	0,18	0,18	99,82
10	2	58,6	2,88	3,05	96,95
40	0,42	1150,8	56,50	59,55	40,45
80	0,21	813,4	39,93	99,48	0,52
200	0,074	8,9	0,44	99,92	0,08
FONDO	-----	1,6	0,08	100,00	0,00
TOTAL	-----	2036,9	100,00	-----	-----



ANEXO 17 PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS



PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS I.N.V. E-227	MUESTRA N°	1	REALIZARON:
	DESCRIPCION:	LUIS EDUARDO DIAZ CHACON JUAN SEBASTIAN RIVEROS SANTOS	
	AGREGADO GRUESO		

TAMIZ		PESO INICIAL (g)	PESO CARAS FRACTURADAS	PESO CARAS NO FRACTURADAS	% DE CARAS FRACTURADAS
PASA	RETENIDO				
1 1/2"	1"	0	0	0	0
1"	3/4"	0	0	0	0
3/4"	1/2"	1268	1069,7	198,30	84,36
1/2"	3/8"	565	440,9	124,10	78,04

ANEXO 18 RESULTADOS DE DESGASTE EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES



RESISTENCIA AL DESGASTE POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES I.N.V. E-218	MUESTRA N°	-	REALIZARON:
	DESCRIPCION: AGREGADO GRUESO		LUIS EDUARDO DIAZ CHACON JUAN SEBASTIAN RIVEROS SANTOS

TAMAÑOS		GRADACION TIPO Y PESO DE CADA FRACCION (g)						
PASA	RETENIDO	A	B	C	D	E	F	G
3"	2 1/2"					2500		
2 1/2"	2"					2500		
2"	1 1/2"					5000	5000	
1 1/2"	1"	1250					5000	5000
1"	3/4"	1250						5000
3/4"	1/2"	1250	2500					
1/2"	3/8"	1250	2500					
3/8"	N°3			2500				
N°3	N°4			2500				
N°4	N°8				5000			

N° DE ESFERAS	12	11	8	6	12	12	12
---------------	----	----	---	---	----	----	----

RESULTADOS

GRADACION EMPLEADA	B
REVOLUCIONES	500
Pa (g)	5000
Pb (g)	3850
PERDIDA DE PESO (g)	1150
% DESGASTE	23

ANEXO 19 RESULTADO DE MASAS UNITARIAS SUELTAS Y COMPACTAS



PESO UNITARIO Y PORCENTAJE DE VACIOS DE AGREGADOS I.N.V. E-217-07	MUESTRA N°	-	REALIZARON:
	DESCRIPCION: GRUESO Y FINO		LUIS EDUARDO DIAZ CHACON JUAN SEBASTIAN RIVEROS SANTOS

FINO		
Peso molde (gr)	3088	
Diametro (cm)	18,3	
Altura (cm)	18,4	
Volumen molde (cm ³)	4839,6	
	Suelta	Compacta
Masa molde y agregado (gr)	10470	11100
Masa molde y agregado (gr)	10450	11090
Masa molde y agregado (gr)	10480	11090
Masa promedio (gr)	7378,67	8005,33
Peso unitario agregado fino (g/cm ³)	1,52	1,65
Peso unitario agregado fino (kg/m ³)	1524,64	1654,13

GRUESO		
Peso molde (gr)	3088	
Diametro (cm)	18,3	
Altura (cm)	18,4	
Volumen molde (cm ³)	4839,6	
	Suelta	Compacta
Masa molde y agregado (gr)	10380	11130
Masa molde y agregado (gr)	10410	11120
Masa molde y agregado (gr)	10430	11130
Masa promedio (gr)	7318,67	8038,67
Peso unitario agregado fino (g/cm ³)	1,512	1,661
Peso unitario agregado fino (kg/m ³)	1512,2	1661,02

**ANEXO 20 RESULTADO GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCION
AGREGADO GRUESO**



GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS I.N.V . E-222-223	MUESTRA N°	-	REALIZARON:
	DESCRIPCION: GRUESO		LUIS EDUARDO DIAZ CHACON JUAN SEBASTIAN RIVEROS SANTOS

NOMBRE	UNIDAD	VALOR
Peso en el aire de la muestra seca (A)	g	4000
Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca (B)	g	4058
Peso sumergido en agua de la muestra saturada (C)	g	2680
Gravedad especifica bulk (Gsb)	g/cm ³	2,90
Gravedad especifica bulk sss (Gsb _{sss})	g/cm ³	2,94
Gravedad especifica aparente (Gsa)	g/cm ³	3,03
Absorcion	%	1,45

CARACTERISTICA	UNIDAD	VALOR
Gravedad especifica bulk (Gsb)	g/cm ³	2,90
Gravedad especifica bulk sss (Gsb _{sss})	g/cm ³	2,94
Gravedad especifica aparente (Gsa)	g/cm ³	3,03
Absorcion	%	1,45

**ANEXO 21 RESULTADO GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION
AGREGADO FINO**



GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS I.N.V . E-222-223	MUESTRA N°	-	REALIZARON:
	DESCRIPCION: FINO		LUIS EDUARDO DIAZ CHACON JUAN SEBASTIAN RIVEROS SANTOS

NOMBRE	UNIDAD	VALOR
Peso en el aire de la muestra seca (A)	g	481
Peso del picnometro aforado lleno de agua (B)	g	634,6
Peso total del picnometro aforado con la muestra y lleno de agua(C)	g	905,6
Peso de la muestra saturada y superficialmente seca (s)	g	500
Gravedad especifica bulk (Gsb)	g/cm^3	2,35
Gravedad especifica bulk sss (Gsb _{sss})	g/cm^3	2,23
Gravedad especifica aparente (Gsa)	g/cm^3	2,15
Absorcion	%	3,95

CARACTERISTICA	UNIDAD	VALOR
Gravedad especifica bulk (Gsb)	g/cm^3	2,35
Gravedad especifica bulk sss (Gsb _{sss})	g/cm^3	2,23
Gravedad especifica aparente (Gsa)	g/cm^3	2,15
Absorcion	%	3,95

ANEXO 22 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCION DE LA CENIZA



GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS I.N.V . E-222-223	MUESTRA N°	-	REALIZARON:
	DESCRIPCION:	CENIZA	LUIS EDUARDO DIAZ CHACON JUAN SEBASTIAN RIVEROS SANTOS

