

**APROVECHAMIENTO DE LIMADURA METALICA PARA EL DISEÑO DE
MEZCLAS ASFALTICAS**

VICTOR HERNANDO VIVAS MEJIA

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2011**

**APROVECHAMIENTO DE LIMADURA METALICA PARA EL DISEÑO DE
MEZCLAS ASFALTICAS**

VICTOR HERNANDO VIVAS MEJÍA

**TESIS DE GRADO COMO REQUISITO PARA
OBTENER EL TITULO DE INGENIERO CIVIL**

**DIRECTORA:
MARIA FERNANDA SERRANO GUZMÁN
PhD. INGENIERA CIVIL**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2011**

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Bucaramanga, febrero de 2011

DEDICATORIAS

Este libro va dedicado en primer lugar a Dios por hacer realidad una de las primeras metas que me he propuesto a alcanzar.

Es dedicado a mis padres, hermanas, hija y a mi novia; ya que fueron ellos quienes siempre me acompañaron y apoyaron incondicionalmente en los buenos y malos momentos durante mi ciclo de aprendizaje a la vida profesional.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme la sabiduría y el aprendizaje necesario para que se cumpliera este tan anhelado sueño. Por brindarme salud y no dejar que desfalleciera en los momentos mas difíciles de la carrera.

A mis padres Víctor y Miriam por su apoyo incondicional y sus sabios consejos; a mis hermana Martha y Massiel su comprensión.

A mi hija Ana Sofía que fue mi mayor motivación para poder lograr esta meta.

A mi novia Silvana por brindarme amor, paciencia, y comprensión durante largas noches de estudio.

A la Dra. María Fernanda Serrano Guzmán, por todo el tiempo brindado, por sus conocimientos y sincera colaboración en el transcurso de este trabajo.

A los docentes de ingeniería civil por los conocimientos adquiridos durante la carrera.

Al personal del laboratorio Heli Rueda y Vicente Páez por la orientación y colaboración para la realización de los trabajos que se realizaron en el laboratorio.

A la Universidad Pontificia Bolivariana por contribuir en mi formación profesional y personal.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. OBJETIVOS	17
1.1 OBJETIVO GENERAL	17
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.3 ALCANCE	17
1.4 JUSTIFICACIÓN	17
1.5 RELEVANCIA DEL ESTUDIO	18
1.6 ORGANIZACIÓN DE LA TESIS	18
2. MARCO TEORICO	19
2.1 MARCO CONCEPTUAL	19
2.1.1 Asfalto	19
2.1.2 Pavimento	19
2.1.3 Mezclas asfálticas	19
2.1.4 Mezclas MDC-1, MDC-2 Y MDC-3	19
2.1.5 Mezcla M1	20
2.1.6 Stone Matrix Asphalt (SMA	20
2.3. ASPECTOS TÉCNICOS QUE DEBEN CONSIDERARSE PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS	20
2.4 DISEÑO DE MEZCLAS POR EL MÉTODO MARSHALL.	21
2.5. ESTUDIOS PREVIOS REALIZADOS ALREDEDOR DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS.	22
2.6. MATERIALES APROVECHABLES PARA LA PREPARACION DE MEZCLAS ASFALTICAS	24
3. METODOLOGIA	26

4. RESULTADOS	35
4.1. CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO GRUESO	35
4.2. CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO FINO	36
4.3. CARACTERIZACIÓN DE LA LIMALLA	36
4.4. CARAS FRACTURADAS	37
4.5. CONTENIDO DE ASFALTO	38
4.6. DESGASTE EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES	38
4.7. MASAS UNITARIAS SUELTA Y COMPACTA	38
4.8. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO	39
4.9. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO	39
4.10. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LA LIMALLA	40
4.11. SANIDAD DE LOS AGREGADOS FRENTE A LA ACCIÓN DE SULFATO DE SODIO	40
4.12. EQUIVALENTE DE ARENA	42
4.13. ÍNDICE DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO	42
4.14. MASAS UNITARIAS, MEZCLAS DE AGREGADOS LIMALLA, AGREGADO FINO Y AGREGADO GRUESO	42
5. ANALISIS DE RESULTADOS	44
5.1. CARACTERIZACIÓN DE LA LIMALLA	44
5.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS	44
5.3 RESULTADOS DEL ENSAYO MARSHALL	45
6. CONCLUSIONES	50
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	52

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Organigrama del material granular	28
Figura 2 Curva granulométrica de los agregados gruesos utilizados	35
Figura 3 Curva granulométrica de los agregados finos utilizados	36
Figura 4 Curva granulométrica de la limalla	37
Figura 5. Porcentajes de vacios en los agregados	45
Figura 6. Peso unitario vs porcentaje asfalto	47
Figura 7. Estabilidad vs porcentaje asfalto	47
Figura 8. Porcentaje vacios en los agregados vs porcentaje asfalto	48
Figura 9. Flujo vs porcentaje asfalto	48
Figura 10. % Vacios en la mezcla vs porcentaje asfalto	49

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Ficha técnica de calidad de ensayos de laboratorio asfalto 60-70 realizados en ASFALTART LTDA.	26
Tabla 2 Distribución en porcentaje de la mezcla de agregados	32
Tabla 3 Matriz Experimental para selección de la mezcla de agregados a ser utilizada en el diseño	33
Tabla 4 Cantidad en gramos de material granular por briqueta con 5.5% de contenido de asfalto para mezcla densa en caliente (MDC-2)	33
Tabla 5 Porcentaje de agregados con caras fracturadas	37
Tabla 6 Contenido de asfalto	38
Tabla 7 Masas Unitarias Suelta y Compacta	39
Tabla 8 Peso específico y absorción del agregado fino	39
Tabla 9 Peso específico y absorción del agregado grueso	39
Tabla 10 Peso específico y absorción de la limalla	40
Tabla 11 Análisis cuantitativo agregado grueso	40
Tabla 12 Análisis cuantitativo agregado fino	41
Tabla 13 Análisis cualitativo agregado grueso	41
Tabla 14 Índice de aplanamiento y alargamiento	42
Tabla 15 Masas unitarias con adición de limalla	42
Tabla 16 Masas unitarias con adición de limalla	43
Tabla 17 Masas unitarias con adición de limalla	43
Tabla 18 Masas unitarias con adición de limalla	43
Tabla 19 Masas unitarias con adición de limalla	43
Tabla 24 Caracterización de los agregados pétreos	44
Tabla 20. Resumen del ensayo Marshall Mezcla convencional MDC-2	45
Tabla 21. Resumen del ensayo Marshall mezclas preparadas con el menor porcentaje de vacíos incluyendo la limalla.	46

Tabla 22. Resumen del ensayo Marshall mezclas preparadas con el menor porcentaje de vacíos +10% incluyendo la limalla.	46
Tabla 23. Resumen del ensayo Marshall mezclas preparadas con el menor porcentaje de vacíos +10% incluyendo la limalla.	46

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1 Análisis Granulométrico de los Agregados	54
Anexo 2 Desgaste de los Agregados de Tamaños Menores de 1 ½” en la Maquina de los Angeles	57
Anexo 3 Índice de Alargamiento y Aplanamiento de los Agregados	60
Anexo 4 Sanidad de los Agregados Frente a la Acción de las Soluciones de Sulfato de Sodio o de Magnesio.	63
Anexo 5 Equivalente de Arena	67
Anexo 6 Resultado de Ensayo de Masa Unitaria Seca y Compacta Compuesta de los Agregados Muscc	69
Anexo 7 Matriz experimental para el cálculo del menor porcentaje de vacíos	69
Anexo 8 Cantidad de material granular en gramos para mezclas densas en caliente con porcentaje de asfalto 4.5%, 5.5% Y 6.5%	70
Anexo 9 Resistencia de Mezclas Bituminosas Empleando el Aparato Marshall	72
Anexo 10 Determinación del Contenido de Asfalto en Mezcla de Pavimento por Medio de la Centrifuga	77
Anexo 11 Criterios para tener en cuenta en el diseño de mezcla asfáltica	78
Anexo 12 Registro Fotográfico del Trabajo Experimental Realizado	79
Anexo 13 Resultados Granulometría Agregado Grueso	87
Anexo 14 Resultados del Ensayo de Granulometría en Finos	89
Anexo 15 Resultados de ensayo granulometria limalla	92
Anexo 17 Resultados de contenido de asfalto	96
Anexo 18 Resultados desgaste en la maquina de los ángeles	97
Anexo 19 Resultados masas unitarias sueltas y compactas	98
Anexo 20 Resultado gravedad específico y absorción de agregado fino	99

Anexo 21 Resultado gravedad específico y absorción de agregado grueso	100
Anexo 22 Resultado gravedad específico y absorción de la limalla	101
Anexo 23 Resultados de sanidad de los agregados	102
Anexo 24 Resultado de índice de aplanamiento y alargamiento	103
Anexo 25 Masas Unitarias Mezcla de Atragados con Porcentaje de Limalla	104
Anexo 26 Diseño Mezclas Asfáltica Método Marshall sin Limalla	109
Anexo 27 Diseño Mezclas Asfáltica Método Marshall Punto de Inflexión	113
Anexo 27 Diseño Mezclas Asfáltica Método Marshall Punto de Inflexión – 10% Limalla	117
Anexo 28 Diseño Mezclas Asfáltica Método Marshall Punto de Inflexión + 10% Limalla	121
Anexo 29. Ficha Técnica De Calidad Asfaltart	125

RESUMEN

TITULO: APROVECHAMIENTO DE LIMADURA METALICA PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS.

AUTOR: Victor Hernando Vivas Mejia.

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

En el mundo la tecnología de los asfaltos modificados ha sido una técnica ampliamente utilizada para mejorar las características que presentan las mezclas asfálticas convencionales cuando experimentan niveles elevados de tránsito y gradientes de temperatura. Por lo general lo que se busca con este tipo de tecnología es mejorar algunas de las propiedades mecánicas y reológicas de los asfaltos convencionales tales como la susceptibilidad térmica, la rigidez, y la resistencia al envejecimiento, a las deformaciones plásticas y a la fatiga. El presente proyecto presenta los resultados experimentales de ensayar una mezcla asfáltica densa en caliente modificada con limalla. Para la realización del comportamiento de las mezclas asfálticas convencionales y modificadas se realizaron los siguientes ensayos: granulometría, densidad bulk, equivalente de arena, caras fracturadas, sanidad de los agregados, desgaste en máquina de los ángeles, índice de aplanamiento y alargamiento, pesos específico, Marshall y a los asfalto se le realizaron los ensayos siguientes penetración, punto de ablandamiento, y punto de inflamación y llama. A lo largo de este proyecto se trabajará con el método de Marshall para la creación y diseño de mezclas asfálticas.