NOMBRE	UNIDAD	VALOR
Peso en el aire de la muestra seca (A)	g	472
Peso del picnometro aforado lleno de agua (B)	g	635,8
Peso total del picnometro aforado con la muestra y lleno de agua (c)	g	897,4
Peso de la muestra saturada y superficialmente seca (s)	g	500
Gravedad especifica bulk (Gsb)	g/cm ³	2,6
Gravedad especifica bulk sss (Gsb _{sss})	g/cm ³	2,3
Gravedad especifica aparente (Gsa)	g/cm ³	2,12
Absorcion	%	8,7

CARACTERISTICA	UNIDAD	VALOR
Gravedad especifica bulk (Gsb)	g/cm ³	2,6
Gravedad especifica bulk sss (Gsb _{sss})	g/cm ³	2,3
Gravedad especifica aparente (Gsa)	g/cm ³	2,12
Absorcion	%	8,7

ANEXO 23 SANIDAD DE LOS AGREGADOS



SANIDAD DE LOS AGREGADOS FRENTE A SOLUCIONES DE SULFATO DE SODIO O DE MAGNESIO I.N.V. E-220	MUESTRA N°	-	REALIZARON:
	DESCRIPCION: GRUESO Y FINOS		LUIS EDUARDO DIAZ CHACON JUAN SEBASTIAN RIVEROS SANTOS

AGREGADO GRUESO							
FRACCION		% RET PARCIAL INICIAL	PESO FRACCION ENSAYADA	No INICIAL PARTICULAS	PERDIDA TOTAL POR FRACCION	PERDIDA PONDERADA FRACCION	No FINAL PATICULAS
PASA	RETENIDO						
3/4"	1/2"	48,64	680,90	105,00	7,90	0,16	98,00
1/2"	3/8"	23,97	335,60	119,00	4,30	0,18	125,00
3/8"	No 4	21,45	300,30	-	3,60	0,17	-
TOTALES		94,06	1.400,00	-	15,80	0,51	-

AGREGADO FINO							
FRACCION		% RET PARCIAL INICIAL	PESO FRACCION ENSAYADA	No INICIAL PARTICULAS	PERDIDA TOTAL POR FRACCION	PERDIDA PONDERADA FRACCION	No FINAL PATICULAS
PASA	RETENIDO						
No4	No8	0,00	100,00	-	100,00	0,00	-
No8	No16	13,50	100,00	-	8,90	0,66	-
No16	No30	35,60	100,00	-	15,70	0,44	-
No30	No50	28,70	100,00	-	14,60	0,51	-
No50	FONDO	-	-	-	-	-	-
TOTALES		-	400,00	-	30,30	1,61	-

ANALISIS CUANTITATIVO AGREGADO GRUESO							
CICLO	FRACCION		No INICIAL DE PARTICULAS	No DE PARTICULAS DESPUES DE CADA CICLO			
	PASA	RETENIDO		BUEN ESTADO	PARTIDAS	ESCAMOSAS	DESINTEGRADAS
1	3/4"	1/2"	105	105	0	1	0
	1/2"	3/8"	119	119	0	0	0
2	3/4"	1/2"	105	103	0	3	0
	1/2"	3/8"	119	115	0	0	0
3	3/4"	1/2"	105	94	0	5	0
	1/2"	3/8"	119	100	0	2	0
4	3/4"	1/2"	105	72	1	12	0
	1/2"	3/8"	119	69	2	4	0
5	3/4"	1/2"	105	48	3	25	0
	1/2"	3/8"	119	28	5	32	0

ANEXO 24 INDICE DE ALARGAMIENTO Y APLANAMIENTO



INDICE DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO DE LOS AGREGADOS I.N.V. E-230	MUESTRA	-	REALIZARON:
	N°		LUIS EDUARDO DIAZ CHACON JUAN SEBASTIAN RIVEROS SANTOS
	DESCRIPCION:		
	GRUESO		

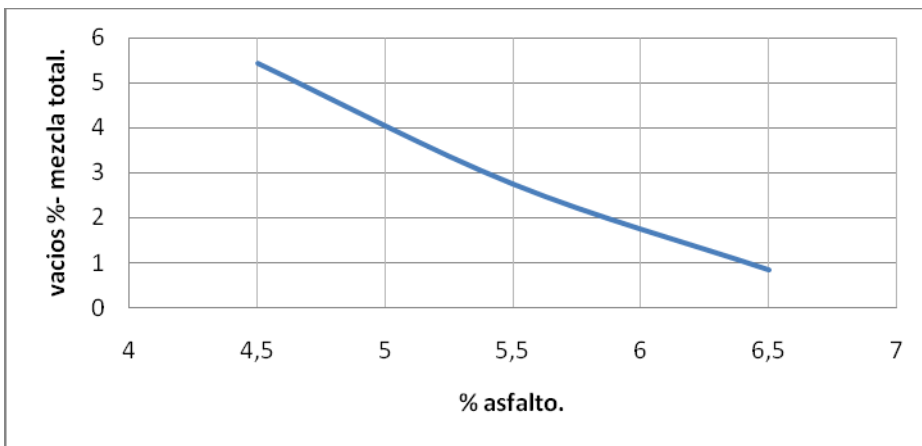
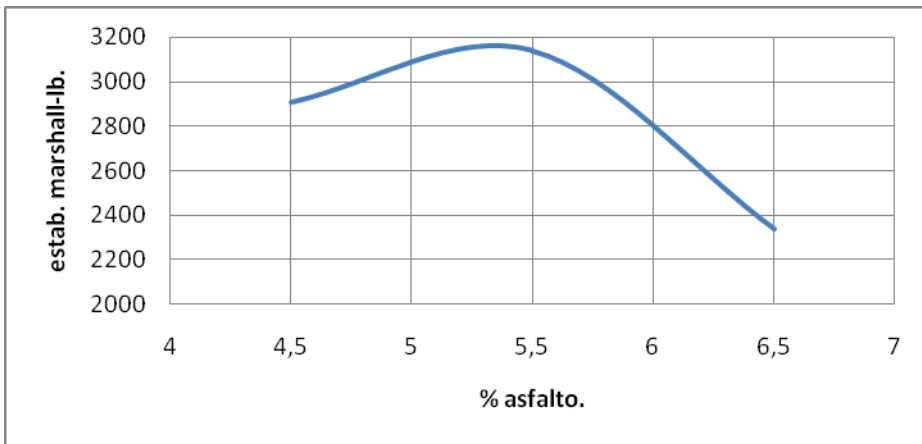
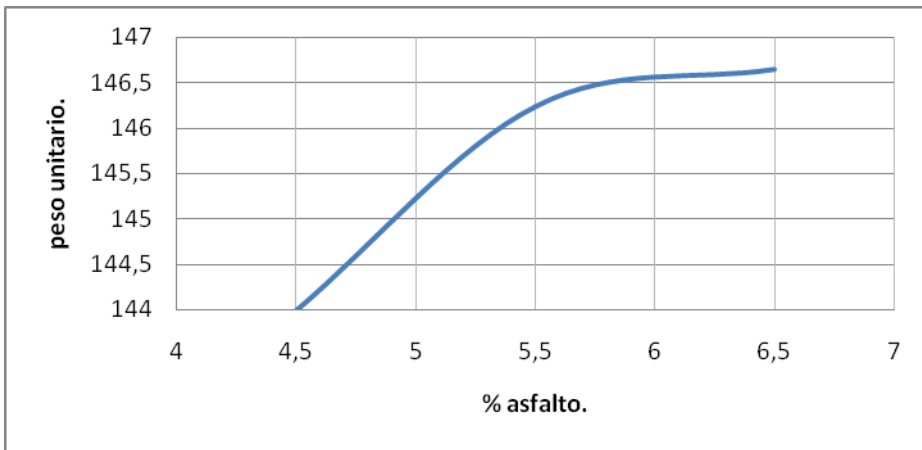
TAMIZ	PESO RETENIDO (g)	PESO APLANAMI. P_{li}	PESO ALARGAMI. P_{ai}	INDICE DE APLANAMI.	INDICE DE ALARGAMIE.	% RETENIDO R_i
3/4"-1/2"	974	185	105	18,99	10,78	44,27
1/2"-3/8"	610	69	180	11,31	29,51	27,73
3/8"-1/4"	356	34	112	9,55	31,46	16,18
SUMATORIA	2200					88,18