En la actualidad el método Marshall es uno de los métodos mas utilizados en el diseño de mezclas asfálticas, en el cual se consideran las propiedades densidad/vacíos del material asfáltico. Este análisis garantiza que las proporciones volumétricas de los componentes de la mezcla estén dentro de rangos adecuados para asegurar una mezcla durable. Desafortunadamente una de sus grandes desventajas es el método de compactación de laboratorio por impacto el cual no simula la densificación de la mezcla que ocurre bajo tránsito en un pavimento real. El objetivo de este estudio era evaluar el comportamiento mecánico de mezclas asfálticas preparadas utilizando limalla como una proporción de los agregados, verificando para ello la estabilidad y el flujo de la mezcla luego de variaciones del porcentaje de asfalto en 4.5%, 5.5% y 6.5%.

Este estudio permitió afianzar el conocimiento alrededor de procedimientos de dosificaciones de material distinto a los agregados naturales, y permitió evidenciar que aunque la limalla añadida como una fracción de los agregados finos, aporta un 8.05% mayor estabilidad que la mezcla diseñada para una mezcla densa en caliente MDC-2, los valores de porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica tuvieron valores promedio del 40% frente al 18% de la mezcla tradicional de MDC2..

PALABRAS CLAVES: Asfalto, pavimento, mezcla asfáltica, limalla.

ABSTRACT

TITLE: USE OF METAL FILINGS FOR DESIGN OF ASPHALT MIXTURES

AUTHOR: Víctor Hernando Vivas Mejía

DIRECTOR: María Fernanda Serrano Guzmán Ph.D.

Modified asphalt has been a widely used technology to improve the characteristics that conventional asphalt mixtures have when is used in high levels of traffic and temperature gradients. Thus, the technique consists in an improvement of some the mechanical and rheological properties such as thermal sensitivity, stiffness, and resistance to aging, plastic deformation and fatigue.

This project presents the experimental results of testing dense hot mix asphalt (MDC-2, in Spanish) modified with swarf. In that way, tests as particle size, bulk density, sand equivalent, fractured faces, flattening and elongation index, specific gravities Marshall and asphalt content were done in a conventional mixtures and modified bituminous mixture. In addition, test as penetration, softening and flame point were done to the asphalt. All samples were tested by Marshall, which is one of the most used in the design of asphalt mixtures, where density/voids ratio of asphalt material is a relevant factor. This analysis demonstrates that the volumetric proportions of mixture components show acceptable levels to ensure a sustainable mix; unfortunately, the experimental work does not allow simulate the densification of the mixture that occurs in traffic in a real pavement.

The principal goal of this study was to evaluate the mechanical behavior of asphalt mixtures prepared using swarf as a proportion of aggregates, besides checking for stability and flow of the mixture after asphalt variations in percentage by 4.5%, 5.5% and 6.5% . This study allowed improving the knowledge about pavement design, and uses other materials as proportion of fine aggregates in asphalt mixtures. The results shown that the use of swarf as fine aggregate provide an 8.5% greater stability than a conventional mixture MDC-2; nevertheless, this study must be continued to reduce de percentage of voids in the final mixture, because it was 40% versus 18% of the traditional mix of MDC-2.

KEYWORDS: asphalt, paving, asphalt, swarf.

INTRODUCCIÓN

El uso de diseño de mezclas asfálticas tiene como objetivo lograr propiedades volumétricas adecuadas en la carpeta asfáltica, ya que de esto depende en gran medida el desempeño de la superficie de rodamiento en su vida de servicio. De ahí, la importancia de simular de manera adecuada en el laboratorio lo que ocurre en campo, bajo la acción vehicular y de esta forma llegar a mezclas que muestren un mejor comportamiento en condiciones específicas de tránsito y clima.

El diseño de una mezcla asfáltica consiste en seleccionar la calidad de los agregados y granulometría de la mezcla a emplear, así como el tipo y cantidad de asfalto de acuerdo al clima y a las cargas que estas presenten durante la vida útil del pavimento.

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. Una de las ventajas más importantes que brindan las mezclas asfálticas, reside en la gran variedad de espesores que se puede colocar y en los niveles de rigidez que pueden obtenerse, desde unos 1000 mpa hasta más de 10000 mpa a temperatura ambiente lo cual le permite adaptarse casi a cualquier situación estructural y ahora con el empleo de los asfaltos modificados también se pueden adaptar con facilidad a cualquier situación climática.

Entre las principales propiedades a considerar en el diseño para obtener una mezcla asfáltica de calidad figuran las siguientes. Estabilidad, durabilidad, impermeabilidad, trabajabilidad, flexibilidad, resistencia a la fatiga y resistencia al deslizamiento. (Montejo, 1998)

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Diseñar una mezcla asfáltica aprovechando como agregado fino la limadura metálica con el fin de obtener una mejor estabilidad.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterización mecánica de la limadura metálica.
- Caracterizar mecánicamente el material del agregado natural y artificial.
- Determinar la resistencia a la deformación plástica de mezclas bituminosas preparadas con el material granular sin adiciones de limalla y de mezclas bituminosas preparadas con el material granular con adiciones de limalla con el criterio del menor porcentaje de vacíos en los agregados.

1.3 ALCANCE

Para el desarrollo de este trabajo de grado se caracterizará la limadura metálica (limalla) mediante los ensayos de granulometría y peso específico. Se aplicará el criterio de la mezcla de agregados (naturales y limadura metálica) que provee el menor porcentaje de vacíos, para preparar 5 probetas para cada porcentaje de asfalto que se seleccione. La dosificación del asfalto se hará considerando 4.5%, 5.5% y 6.5% buscando determinar con ello el porcentaje óptimo a utilizar con el aparato Marshall. Con este proyecto se busca determinar la viabilidad para utilizar el diseño de mezclas asfálticas con limadura metálica esperando como resultado una mayor resistencia.

1.4 JUSTIFICACIÓN

La limadura metálica es un material de escombros obtenido del trabajo de maquinado de camisas para motores. No obstante la limadura metálica es considerada solo un residuo industrial si no también pueden servir para otros

propósitos. Este proyecto tiene su razón de ser por cuanto se está proporcionando una alternativa de disposición de la limalla que mitigue el impacto ambiental de la disposición de la misma. Este proyecto será de gran ayuda en el ámbito de la ingeniería civil ya que se incursiona en nuevos materiales aplicados en sistemas tradicionales de preparación de mezclas asfálticas, lo cual es útil para el sector vial. Se espera obtener mezclas más resistentes y más económicas.

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. La idea que se propuso es aprovechar el residuo sólido (limalla) en la producción del diseño de mezclas asfálticas, con el fin de brindar un campo de acciones a nuevos materiales recomendados para la construcción de obras civiles. La conclusión en base a los resultados obtenidos es que se pueden plantear nuevas alternativas en el uso de materiales residuales.

De este trabajo, se envió un resumen para el IV Simposio Iberoamericano de Residuos, el cual tendrá lugar en México en Septiembre de 2011. Se está en espera del resultado de la aprobación de este resumen.

1.6 ORGANIZACIÓN DE LA TESIS

El trabajo de tesis que se presenta a continuación se encuentra organizado de la siguiente manera: en el capítulo 1 se encuentra la introducción, justificación, alcance, objetivos y relevancia del estudio. Posteriormente en el capítulo 2 se presentan el marco teórico con algunos conceptos relevantes acerca de la metodología de los asfalto y los tipos de mezclas asfálticas y se citan algunos estudios previos realizados alrededor del diseño de mezclas asfálticas, en el capítulo 3 se describe la metodología seguida en el presente estudio.

El capítulo 4 incluye los resultados obtenidos mediante el estudio. En el capítulo 5 se expone un análisis de resultados a la luz de estudios previos. Seguidamente se realiza la presentación de las conclusiones y se finaliza con las referencias bibliográficas obtenidas mediante la ejecución del estudio realizado. La sección de anexo incluye un estudio fotográfico acerca de los puntos más relevantes del estudio realizado, por otra parte incluye procedimientos realizados a los ensayos y por último termina con la sección de tablas y gráficas.

2. MARCO TEORICO

Para abordar el tema de diseño de mezclas asfálticas utilizando agregados no convencionales, es necesario presentar conceptos técnicos relacionados al respecto. Es así, como en el presente marco teórico se incluirán definiciones relacionadas con pavimentación, estudios previos realizados utilizando el método Marshall para verificación de la calidad de las mezclas y definiciones acerca de los residuos industriales que se propone utilizar.

2.1 MARCO CONCEPTUAL

2.1.1 Asfalto: Es una mezcla química de naturaleza compleja, formada por hidrocarburos asfálticos y aromáticos pesados, adicionalmente puede contener otros compuestos orgánicos y metales. Se obtiene de la destilación del petróleo o directamente del subsuelo (Romero y Gómez, 2002)

2.1.2 Pavimento: Constituida por uno o más materiales que se colocan sobre el terreno natural o nivelado, para aumentar su resistencia y servir para la circulación de personas o vehículos. Entre los materiales utilizados en la pavimentación urbana, industrial o vial están los suelos con mayor capacidad de soporte, los materiales rocosos, el hormigón y las mezclas asfálticas. (Montejo 2006).

2.1.3 Mezclas asfálticas: las mezclas asfálticas la 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 resistentes al desgaste producidos por lo vehículos y a su vez pueda traspasar la sollicitación del peso de ellos hacia las capas inferiores. (Montejo 1998).

2.1.4 Mezclas MDC-1, MDC-2 Y MDC-3: las mezclas MDC-1, MDC-2 y MDC-3 son mezclas densas en caliente; también son llamadas concreto asfáltico y están definidas como la combinación uniformemente dosificada de agregado y cemento asfáltico, mezclado a una temperatura previamente determinada, que garantiza una mejor adherencia entre ellos (Serrano, 2006):

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

- **MDC-2:** Las mezclas densas en caliente tipo MDC-2 se utilizan como capa de rodadura con espesores entre 40 y 60 mm y mayores a 60mm.
- **MDC-3:** Las mezclas densa en caliente tipo MDC-3 se utilizan como capa de rodadura con espesores entre 30 Y 40 mm

2.1.5 Mezcla M1: Esta mezcla hace parte de los llamados microaglomerados discontinuos en caliente, basados en el uso de cementos asfálticos modificados (aunque pueden usarse los convencionales) y la adición, en algunos casos, de fibras poliméricas, celulósicas o de fibra de vidrio, emplean cementos asfálticos de alta calidad con tamaño máximo de 12 mm (Serrano, 2006).

2.1.6 Stone Matrix Asphalt (SMA): En los últimos 20 años se ha incrementado el uso de la matriz de asfalto de piedra tanto en Europa como en los Estados Unidos de América. Su uso obedece al alto desempeño en alto tráfico. Sin embargo, se conoce que en Alemania su uso surge para ofrecer un buen agarre a las llantas del vehículo en circulación (Sharma y Goyal, 2006). La SMA ha demostrado alta resistencia a la deformación plástica en equipos de un número de ejes equivalente alto y en zonas en donde el asfalto se somete a temperaturas extremas (altas y bajas). Según investigadores citados por Sharma y Goyal (2006) la capacidad antideslizante del SMA se debe a la presencia de piedra sobre piedra en el esqueleto de la mezcla y que la mezcla cuenta con una alta cantidad de ligante, (Serrano, 2006).

2.3. ASPECTOS TÉCNICOS QUE DEBEN CONSIDERARSE PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Existen diferentes aspectos técnicos que afectan el nivel de operación de una mezcla asfáltica y que deberían ser contemplados. (Rondón y Reyes, 2008) señalan algunos de estos criterios

- El espesor de la película de asfalto alrededor del árido, tiene una influencia determinante en la estabilidad y durabilidad.
- Mientras más delgada es dicha película, menor será la estabilidad. A medida que esta película se engruesa el asfalto tiende a cohesionar el árido, pasando por un óptimo y luego hace un efecto lubricador.
- La cohesión entre pétreos, varía con el tiempo al perder el asfalto su poder ligante y flexibilidad al oxidarse.

- El aporte del material pétreo a la estabilidad, lo efectúa a través de su fricción interna y esta a su vez, es función del tamaño del árido y de la rugosidad de sus caras.
- La falta de estabilidad proporcionada por los áridos, puede ser suplida en parte, usando un asfalto de menor penetración
- En el diseño además debe considerarse las características de impermeabilidad y trabajabilidad.
- El diseño debe encontrar el mejor balance entre estabilidad y durabilidad. El objetivo de este balance es de obtener la mezcla más económica.

2.4 DISEÑO DE MEZCLAS POR EL MÉTODO MARSHALL.

El método Marshall es el más utilizado para evaluar el comportamiento de mezclas asfálticas modificadas (Rondón y otros, 2007). El método Marshall es aplicable solo a mezclas en caliente con cementos asfálticos que contenga agregados con tamaño máximo igual o inferior a 25 mm. El método puede usarse tanto para el diseño en el laboratorio como en el control del terreno (NTC-748).

Previo a las ejecuciones del método se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

Los materiales a usar deben cumplir con las especificaciones del proyecto.

La mezcla de agregados debe cumplir con las especificaciones granulométricas del proyecto.

Se debe determinar las densidades reales secas los agregados y las del asfalto para ser usados en el análisis de huecos de mezcla.

El método utiliza probetas normalizadas de $2^{1/2}$ "de altura por 4" de diámetro. Estas se preparan de acuerdo a un procedimiento específico de calentamiento, mezclado y compactado. Las dos características principales del método de diseño son el análisis de densidad-huecos y el ensaño de fluencia y estabilidad de las probetas.

La estabilidad de las probeta de ensayo la carga máxima en newton que esta alcanza a 60 grados centígrados y la fluencia será la deformación, en decimas de milímetro, que ocurre desde el instante que se aplica la carga hasta lograr la carga máxima. (NTC- 748).

2.5. ESTUDIOS PREVIOS REALIZADOS ALREDEDOR DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS.

En el mundo, la tecnología de los asfaltos modificados ha sido una técnica empleada buscando superar el comportamiento normal de las mezclas asfálticas especialmente en regiones donde hay niveles elevados de tránsito y de gradientes de temperatura. Los estudios realizados sobre el tema de diseño de mezclas asfálticas varían por cuanto algunos se centran en adiciones al cemento asfáltico y otros en los agregados; pero en general, estos estudios pretenden determinar si las modificaciones realizadas a la mezcla convencional representan mejoras en la calidad de la misma. Entre 1979 y el 2005, se realizaron en Colombia un total de 40 investigaciones alrededor del tema de mezclas asfálticas (Rondón y otros, 2007). Para el caso de Colombia, Rondón y otros (2007) encontraron que los desarrollos investigativos en el área de los asfaltos y las mezclas asfálticas modificadas son extensos en comparación con la cantidad de estructuras de pavimentos flexibles construidas con esta tecnología.

Algunos de los estudios relevantes fueron:

Camacho M. Faustino, (1998) después de un análisis basado en la influencia de los componentes de una mezcla asfáltica con respecto a una resistencia a tensión. Se logro concluir que al modificar la angulosidad de las arenas cuando provienen de una misma fuente (rio). La resistencia a la tensión es mayor para la arena angulosa de rio ya que las partículas angulares tienden a correrse y trabarse apretadamente resultando una mezcla asfáltica compacta.

Cárdenas y Ayala (2001) estudiaron un método de evaluación acerca del comportamiento de una mezcla asfáltica al ser elaborada por tres métodos diferentes, de este estudio se logro determinar que debido a la naturaleza del material y al tipo de pruebas realizadas, los resultados aunque diferentes entre si, son muy cercanos, lo que se podría determinar como un empate técnico; es decir; que la calidad de una mezcla producida por cada método es muy similar y no se pueden establecer ventajas de un tipo de planta sobre otro en cuanto al proceso de mezclado se refiere.

Arenas y Serrano (2006) abordaron un estudio relacionado con la comparación de las propiedades de deformación en las mezclas MDC2, MDC-3, M1 Y Stone matrix Asphalt. De este estudio se encontró que la mezcla Stone Matrix Asphalt (SMA) presenta la menor deformación entre las demás mezclas estudiadas, al ser sometidas a diferentes condiciones de carga, a altas y bajas temperaturas. Por otro lado esta mezcla es la que presenta la mayor estabilidad analizada en el estudio, lo que la hace indicada para su empleo en vías sometidas a condiciones exigentes de carga.

En cuanto a la mezcla MDC2, Peña (2007) realizó un estudio en el cual comparó las mezclas MDC2 con asfalto original con otras preparadas con polímeros por los métodos Marshall y Superpave, en un proyecto desarrollado con Corasfaltos. De este estudio, se encontró que el método superpave arroja porcentajes óptimos de asfalto a las mezclas menores a las que se obtienen por el método de diseño Marshall y por el tipo de compactación por el amasado que emplea el método superpave. En cuanto a que método resulta mejor esto depende del tipo del proyecto y lo se espere de el mismo; por ejemplo el método Marshall utiliza equipos más versátiles que permiten llevar a cabo control de calidad en obra.

En cuanto a adiciones al ligante, Rondón y otros (2008) llevaron a cabo una investigación relacionada con los efectos de la adición de poli cloruro de vinilo (PVC) en el material ligante. Los resultados demostraron que la mezcla asfáltica modificada con PVC de desecho presentó mayor resistencia mecánica bajo carga, rigidez y resistencia a la deformación permanente que la convencional cuando la modificación se realiza por vía húmeda. En comparación con las mezclas convencionales, por vía seca, las mezclas modificadas reportaron de manera general:

- Menor resistencia mecánica bajo carga monotónica (evaluada por medio de la rigidez Marshall).
- Menor módulo dinámico cuando la temperatura del ensayo es de 10°C.
- Ligeramente mayor módulo dinámico cuando el ensayo se realiza a 20°C y 30°C.
- Mayor resistencia a la deformación permanente.

2.6. MATERIALES APROVECHABLES PARA LA PREPARACION DE MEZCLAS ASFALTICAS

Rondón y otros (2007) encontraron que entre 1979 y el 2005, en Colombia se hicieron investigaciones para evaluar modificaciones de las mezclas asfálticas con distintos materiales. De este estudio, se conoció que:

- Cuando se adiciona caucho reciclado se presenta en las mezclas asfálticas una reducción en la estabilidad y un aumento del flujo y de los vacíos de la mezcla.
- Cuando se reemplaza el llenante mineral de mezclas asfálticas por finocemento se produce un aumento en la resistencia a la deformación permanente.
- Cuando se modifican las mezclas drenantes con adición de desperdicio plástico (trozos de bolsa de leche) se produce una disminución del 30% de la deformación permanente con respecto a la mezcla original
- Cuando se adicionan fibras a la mezcla asfáltica se reduce la deformación permanente aproximadamente entre un 15 y 25%.

Se observa entonces, que en la mayoría de proyectos de investigación se plantea el uso de materiales adicionales, diferentes al ligante y a los agregados naturales, dando origen con ello a la posibilidad de aprovechamiento de residuos. Se hace necesario, entonces, el hacer una breve descripción de los tipos de residuos disponibles en el medio.

Reciclables o recuperables: Son aquellos que si son seleccionados o rescatados de la basura pueden venderse a diferentes industrias, las que, mediante tratamientos diversos (Bautista y Parra, 2010).

No recuperable nocivos: comprenden los desperdicios provenientes de hospitales, casas de cuna, sanatorios, etc.

No recuperables inertes: Son aquellos que pueden servir como material de relleno: tierra, piedras, cascajo, etc.

Transformables: Son aquellos susceptibles de ser transformados en productos inocuos y aprovechables.

Residuos Industriales: Los residuos industriales son los materiales procedentes de los procesos industriales, que han sido utilizados en la fabricación de productos y que ya no tienen, en la mayoría de los casos, valor económico (Bautista y Parra, 2010). Los residuos industriales se clasifican en:

- Residuos gaseosos (contaminantes atmosféricos)
- Residuos líquidos (aguas residuales)
- Residuos sólidos (industriales)

La limadura metálica es un tipo de residuo industrial sólido e inerte que ha sido utilizado en la preparación de mezclas de concreto (Bautista y Parra, 2010).

3. METODOLOGIA

El tipo de mezcla asfáltica seleccionada fue mezcla densa en caliente MDC-2 y como criterio de diseño se consideró tránsito pesado (NT3). Según las especificaciones de diseño, este tipo de mezcla es apropiada para capa de rodadura con espesores entre 40 y 60 mm y mayores de 60 mm.

Los materiales utilizados en este trabajo están representados por el cemento asfáltico y por el agregado. El cemento asfáltico fue adquirido en la empresa Asfaltart localizada en el kilómetro 5 anillo vial sentido Girón - Floridablanca, 100 metros delante de la hacienda de Vanguardia Liberal, quienes suministraron la Tabla 1 que contiene las propiedades del asfalto 60-70 objeto de estudio.

Tabla 1 Ficha técnica de calidad de ensayos de laboratorio asfalto 60-70 realizados en ASFALTART LTDA.