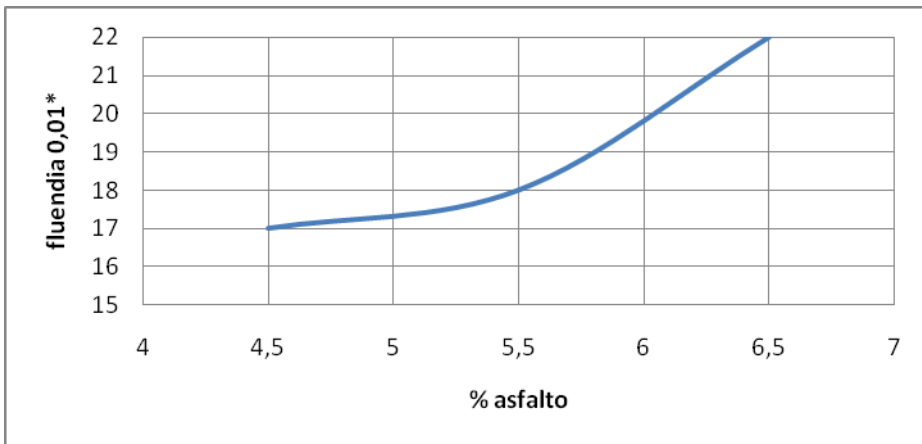
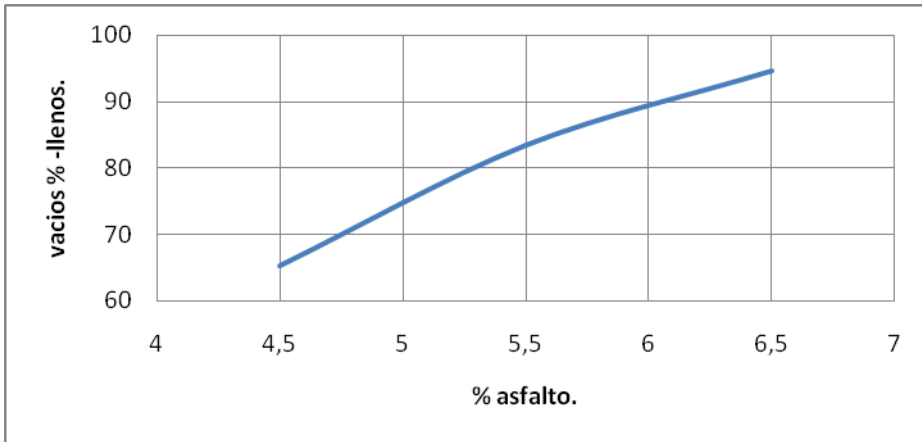
INDICE DE APLANAMIENTO	14,85
INDICE DE ALARGAMIENTO	20,46

ANEXO 25 MEZCLAS ASFLATICAS METODO MARSHALL SIN ADICION DE CENIZA



DISEÑO MEZCLA ASFALTICA METODO MARSHALL.																	
Golpes de Compactacion						75 por cara.		SIN CENIZA									
Peso especifico del asfalto						1											
Peso especifico bulk promedio de los agregados.						2,62											
Mezcla	% de	espesor	pesos en gramos		volumen	peso especifico		volumen % total			vacios %			peso unitario	estabilidad		flujo
No.	asfalto	pulgadas	en aire	en agua	cc	actual	teorico	asfalto	agregados	vacios	agregados	llenos	mezcla total	lb/in ^{^3}	medida	corregida	0,01*
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r
					d-e	d/f		$\frac{b \times g}{Ps \text{ Asf}}$	$\frac{(100-b)g}{Ps \text{ Ag}}$	100-i-j	100-j	i/l	$\frac{100-100g}{h}$	62,4 x g	libras	libras	
1	4,5	2,52	1108,7	635	473,7	2,34									2590	2953	18
2	4,5	2,44	1131,6	634	497,6	2,27									2750	2860	16
	4,5					2,31	2,44	10,38	84,10	5,51	15,90	65,3	5,44	143,98		2906	17
1	5,5	2,44	1181,6	678	503,6	2,35									2996	3116	17
2	5,5	2,36	1148,7	658	490,7	2,34									2900	3161	20
	5,5					2,34	2,41	12,89	84,53	2,58	15,47	83,3	2,75	146,24		3138	18
1	6,5	2,36	1183	680	503	2,35									2300	2392	22
2	6,5	2,40	1175,6	675	500,6	2,35									2198	2286	23
	6,5					2,35	2,37	15,28	83,86	0,86	16,14	94,7	0,84	146,64		2339	22

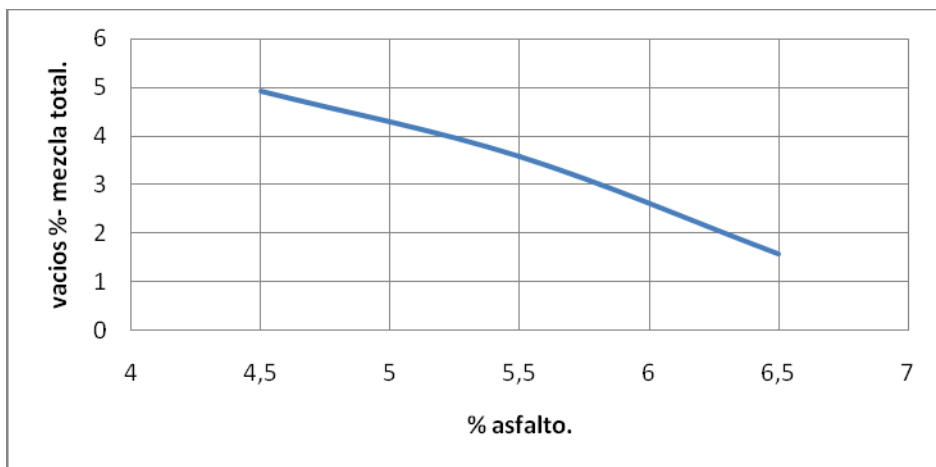
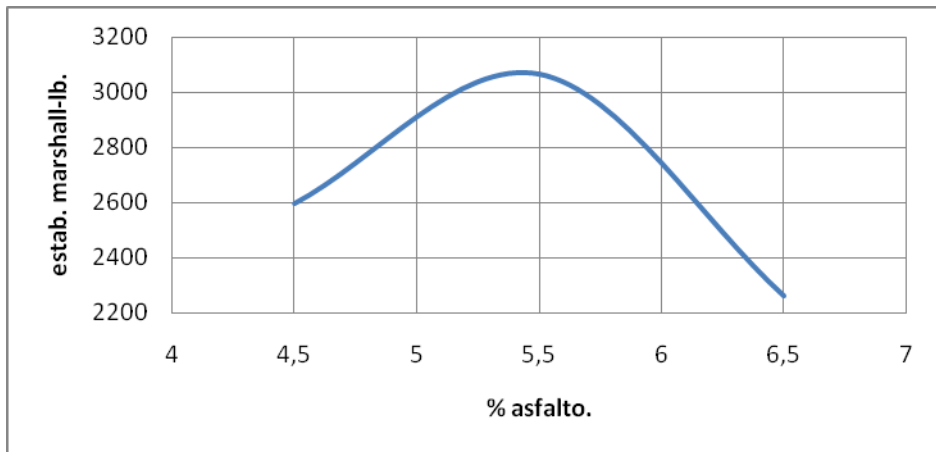
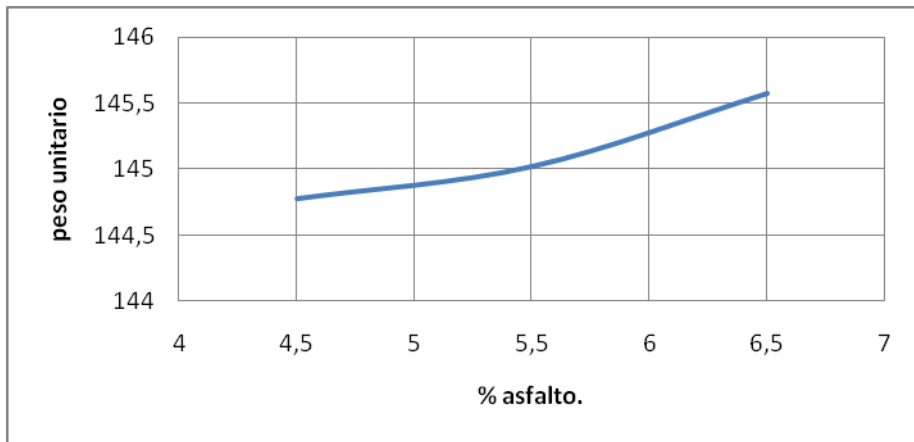


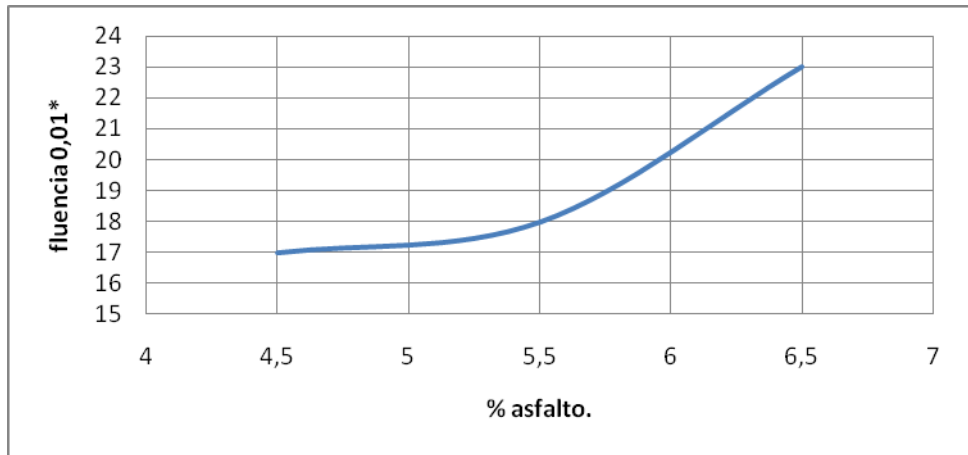
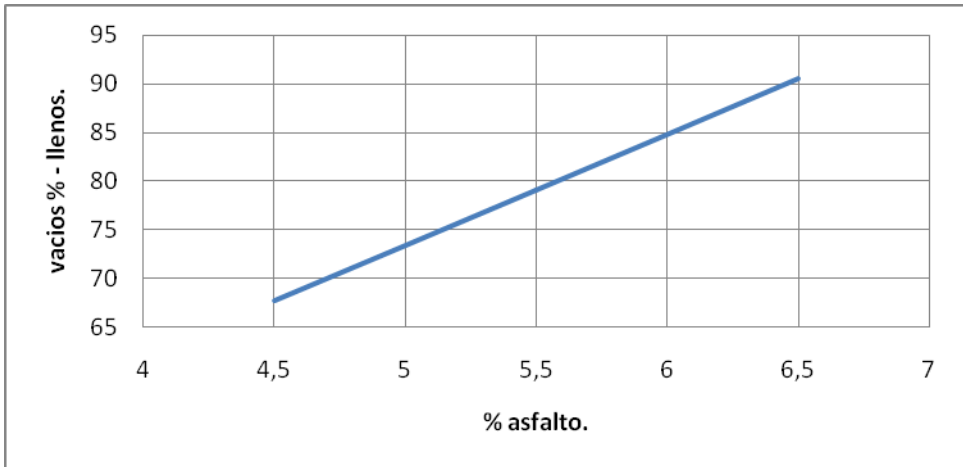