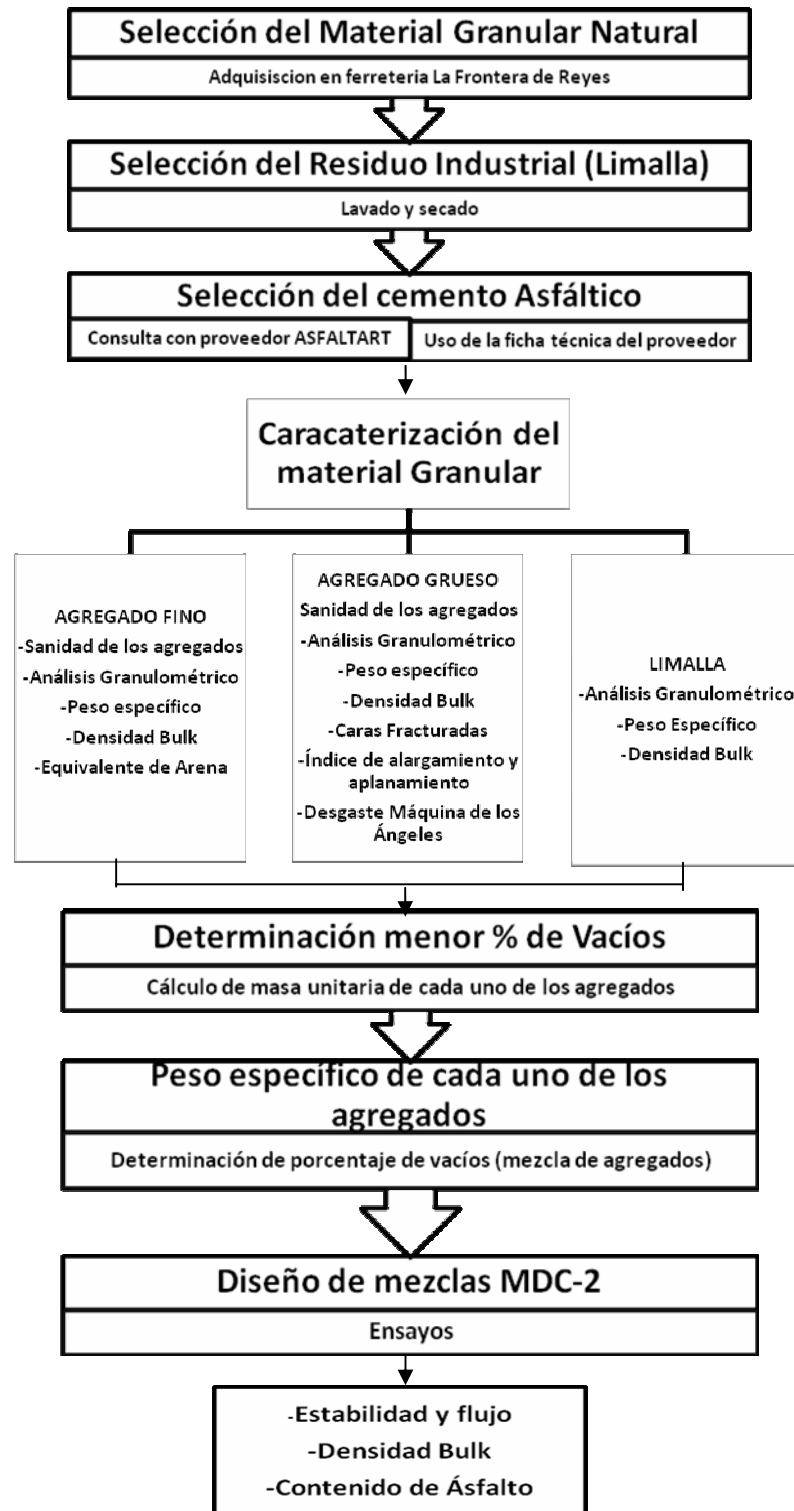
ENSAYO	NORMA	VALOR REPORTADO		REFERENCIA	
		°F	°C	°F	°C
Punto de ablandamiento	ASTM D 36	121	50	107-131	42-55
Punto de inflamación	ASTM D 92	518	270	Min 450	Min 232
Penetración a 25°C, 100g y 5 s (0.1mm) al asfalto original.	ASTM D 5	70		60-70 mm/10	
% pérdida de masa RTFOT	ASTM D 2872	0.7925		< 1%	
Solubilidad en tricloroetileno (%peso)	ASTM D 2042	99.35		Min 99.0	
Contenido de agua (% volumen)	ASTM D 95	0.12		Max 0.2	
Ductilidad a 25°C	ASTM D 113	>130		Min 100	
Penetración a 25°C, 100g y 5 s (0.1mm) al asfalto envejecido TFOT	ASTM D 5	36.0			
Penetración residual (%)	ASTM D 5	57.1%		Min 52	
Viscosidad dinámica a 60°C	ASTM D 4402	1965		Min 1500	
Temperatura de mezcla (°C)	ASTM D 1559	142°C - 147°C			
Temperatura de compactación (°C)	ASTM D 1559	132°C - 135°C			
Índice de penetración	I.N.V. E-724	-0.72		-1 hasta +1	

Tomado de la ficha técnica de control de calidad de la empresa ASFALTART, fecha. (09-11-2010), **ANEXO 29** se encuentra la ficha técnica original de asfaltar

La Figura 1. Resume la metodología seguida en el estudio. El agregado utilizado fue proveniente de la cantera de pescadero. Adicionalmente a los agregados naturales, se utilizó la limalla, que es un residuo industrial. La limalla fue tomada de la industria LAVCO localizada en el Km 4 Autopista Floridablanca –

Piedecuesta. La empresa LAVCO hace parte de la industria metalmecánica del Departamento de Santander y su Gerente la Dra. Olga Vesga, está muy comprometida con la preservación y la conservación del ambiente, por lo cual ha puesto a disposición de la Universidad Pontificia Bolivariana, y especialmente de la Facultad de Ingeniería Civil, la limalla proveniente de esta industria productora de camisas para motores; la limalla pertenece al grupo de residuos inorgánicos reciclables y se puede encontrar con diferente forma y tamaño dependiendo del tipo proceso productivo que haya seguido (Parra y Bautista, 2010). La metodología seguida en cada uno de los ensayos se resume a continuación:

Figura 1 Organigrama del material granular



En cuanto a los agregados naturales, y en algunos casos la limalla, fueron sometidos a las especificaciones del Instituto Nacional de Vías (INVIAS, 2007): 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 1 ½" por medio de la máquina de los ángeles (INV. E-218), equivalente de arena (INV. E -136), índice de alargamiento y aplanamiento (INV. E-230), sanidad a la acción de sulfato de sodio o de magnesio (INV. E-220), caras fracturadas (INV.E-227), densidad bulk (INV. E-217).

Para la valoración de la resistencia de las mezclas bituminosas empleando el método de diseño Marshall se siguió la INV. E-748. Por último, la determinación del contenido de asfalto en la mezcla se siguió el método de la centrífuga descrito en la INV. E-703.

1) Caracterización mecánica del material granular y de la limadura metálica

Granulometría: El estudio granulométrico se realiza con el objetivo de determinar la distribución de partículas del material. La norma que rige el ensayo de granulometría es la Norma Técnica Colombiana (NTC) 213. En términos generales, el procedimiento seguido fue (**Anexo 1** Procedimiento para el estudio granulométrico):

Se toma el material granular, el cual se dispone sobre una bandeja con el fin de realizar el cuarteo el mismo y seleccionar así la muestra a estudiar. Del cuarto, se seleccionan 2/4 partes para realizar éste ensayo. Posteriormente, se lleva el material al horno durante 24 horas a una temperatura de 110°C. Pasadas las 24 horas se lava el material cuidadosamente pasándolo por el tamiz No 200 para no perder material y se deja escurrir para eliminar el exceso de agua y posteriormente llevar el material retenido en el tamiz al horno nuevamente por 24 horas. Una vez teniendo el material totalmente lavado y secado, se pesa y se lleva a la serie de tamices requeridos (según la Norma Técnica Colombiana NTC 32) colocando los tamices en orden descendente (de mayor a menor abertura). Luego se realiza el proceso de tamizado pasando el material por cada uno de los tamices y pesando el material retenido en cada uno de ellos. Terminado el proceso de tamizado se realiza la curva granulométrica y el análisis correspondiente a la misma. Este ensayo se realizaron tanto al material granular natural como a la limadura metálica.

Resistencia al desgaste de los agregados gruesos por medio de la máquina de los ángeles. Este método se emplea para determinar la resistencia al desgaste de los agregados naturales o triturados empleando la citada máquina con una carga abrasiva formada por un número de esferas determinado por el tipo de granulometría del agregado con un diámetro aproximado de 47 mm (1 27/32") y con una masa entre 390 y 445g cada una. La norma utilizada para la realización de este ensayo es la (I.N.V E – 218). (**Anexo 2** Procedimiento para la realización del ensayo de desgaste en la máquina de los ángeles.)

Índice de Alargamiento y aplanamiento: Este método se utiliza para determinar los índices de alargamiento y aplanamiento de los agregados que se van a utilizar en la construcción de diseños de carreteras y busca determinar la forma adecuada de las partículas con las especificaciones de uso. Este estudio se realizó teniendo en cuenta la norma (I.N.V E – 230) (**Anexo 3** Procedimiento para realizar el índice de alargamiento y aplanamiento)

Sanidad de los agregados frente a la acción de las soluciones de Sulfato de Sodio: Este ensayo se realizó siguiendo la norma (I.N.V.E-220-07), la cual describe el procedimiento a seguir para determinar la resistencia a la desintegración de los agregados por la acción de soluciones saturadas de sulfato de sodio (**Anexo 4** Procedimiento de sanidad de los agregados).

Equivalente de arena: Este ensayo se rige según la norma (I.N.V E 133). La cual especifica precisar la proporción relativa del contenido de polvo nocivo o material arcilloso, en los suelos finos. Este método consiste en tener un cierto volumen de agregado fino al cual se le adiciona una cierta cantidad de solución floculante, mezclándolos en una probeta de plástico graduado y agitándolos durante un tiempo de 30 segundos en el cual se deben cumplir 90 ciclos con el fin de que las partículas de arena pierdan la cobertura arcillosa (**Anexo 5** Procedimientos para realizar el ensayo)

Peso específico y absorción de los agregados: La gravedad específica es el cociente entre la masa de un volumen unitario de material a una temperatura específica y la masa del mismo volumen de agua destilada libre de gas a esa temperatura. Dado que las partículas de agregado contienen poros, el volumen de partículas sigue siendo una función del método de medición de volumen. El peso de las partículas de agregado, por el contrario, depende del nivel de humedad. Como resultado, las lecturas de peso específico deben estar asociadas con el nivel de humedad o la medición de humedad.