ANEXO 26 DISEÑO MEZCLAS ASFALTICAS METODO MARSHALL CON ADICION DE CENIZA DEL 5%



DISEÑO MEZCLA ASFALTICA METODO MARSHALL.																	
Golpes de Compactacion							75 por cara.		5% DE CENIZA.								
Peso especifico del asfalto							1										
Peso especifico bulk promedio de los agregados.							2,62										
Mezcla No.	% de asfalto	espesor pulgadas	pesos en gramos		volumen cc	peso especifico		volumen % total			vacios %			peso unitario lb/in ³	estabilidad		flujo 0,01*
			en aire	en agua		actual	teorico	asfalto	agregados	vacios	agregados	llenos	mezcla total		medida	corregida	
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r
					d-e	d/f		$\frac{b \times g}{Ps\ Asf}$	$\frac{(100-b)g}{Ps\ Ag}$	100-i-j	100-j	i/l	$\frac{100-100g}{h}$	62,4 x g	libras	libras	
1	4,5	2,36	1186,7	685	501,7	2,37									2509	2609	19
2	4,5	2,40	1183,9	674	509,9	2,32									2633	2633	18
3	4,5	2,36	1184,3	676	508,3	2,33									2674	2674	17
4	4,5	2,36	1183,8	673	510,8	2,32									2698	2698	17
5	4,5	2,48	1159,6	651	508,6	2,28									2438	2438	18
6	4,5	2,48	1188	673	515	2,31									2516	2516	15
	4,5					2,32	2,44	10,44	84,57	4,99	15,43	67,683	4,91	144,78		2595	17
1	5,5	2,40	1171	675	496	2,36									2770	2881	18
2	5,5	2,48	1173,3	670	503,3	2,33									2920	3037	17
3	5,5	2,36	1131,6	647	484,6	2,34									2839	3095	17
4	5,5	2,48	1166,2	655	511,2	2,28									2970	3089	16
5	5,5	2,36	1131,4	640	491,4	2,30									2870	3128	19
6	5,5	2,40	1169,1	668	501,1	2,33									3051	3173	20
	5,5					2,32	2,41	12,78	83,82	3,39	16,18	79,016	3,57	145,02		3067	18
1	6,5	2,36	1182,4	680	502,4	2,35									2148	2234	24
2	6,5	2,36	1180,8	675	505,8	2,33									2167	2254	24
3	6,5	2,36	1142,1	643	499,1	2,29									1974	2053	20
4	6,5	2,36	1120,3	627	493,3	2,27									2178	2374	22
5	6,5	2,36	1161,5	675	486,5	2,39									2046	2230	25
6	6,5	2,32	1155	666	489	2,36									2214	2413	22
	6,5					2,33	2,37	15,163	83,25	1,59	16,75	90,53	1,57	145,57		2260	23

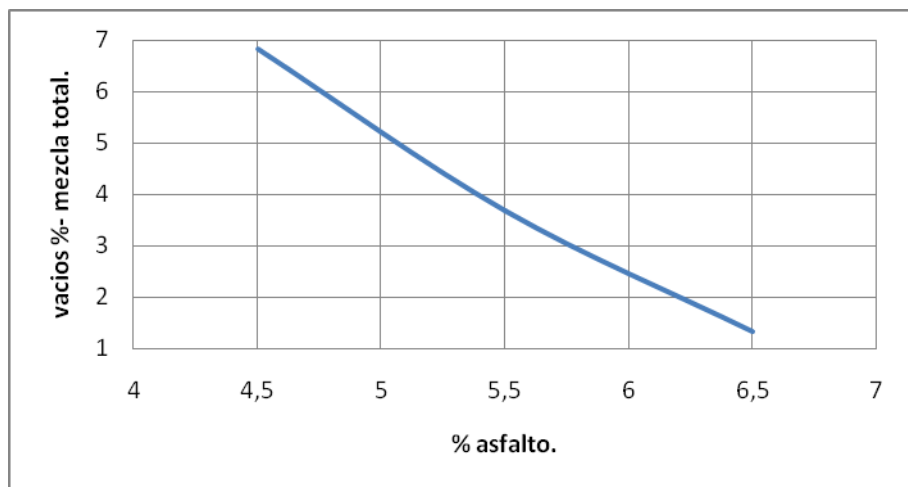
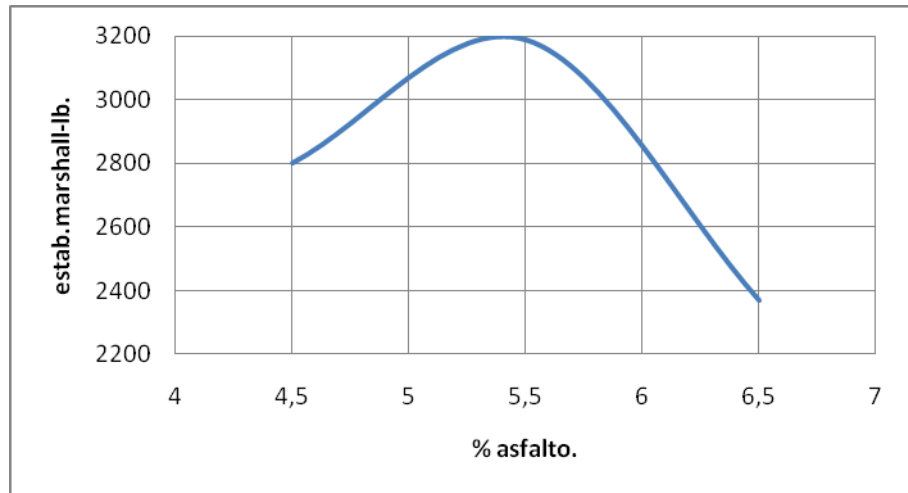
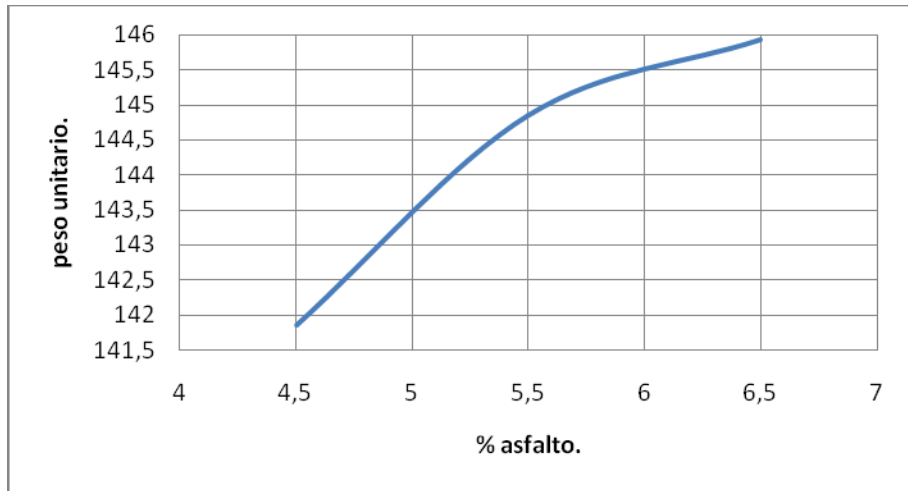


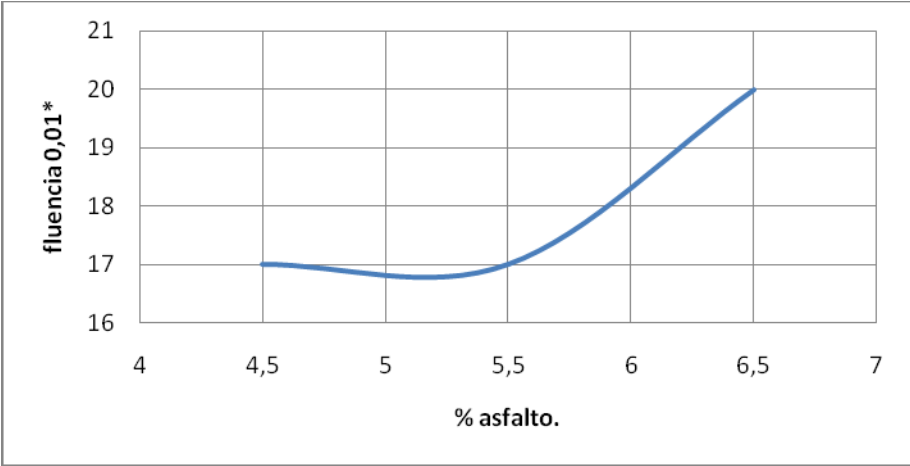
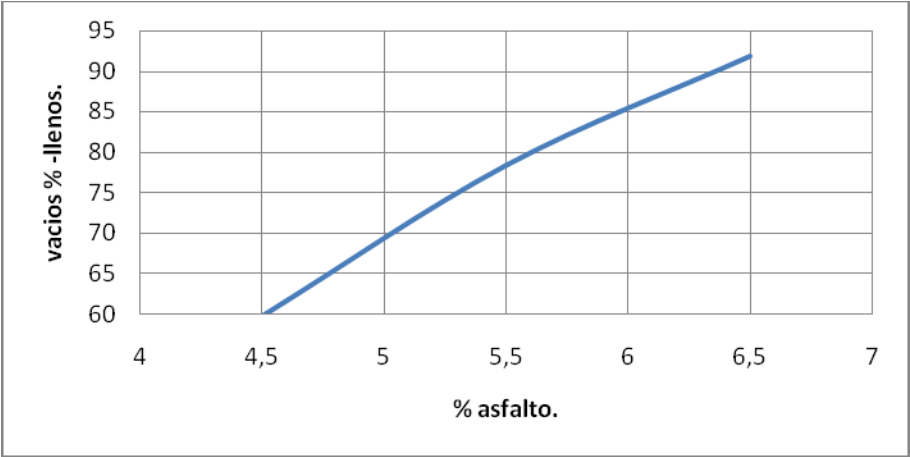


ANEXO 27 DISEÑO MEZCLAS ASFLATICAS METODO MARSHALL CON ADICION DE CENIZA DEL 10%



DISEÑO MEZCLA ASFALTICA METODO MARSHALL.																	
Golpes de Compactacion							75 por cara.		10% DE CENIZA.								
Peso especifico del asfalto							1										
Peso especifico bulk promedio de los agregados.							2,62										
Mezcla No.	% de asfalto	espesor pulgadas	pesos en gramos		volumen cc	peso especifico		volumen % total			vacios %			so unitario lb/in ³	estabilidad		flujo 0,01*
			en aire	en agua		actual	teorico	asfalto	agregados	vacios	agregados	llenos	mezcla total		medida	corregida	
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r
					d-e	d/f		$\frac{b \times g}{Ps\ Asf}$	$\frac{(100-b)g}{Ps\ Ag}$	100-i-j	100-j	i/l	$\frac{100-100g}{h}$	62,4 x g	libras	libras	
1	4,5	2,40	1157,8	651	506,8	2,28									2648	2754	18
2	4,5	2,44	1180	671	509	2,32									2707	2707	16
3	4,5	2,40	1155,5	639	516,5	2,24									2631	2631	19
4	4,5	2,52	1184	637	547	2,16									2889	2687	17
5	4,5	2,28	1071,7	615	456,7	2,35									2702	3215	16
6	4,5	2,40	1181	665	516	2,29									2815	2815	19
	4,5					2,27	2,44	10,23	82,86	6,91	17,14	59,70	6,83	141,85		2802	17
1	5,5	2,40	1191	675	516	2,31									3033	3033	19
2	5,5	2,40	1160	662	498	2,33									3014	3135	19
3	5,5	2,36	1190,8	677	513,8	2,32									3142	3142	15
4	5,5	2,28	1117,9	637	480,9	2,32									3145	3585	17
5	5,5	2,44	1168,4	662	506,4	2,31									2938	3056	18
6	5,5	2,36	1171,5	671	500,5	2,34									3050	3172	16
	5,5					2,32	2,41	12,77	83,73	3,51	16,27	78,45	3,68	144,85		3187	17
1	6,5	2,36	1172,6	662	510,6	2,30									2324	2324	23
2	6,5	2,44	1188,5	672	516,5	2,30									2360	2360	19
3	6,5	2,32	1152,5	666	486,5	2,37									2223	2423	18
4	6,5	2,36	1173,4	672	501,4	2,34									2340	2434	21
5	6,5	2,36	1170,8	678	492,8	2,38									2318	2527	20
6	6,5	2,36	1170	672	498	2,35									2221	2310	18
	6,5					2,34	2,37	15,201	83,46	1,34	16,54	91,91	1,32	145,93		2396	20