Como no hay una norma que establezca este ensayo para la limalla, pero el material a utilizar es de tamaño menor que 3/8" se realiza el mismo procedimiento que se utiliza para el peso específico de agregado finos el cual consiste en tomar 500 ± 10 gr de limalla y superficialmente seco seguidamente se le añade agua al picnómetro hasta aproximadamente un 90% de su capacidad. Luego se ingresa el material al picnómetro. Para eliminar el aire atrapado manualmente se rueda el picnómetro sobre una superficie plana, e incluso agitándolo o invirtiéndolo si es preciso o mecánicamente se agita para eliminar todas las burbujas de de aire.

Densidad bulk (peso unitario) y porcentaje de vacíos de los agregados compactados o sueltos: Este ensayo es aplicable a los materiales que sean de tamaño máximo nominal menor o igual a 125mm (5"). La densidad bulk es usada para determinar la relación entre masa/volumen para conversiones en acuerdos de compra. Sin embargo, la relación entre el grado de compactación de los agregados en una unidad de transporte o en una pila de acopio se desconoce. Además, los agregados en las unidades transportadoras y en las pilas de acopio generalmente contienen humedad absorbida o de superficie (esta última afecta el abultamiento), en cambio este método de prueba determina la densidad bulk basada en condiciones en seco. (I.N.V E – 217-07).

2) Determinación del menor porcentaje de vacíos de los agregados

Se determina la masa unitaria seca y compacta de diferentes proporciones de agregado y la limalla según la mezcla en proporciones de cada uno de estos agregados. Posteriormente, se toma el valor del peso específico de cada agregado, y según el porcentaje de mezcla, se procede a determinar el porcentaje de vacíos. Para el caso de los agregados utilizados, el porcentaje de vacíos se calculó como se muestra en el siguiente ejemplo:

- a) Se parte de masa final de agregados de 14.000 gramos, la cual se compondrá así:

Agregado grueso 70%, es decir 9800 gr.
Agregado fino 20%, es decir 2800 gr,
Limalla 10%, es decir 1400 gr.

- b) Estos agregados se mezclan y se acomodan en el molde de Masa Unitaria, y se lleva a cabo el ensayo de Masa Unitaria Seca y Compacta de la mezcla de agregados. Para este caso, la masa unitaria seca y compacta de la mezcla

compuesta MUSCc es 2.01 g/cm^3 (Ver Anexo 6 Resultados de Masa Unitaria de las Mezclas de los agregados).

- c) Se procede a calcular el peso específico aparente de la mezcla de agregados. Para ello se utiliza, nuevamente, la proporción de agregados descrita en el literal a y el correspondiente valor del peso específico de los agregados. Para este caso, el peso específico compuesto PEC de la mezcla de agregados fue:
- Agregado grueso 2.63 g/cm^3 (70%)
Agregado fino 2.69 g/cm^3 (20%)
Limalla 6.45 g/cm^3 (10%)

$$\text{PEC: } 0.7 * 2.63 \text{ g/cm}^3 + 0.2 * 2.69 \text{ g/cm}^3 + 0.1 * 6.45 \text{ g/cm}^3 = 3.024 \text{ g/cm}^3$$

(Ver Anexo 7 Matriz experimental para el cálculo del menor porcentaje de vacíos)

- d) Conocidos PEC y MUSCs, se calcula el porcentaje de vacíos:

$$\text{Porcentaje de Vacíos} = (3.024 - 2.01) / 3.024 * 100 = 33.5\%$$

- e) Se procede a elaborar la curva de menor porcentaje de vacíos vs mezcla de agregados.

En este estudio las mezclas de agregados utilizadas fueron (Tabla 2):

Tabla 2 Distribución en porcentaje de la mezcla de agregados

Agregados	1	2	3	4	5
Agregado Fino %	10	20	30	40	50
Agregado Grueso %	80	70	60	50	40
Limalla %	10	10	10	10	10

De acuerdo a lo anterior, por ejemplo, la mezcla 1 se compone de una mezcla del 10% de agregado fino, 80% de agregado grueso y 10% Limalla.

Una vez se determine el punto de inflexión (PI) de esta mezcla de agregados (natural e industrial), se procede a seleccionar la proporción de agregados obtenida en el PI y se toman los porcentajes $\pm 10\%$ para preparar el material granular de prueba (Tabla 3 Matriz experimental para selección de la mezcla de agregados a ser utilizada en el diseño) .

Tabla 3 Matriz Experimental para selección de la mezcla de agregados a ser utilizada en el diseño

% ASFALTO	Proporción de agregados y Limalla	# PROBETAS
4.5%	PI - 10%	5
	PI%	5
	PI+10%	5
5.5%	PI - 10%	5
	PI%	5
	PI+10%	5
6.5%	PI - 10%	5
	PI%	5
	PI+10%	5

Las mezclas testigo, entre tanto, fueron preparadas utilizando las especificaciones de proporciones de diseño de las mezclas asfálticas en caliente MDC2. A continuación, se describe las proporciones para diseño tipo de MDC2 con 5.5% de asfalto (Tabla 4). Los otros diseños se encuentran en el Anexo 8.

Tabla 4 Cantidad en gramos de material granular por briqueta con 5.5% de contenido de asfalto para mezcla densa en caliente (MDC-2)

Tamiz	Gradación	Gradación deseada	% Retenido	Peso en gramos
1/2	80-95	87,5	12,5	141,75
3/8	70-88	79	8,5	96,39
# 4	49-65	57	22	249,48
# 10	29-45	37	20	226,8
# 40	14-25	19,5	17,5	198,45
# 80	8-17%	12,5	7	79,38
# 200	4-8%	6	6,5	73,71
p-200	6-0%	0	6	68,04

Para briqueta de 1200 gramos y 5.5% de asfalto se requerirían 66 gramos de asfalto y 1134 gramos de agregados.

3) Prueba de la resistencia de mezclas bituminosas utilizando el aparato Marshall

La Norma 748 del Instituto Nacional de Vías establece que un diseño con seis contenidos de asfalto necesitará por lo menos de 18 probetas, es decir 3 probetas por porcentaje de asfalto. Teniendo en cuenta que en este estudio se utilizaron 3 tipos de agregado con diferentes porcentajes de asfalto, se probaron 60 probetas en total según la Tabla 3 Matriz Experimental para selección de la mezcla de agregados a ser utilizada en el diseño anteriormente citado.

La Norma 748 establece un procedimiento que se resume así:

Para cada probeta se necesitaran aproximadamente 1.2 Kg, valor que se incrementa en un 20% para tener en consideración un total de 26 Kg y alrededor de 4 litros de cemento asfáltico.

Los agregados se secaran hasta un peso constante entre 105°C y 110°C y posteriormente se separaran por tamizado en los tamaños deseados.

La temperatura a la cual se calentara el cemento asfáltico para las mezclas, será requerida para producir una viscosidad de 170 ± 20 centistokes (1 centistoke= $1\text{mm}^2/\text{s}$). Se mezclan en seco los agregados y se forma a continuación un cráter en su centro y se añade la cantidad requerida de asfalto. Se debe verificar que el asfalto no deberá permanecer a la temperatura de mezcla por más de una hora.

Otras recomendaciones de la norma son:

- Es conveniente elaborar una probeta de prueba, para ello, se tomara una cantidad de agregados de 1.2 kg, corrigiéndose luego para la altura debida.
- Se coloca un papel filtro en el fondo del molde antes de colocar la mezcla y una vez introducida la mezcla se golpea con una espátula o palustre caliente, 15 veces alrededor del perímetro y 10 sobre el interior. Quítase el collar y alísese la superficie hasta obtener una forma ligeramente redondeada.
- Vuélvase a poner el collar y colóquese el conjunto en el soporte y sobre el pedestal de compactación. Aplíquense 50, 75 golpes según se especifique de acuerdo con el tránsito de diseño, empleando para el martillo de compactación una caída libre de 18". (**Anexo 9** Procedimientos para la realización de método Marshall).

Contenido de asfalto: El objetivo general de este ensayo es determinar el porcentaje de cemento asfáltico de una mezcla asfáltica, por extracción en frío con un solvente. Se realiza con el fin de corroborar que el porcentaje que nos da este ensayo sea muy similar al del diseño de la mezcla asfáltica. (**Anexo 10** procedimiento contenido de asfalto).

El **Anexo 11** contiene los requisitos establecidos para la selección de la mezcla asfáltica según el tipo y el espesor de la capa. En el **Anexo 12** se observa el registro fotográfico de las etapas relevantes seguidas para el desarrollo de la metodología anteriormente descrita.

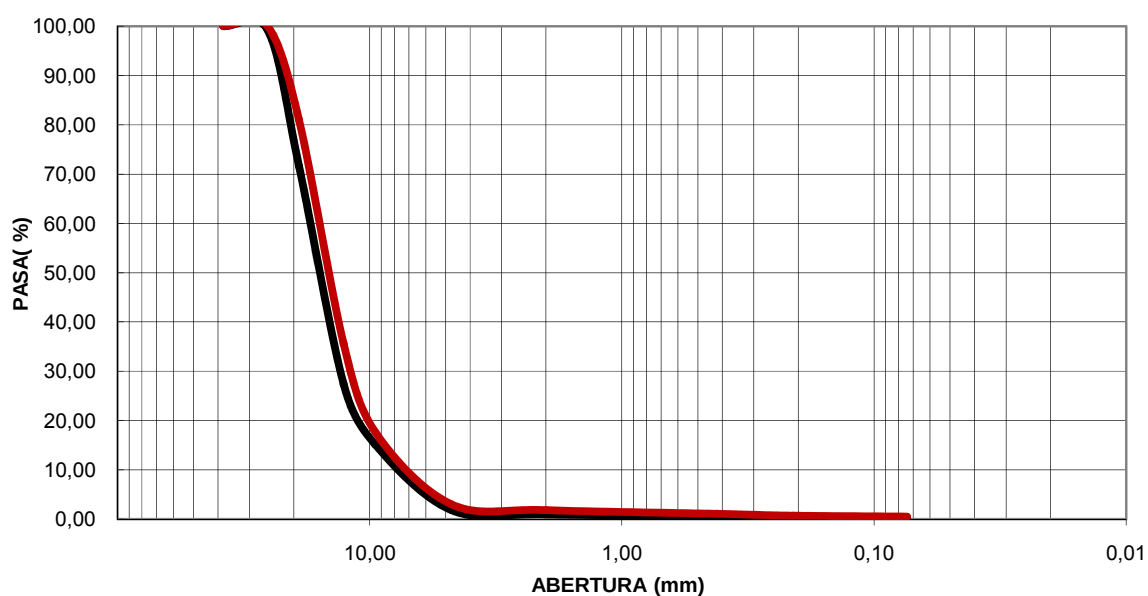
4. RESULTADOS

Este estudio permitió la caracterización de agregados naturales y artificiales para la preparación de mezclas asfálticas. Se registran a continuación los resultados relevantes de los ensayos. Los resultados detallados se encuentran en la sección de Anexos, a partir del Anexo 13.

4.1. CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO GRUESO

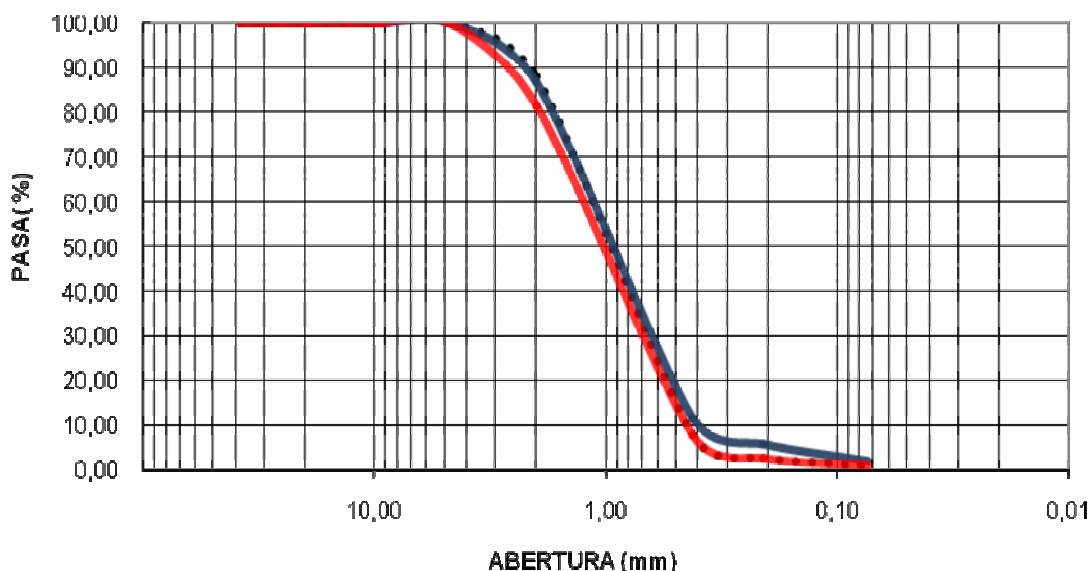
La caracterización del agregado grueso se hizo con la norma INV. E-213, y se utilizó la serie de tamices establecida para ello. Los datos de los ensayos se encuentran en el **Anexo 13**. Se realizaron dos ensayos granulométricos al agregado grueso, los cuales arrojaron las curvas registradas en las Figura 2. Se observa homogeneidad en la calidad de los agregados gruesos.

Figura 2 Curva granulométrica de los agregados gruesos utilizados



Se realizaron tres ensayos granulométricos a la limadura metálica (limalla), los cuales arrojaron las curvas registradas en las Figura 4. Se observa homogeneidad.

Figura 4 Curva granulométrica de la limalla



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 2 del agregado grueso. El ensayo arrojó que un 76.5% del material presenta caras fracturadas en los agregados (Tabla 5); este valor indica que es posible el aprovechamiento de este material para la preparación de mezclas asfálticas. Los datos de los ensayos se encuentran en el **Anexo 16**.

Tabla 5 Porcentaje de agregados con caras fracturadas

TAMIZ		Porcentaje (%)
PASA	RETENIDO	CARAS FRACTURADAS
1 1/2"	1"	0,00
1"	3/4"	76,87
3/4"	1/2"	77,24
1/2"	3/8"	75,50

4.5. CONTENIDO DE ASFALTO

La relevancia de este ensayo radica en que se busca determinar el porcentaje de cemento asfáltico de una mezcla asfáltica en extracción en frío con un solvente y la verificación del porcentaje de asfalto realmente realizado experimentalmente. Se comprobó que los porcentajes inicialmente propuestos para el diseño de las briquetas se cumplieron en la fase experimental (Tabla 6). Los datos de los ensayos se encuentran en el **Anexo 17**.

Tabla 6 Contenido de asfalto

MUESTRA	% ASFALTO	Desviacion
BRIQUETA 6,5% ASFALTO	6,49	0,0088
BRIQUETA 5,5% ASFALTO	5,55	0,0344
BRIQUETA 4,5% ASFALTO	4,35	0,1089

4.6. DESGASTE EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

La granulometría base para este ensayo fue la tipo B. El ensayo se realizó según la Norma INV. E-218. El resultado de desgaste fue de un 25% de afectación de los agregados ante el desgaste. Los datos de los ensayos se encuentran en el **Anexo 18**.

4.7. MASAS UNITARIAS SUELTA Y COMPACTA

El ensayo de masa unitaria se hizo siguiendo la Norma INV. E-217. Los resultados obtenidos se encuentran en la Tabla 7. Los datos completos de los ensayos se encuentran en el **Anexo 19**.

Tabla 7 Masas Unitarias Suelta y Compacta

Material	Masa Unitaria Suelta (kg/m ³)	Masa Unitaria Compacta (Kg/m ³)
Agregado Fino	1522	1652
Agregado Grueso	1506	1670

4.8. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO

La Tabla 8 muestra los valores de pesos específicos del agregado fino, los cuales están dentro del rango de valores de finos en nuestro medio. Los resultados obtenidos se encuentran en la Tabla 8. Los datos completos de los ensayos se encuentran en el **Anexo 20**.

Tabla 8 Peso específico y absorción del agregado fino

Característica	UNIDAD	VALOR
Gravedad específica bulk (Gsb)	g/cm ³	2,53
Gravedad específica bulk sss(Gsb _{sss})	g/cm ³	2,58
Gravedad específica aparente (Gsa)	g/cm ³	2,67
Absorción	%	2,08%

4.9. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO

La Tabla 9 muestra los valores de pesos específicos del agregado grueso, los cuales están dentro del rango de valores de material granular grueso en nuestro medio. Los datos completos de los ensayos se encuentran en el **Anexo 21**.

Tabla 9 Peso específico y absorción del agregado grueso

Característica	UNIDAD	VALOR
Gravedad específica bulk (Gsb)	g/cm ³	2,54
Gravedad específica bulk sss(Gsb _{sss})	g/cm ³	2,58
Gravedad específica aparente (Gsa)	g/cm ³	2,63
Absorción	%	1,27%

4.10. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LA LIMALLA

La Tabla 10 muestra los valores de pesos específicos de la limalla. Estos valores son un 1.09% mayores que los valores de peso específico de limalla obtenidos por Parra y Bautista (2010). Los datos completos de los ensayos se encuentran en el **Anexo 22**.

Tabla 10 Peso específico y absorción de la limalla

Característica	UNIDAD	VALOR
Gravedad específica bulk (Gsb)	g/cm ³	6,33
Gravedad específica bulk sss(Gsb _{sss})	g/cm ³	6,35
Gravedad específica aparente (Gsa)	g/cm ³	6,45
Absorción	%	0,30%

4.11. SANIDAD DE LOS AGREGADOS FRENTE A LA ACCIÓN DE SULFATO DE SODIO

La Tabla 11,12,13 muestra los valores de los resultados realizados a los agregados finos y gruesos, los cuales fueron sometidos a inmersión en sal anhidra durante un tiempo no menor de 16 horas ni mayor de 18. Este ensayo se realizó según la norma I.N.V. E-220 y para ello se tuvo en cuenta la granulometría número 2 de agregado grueso. Seguidamente se realizó el ensayo cualitativo y cuantitativo; en el análisis cualitativo se observó que a partir del segundo ciclo se puede notar un cambio en las partículas. Los datos de los ensayos se encuentran en el **Anexo 23**.

Tabla 11 Análisis cuantitativo agregado grueso

PESO RET FINAL	PERDIDA TOTAL POR FRACCION	PERDIDA PONDERADA FRACCION	No FINAL PARTÍCULAS
497,4	1,4	0,3	33
636,2	5,2	2,4	114
312,2	5,6	1,0	135
289,8	3,5	0,5	-
1735,6	15,6	4,2	-

Tabla 12 Análisis cuantitativo agregado fino

PESO RET FINAL	PERDIDA TOTAL POR FRACCION	PERDIDA PONDERADA FRACCION	No FINAL PARTÍCULAS
0,0	100,0	0,0	-
84,3	15,7	2,0	-
84,6	15,4	4,9	-
85,6	14,4	4,3	-
-	-	-	-
254,5	-	11,2	-

Tabla 13 Análisis cualitativo agregado grueso

CICLO	FRACCIÓN		No INICIAL PARTICULAS	No PARTICULAS DESPUES DE CADA CICLO				
	PASA	RETENIDO		BUEN ESTADO	AGRIETADAS	PARTIDAS	ESCAMOSAS	DESINTEGRADAS
1	1"	3/4"	35	32	0	0	3	0
	3/4"	1/2"	107	107	0	0	0	0
	1/2"	3/8"	144	144	0	0	0	0
2	1"	3/4"	35	29	2	0	4	0
	3/4"	1/2"	107	102	3	0	2	0
	1/2"	3/8"	144	129	4	0	11	0
3	1"	3/4"	35	22	3	0	10	0
	3/4"	1/2"	107	88	5	0	14	0
	1/2"	3/8"	144	122	7	0	15	0
4	1"	3/4"	35	8	8	0	19	0
	3/4"	1/2"	107	54	13	0	40	0
	1/2"	3/8"	144	74	16	0	54	0
5	1"	3/4"	35	5	8	0	22	0
	3/4"	1/2"	107	18	27	3	59	0
	1/2"	3/8"	144	36	33	1	74	0

4.12. EQUIVALENTE DE ARENA

Lectura de arena	4.6
Lectura de arcilla	3.4
Equivalente de arena	73.9 %

4.13. ÍNDICE DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO

La Tabla 14 muestra los valores de índice de aplanamiento y alargamiento los cuales se encuentran dentro de los rangos establecidos. Los datos de los ensayos se encuentran en el **Anexo 24**.