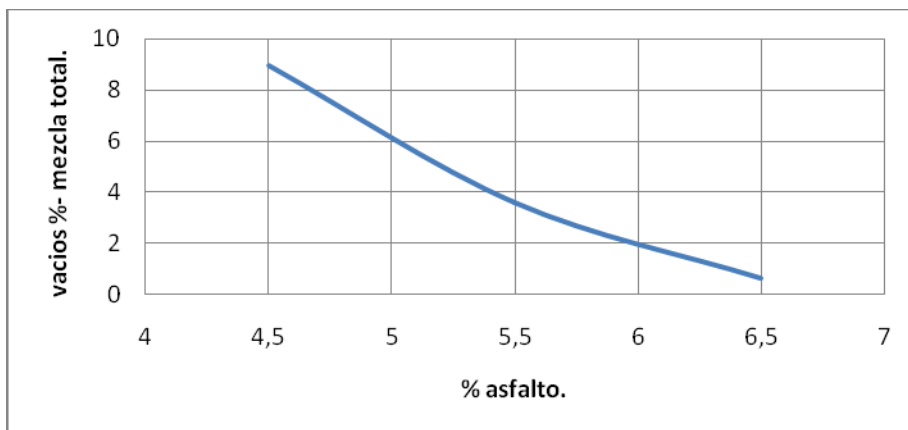
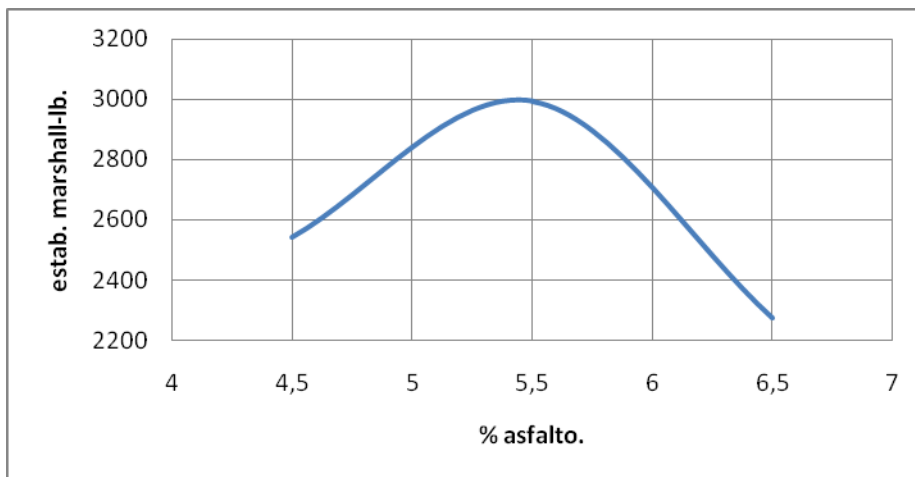
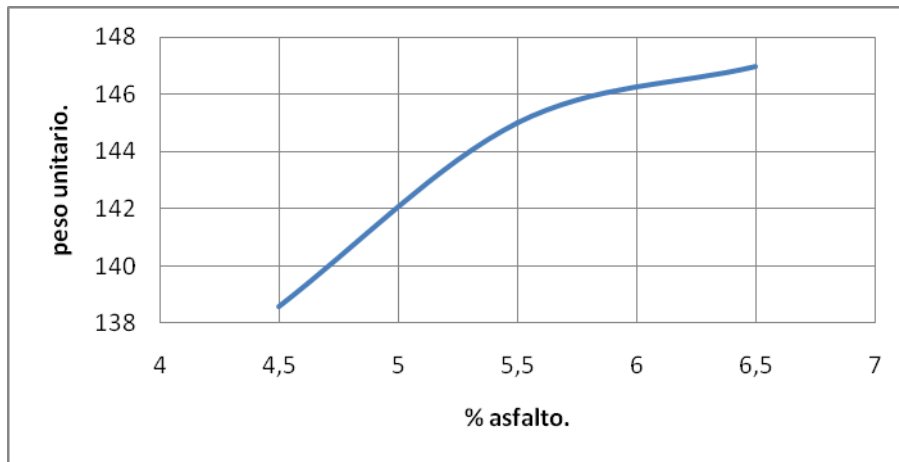


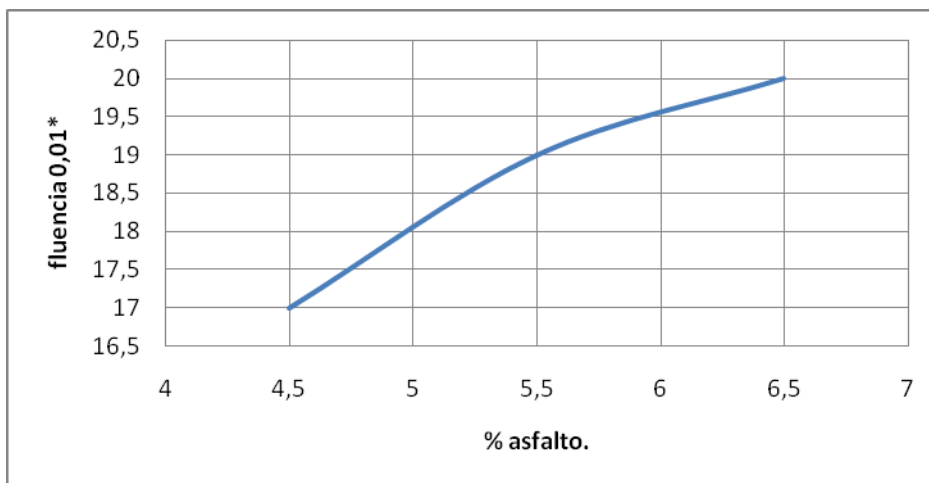
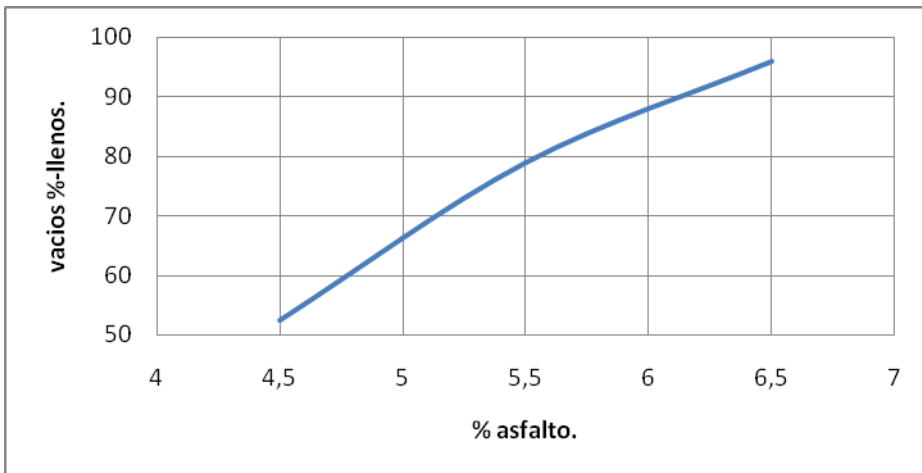