Tabla 14 Índice de aplanamiento y alargamiento

INDICE DE APLANAMIENTO	7,80 %
INDICE DE ALARGAMIENTO	26,58 %

4.14. MASAS UNITARIAS, MEZCLAS DE AGREGADOS LIMALLA, AGREGADO FINO Y AGREGADO GRUESO

Las Tablas 15, 16, 17, 18, y 19 se encuentran los resultados de masas unitarias sueltas y compactas obtenidos con diferentes porcentajes de agregados. Estos resultados se utilizaron para hallar el punto de inflexión de los agregados. Los datos completos de los ensayos se encuentran en el **Anexo 25**.

Tabla 15 Masas unitarias con adición de limalla

	Suelta	Compacta
Peso unitario agregado grueso (g/cm ³)	1,867	2,022
Peso unitario agregado grueso (Kg/m ³)	1867	2022

10% Limalla, 20% Agregado fino, 70% Agregado grueso

Tabla 16 Masas unitarias con adición de limalla

	Suelta	Compacta
Peso unitario agregado grueso (g/cm ³)	1,931	2,040
Peso unitario agregado grueso (Kg/m ³)	1931	2040

10% Limalla, 40% Agregado fino, 50% Agregado grueso

Tabla 17 Masas unitarias con adición de limalla

	Suelta	Compacta
Peso unitario agregado grueso (g/cm ³)	1,911	2,019
Peso unitario agregado grueso (Kg/m ³)	1911	2019

10% Limalla, 50% Agregado fino, 40% Agregado grueso

Tabla 18 Masas unitarias con adición de limalla

	Suelta	Compacta
Peso unitario agregado grueso (g/cm ³)	1,863	2,044
Peso unitario agregado grueso (Kg/m ³)	1863	2044

10% Limalla, 30% Agregado fino, 60% Agregado grueso

Tabla 19 Masas unitarias con adición de limalla

	Suelta	Compacta
Peso unitario agregado grueso (g/cm ³)	1,784	1,927
Peso unitario agregado grueso (Kg/m ³)	1784	1927

10% Limalla, 10% Agregado fino, 80% Agregado grueso

5. ANALISIS DE RESULTADOS

El presente estudio se centró en el aprovechamiento de la limalla para la preparación de mezclas asfálticas. Para ello, fue necesario realizar la caracterización mecánica de la limalla, la caracterización normal de los agregados y llevar a cabo el diseño correspondiente de la mezcla por el método Marshall considerando la mezcla de agregados naturales y de limalla. Los resultados por tanto van asociados a las labores experimentales desarrolladas.

5.1. CARACTERIZACIÓN DE LA LIMALLA

La limalla cumple con todos resultado especificados según la norma I.N.V.E-400. Este material cumple las especificaciones del agregado fino, razón por la cual su caracterización se realizó en función de este tipo de material.

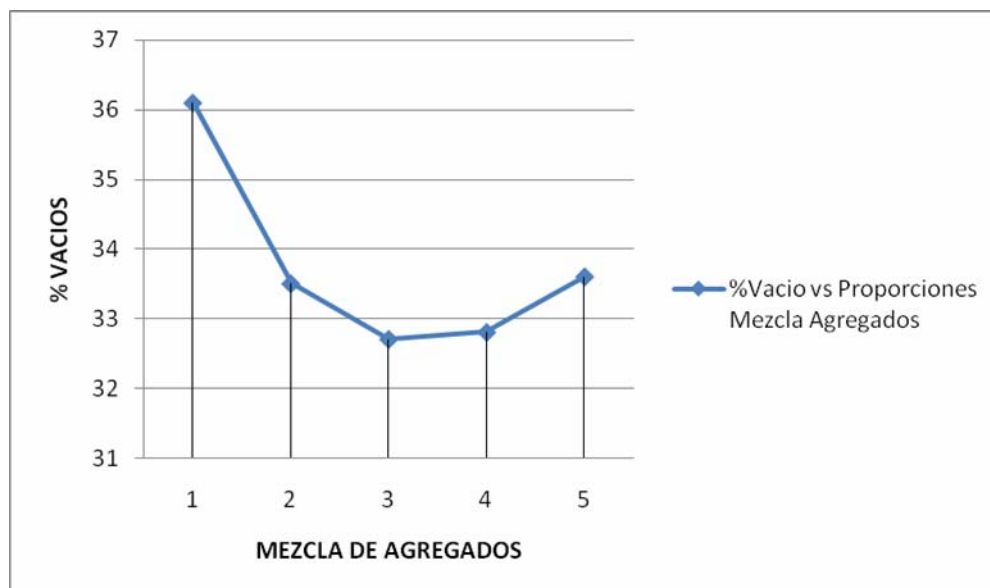
5.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

Los agregados utilizados para este proyecto cumplieron con las especificaciones según la norma I.N.V. E – 400. De acuerdo a esto se puede deducir que los materiales utilizados fueron de muy buena calidad. El punto de inflexión que dio el menor porcentaje de vacíos fue la mezcla 3, la cual dio un porcentaje de vacíos de 32.7g/cm^3 y las proporciones que se utilizaron fueron de 10% de limalla, 60% de grueso y 30% de fino. Como se puede observar en la tabla 2 que especifica la Distribución en porcentaje de la mezcla de agregados.

Tabla 20 Caracterización de los agregados pétreos

	NORMA	ESPEC. (I.N.V Art 400)	
ENSAYO	I.N.V	MEZCLA DENSA EN CALIENTE	VALOR
Granulometría	E-213	-	-
Ind. Alargamiento	E-230	30% Max	26,58%
Ind. Aplanamiento	E-230	30% Max	7,80%
Desgaste los Ángeles	E-219	25% Max	25%
% Caras Fracturadas	E-227	75% Min	76,54%
Solidez	E-220	12% Max	-
Equivalente de Arena	E-133	50% Min	73,90%
Peso Especifico Grueso	E-223	-	2,63%
Peso Especifico Fino	E-222	-	2,67%
% Absorción Grueso	E-223	-	1,27%
% Absorción Fino	E-222	-	2,08%

Figura 5. Porcentajes de vacíos en los agregados



5.3 RESULTADOS DEL ENSAYO MARSHALL

Se observan los resultados de las briquetas elaboradas con asfalto por el método convencional para mezcla MDC-2 seguido de las muestras con asfalto preparado con el menor porcentaje de vacíos en el cual se incorporaba la limalla como un material de soporte de los agregados (Tabla 21 a Tabla 24). Se trabajó 4.5%, 5.5% y 6.5% (Figura 6 a Figura 10), encontrándose que con el porcentaje de asfalto del 5.5% es el óptimo para este tipo de mezclas.

Tabla 21. Resumen del ensayo Marshall Mezcla convencional MDC-2

Agregados naturales

Asfalto (%)	Peso unitario (g/cm ³)	Estabilidad(Lb)	Vacios de la mezcla (%)	Vacios en agregados (%)	Flujo (F) (mm)	Estabilidad (E) (kg)	Relación E/F (kg/mm)
4,5	2.23	2727	8.5	18.7	2.79	1240	444
5,5	2.83	2875	5.5	18.1	3.05	1307	429
6,5	2.27	2082	4.4	19.4	4.57	946	207

Tabla 22. Resumen del ensayo Marshall mezclas preparadas con el menor porcentaje de vacíos incluyendo la limalla.

Punto de inflexión

Asfalto (%)	Peso unitario (g/cm ³)	Estabilidad(Lb)	Vacios de la mezcla (%)	Vacios en agregados (%)	Flujo (F) (mm)	Estabilidad (E) (kg)	Relación E/F (kg/mm)
4,5	2,39	2705	31	41,8	2,54	1230	484
5,5	2,42	3137	28,3	41,6	2,90	1426	492
6,5	2,40	2534	27,1	42,7	4,06	1152	284

Diseño de mezcla con 10% de limalla, 40% agregado fino y 50% agregado grueso

Tabla 23. Resumen del ensayo Marshall mezclas preparadas con el menor porcentaje de vacíos +10% incluyendo la limalla.

Punto de inflexión + 10%

Asfalto (%)	Peso unitario (g/cm ³)	Estabilidad(Lb)	Vacios de la mezcla (%)	Vacios en agregados (%)	Flujo (F) (mm)	Estabilidad (E) (kg)	Relación E/F (kg/mm)
4,5	2.47	2691	28.7	39.8	2.79	1223	438
5,5	2.52	2861	25.3	39.2	3.56	1300	365
6,5	2.51	2490	23.8	40.2	4.57	1132	248

Diseño de mezcla con 10% de limalla, 50% agregado fino y 40% agregado grueso

Tabla 24. Resumen del ensayo Marshall mezclas preparadas con el menor porcentaje de vacíos +10% incluyendo la limalla.

Punto de inflexión - 10% limalla

Asfalto (%)	Peso unitario (g/cm ³)	Estabilidad(Lb)	Vacios de la mezcla (%)	Vacios en agregados (%)	Flujo (F) (mm)	Estabilidad (E) (kg)	Relación E/F (kg/mm)
4,5	2.41	1777	30.6	41.4	3.05	808	265
5,5	2.46	2562	27.1	40.7	3.56	1165	327
6,5	2.46	2332	25.4	41.3	4.06	1060	261