ANEXO 28 DISEÑO MEZCLAS ASFALTICAS METODO MARSHALL CON ADICION DE CENIZA DEL 15%



DISEÑO MEZCLA ASFALTICA METODO MARSHALL.																		
Golpes de Compactacion						75 por cara.			15% DE CENIZA.									
Peso especifico del asfalto						1												
Peso especifico bulk promedio de los agregados.						2,62												
Mezcla No.	% de asfalto	espesor pulgadas	pesos en gramos		volumen cc	peso especifico		volumen % total			vacios %			so unitas lb/in ³	estabilidad		flujo 0,01*	
			en aire	en agua		actual	teorico	asfalto	agregados	vacios	agregados	llenos	mezcla total		medida	corregida		
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	
					d-e	d/f		$\frac{b \times g}{Ps \text{ Asf}}$	$\frac{(100-b)g}{Ps \text{ Ag}}$	100-i-j	100-j	i/1	$\frac{100-100g}{h}$	62,4 x g	libras	libras		
1	4,5	2,36	1135,1	635	500,1	2,27									2753	2863	19	
2	4,5	2,52	1168,3	636	532,3	2,19									2479	2380	19	
3	4,5	2,44	1168,6	632	536,6	2,18									2609	2426	16	
4	4,5	2,48	1138,7	608	530,7	2,15									2493	2393	16	
5	4,5	2,44	1183,7	673	510,7	2,32									2711	2711	17	
6	4,5	2,40	1178,9	648	530,9	2,22									2591	2487	16	
	4,5					2,22	2,44	9,99	80,96	9,05	19,04	52,49	8,97	138,59		2543	17	
1	5,5	2,44	1194,6	680	514,6	2,32									2877	2877	18	
2	5,5	2,36	1158,6	662	496,6	2,33									2911	3027	20	
3	5,5	2,36	1186	674	512	2,32									2912	2912	19	
4	5,5	2,36	1188,2	670	518,2	2,29									3040	3040	16	
5	5,5	2,48	1172	668	504	2,33									3024	3145	19	
6	5,5	2,44	1170,9	673	497,9	2,35									2840	2954	22	
	5,5					2,32	2,41	12,78	83,81	3,42	16,19	78,91	3,59	144,99		2993	19	
1	6,5	2,36	1174,3	675	499,3	2,35									2078	2161	20	
2	6,5	2,36	1171,4	674	497,4	2,36									2144	2230	23	
3	6,5	2,36	1191,2	685	506,2	2,35									2180	2267	22	
4	6,5	2,36	1193,9	687	506,9	2,36									2120	2205	20	
5	6,5	2,32	1159,5	666	493,5	2,35									2280	2485	19	
6	6,5	2,40	1182,8	683	499,8	2,37									2220	2309	18	
	6,5					2,36	2,37	15,309	84,05	0,64	15,95	96,00	0,62	146,97		2276	20	





ANEXO 29 REGISTRO FOTOGRAFICO DEL TRABAJO REALIZADO.

Partículas con dos o más partículas fracturadas.



Partículas Aplanadas y Alargadas.



Controlando la temperatura del asfalto y la mezcla de agregados.



Preparando la Mezcla Asfáltica



Vertiendo la mezcla en el molde cilíndrico



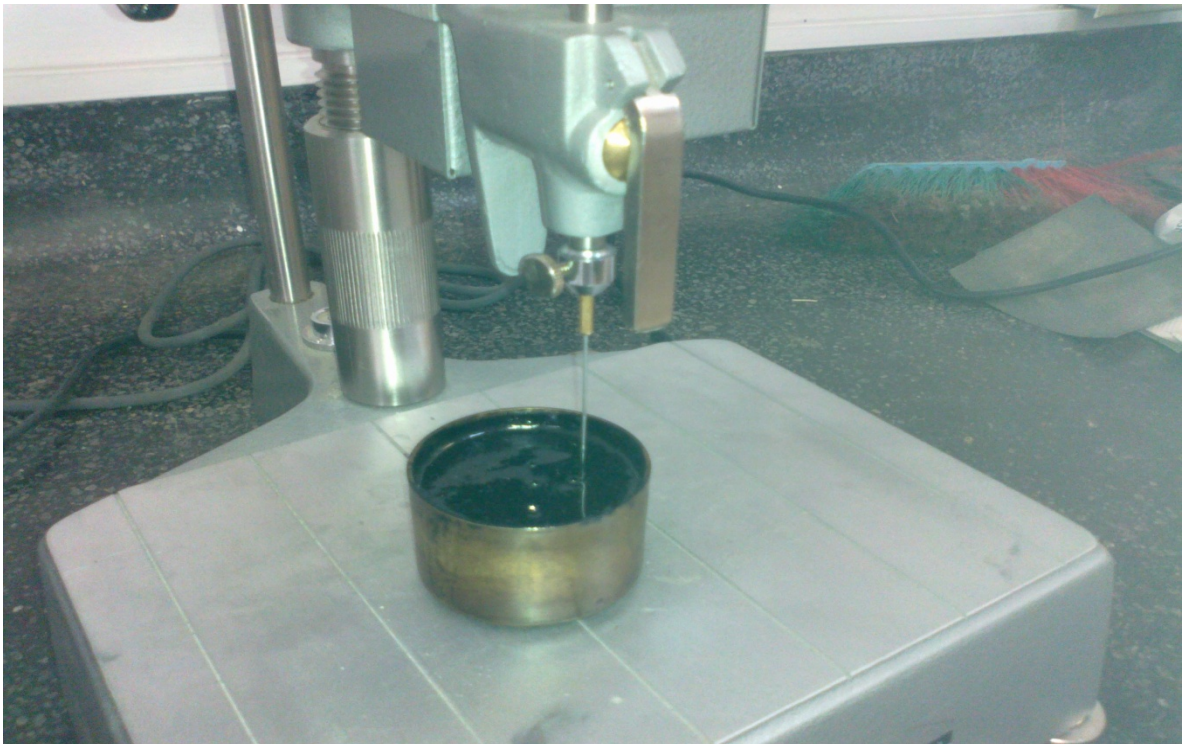
Vertiendo el asfalto con ceniza sobre la mezcla de agregados.



Briquetas Armadas



Ensayo de Penetración al Asfalto modificado con la ceniza



Tamizando el material



Acomodando las briquetas para el ensayo Marshall.