Diseño de mezcla con 10% de limalla, 30% agregado fino y 60% agregado grueso

Figura 6. Peso unitario vs porcentaje asfalto

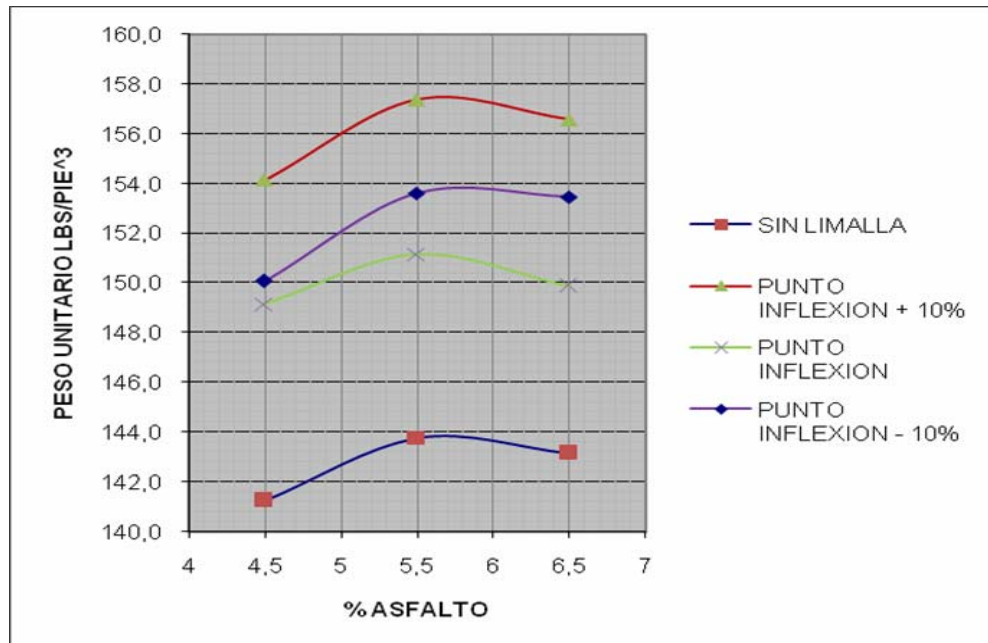


Figura 7. Estabilidad vs porcentaje asfalto

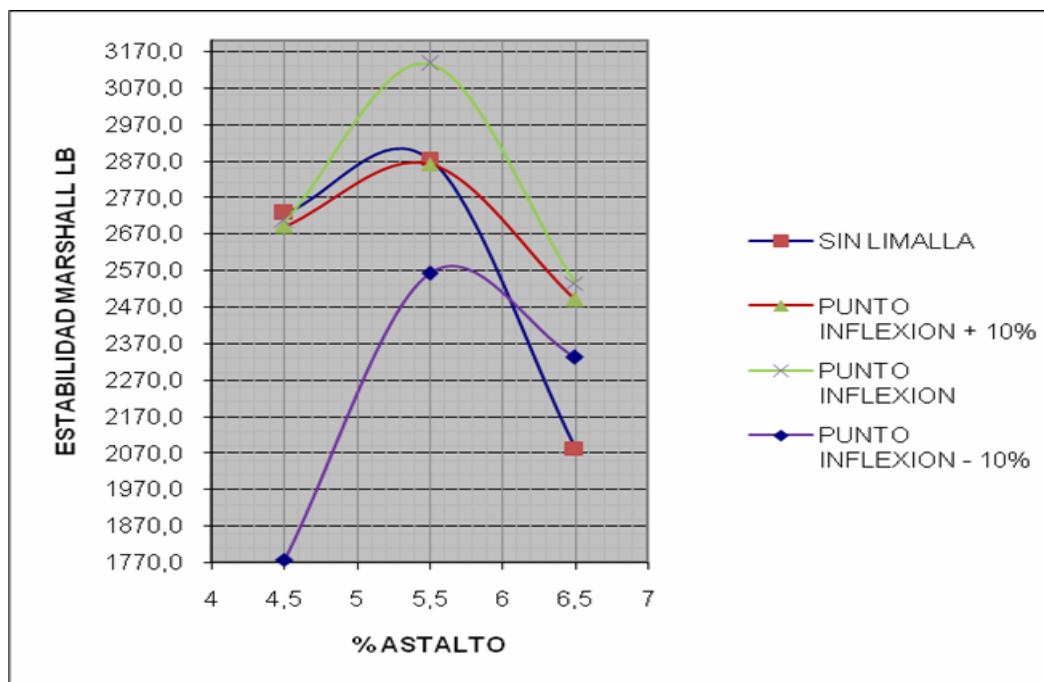


Figura 8. Porcentaje vacios en los agregados vs porcentaje asfalto

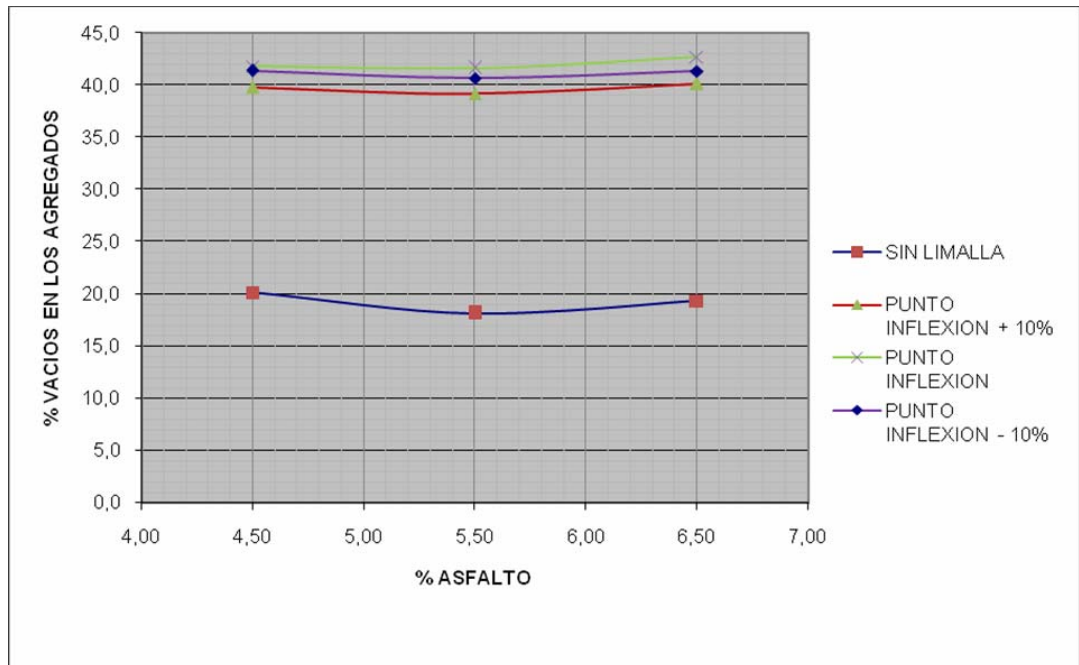


Figura 9. Flujo vs porcentaje asfalto

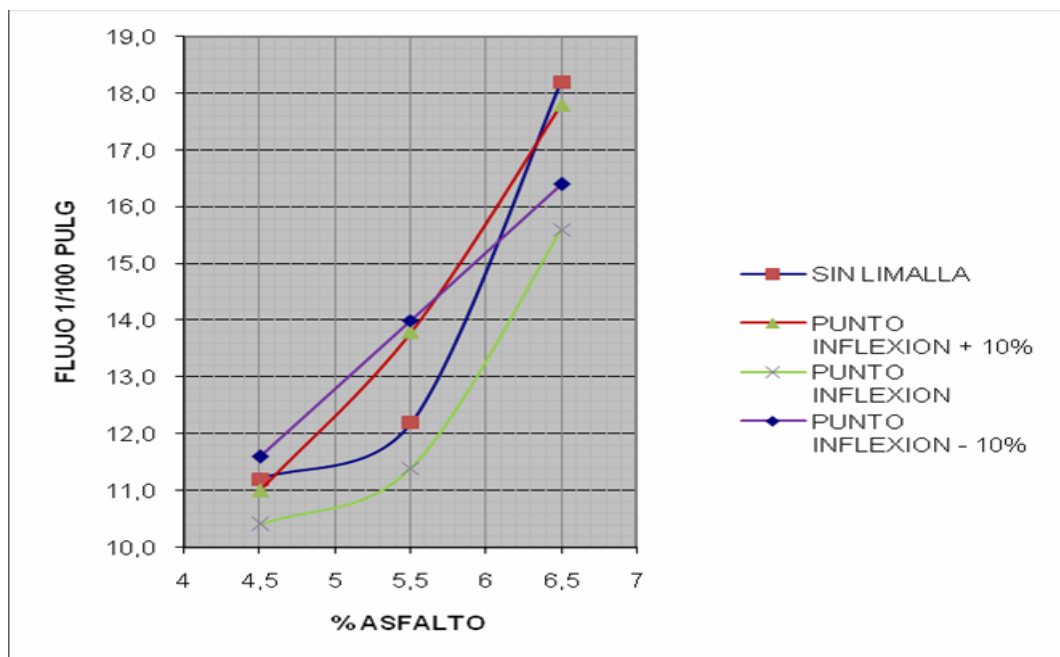
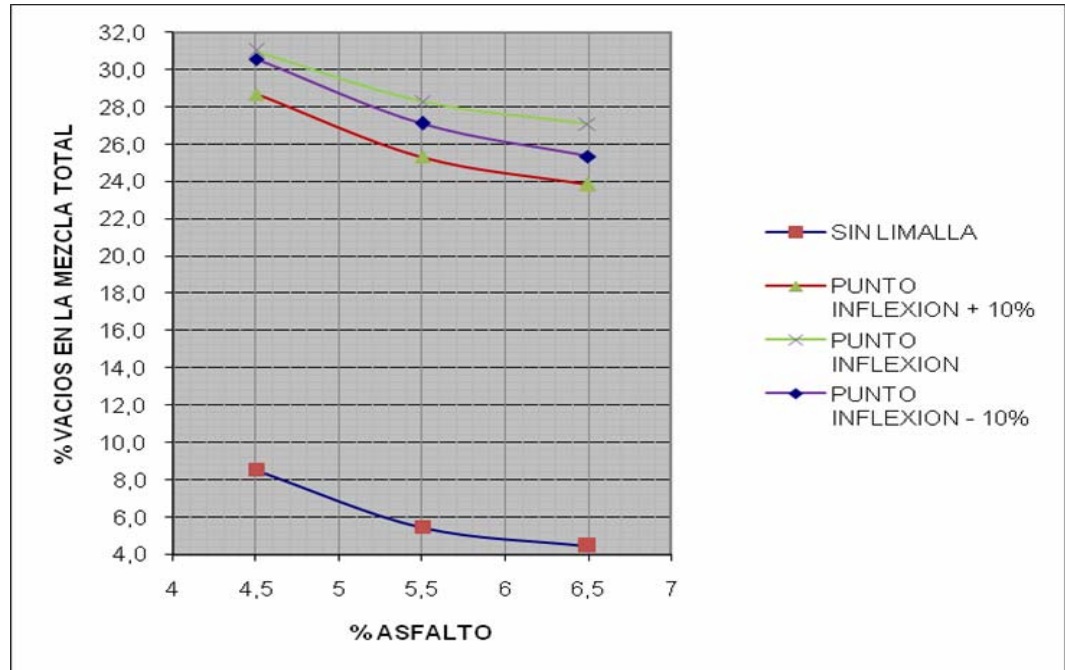


Figura 10. % Vacios en la mezcla vs porcentaje asfalto



6. CONCLUSIONES

Con respecto a los agregados naturales:

Se observa que los agregados utilizados y obtenidos en la región cumplen con la norma técnica del Instituto Nacional de Vías. Al igual que en estudios previos, la limalla fue tratada como un agregado fino aunque arroja gravedades específicas superiores a la de éste. Es así como, se obtuvo que la gravedad específica del agregado fino sea 2.63 g/cm^3 mientras que el de la limadura metálica (limalla) es de 6.45 g/cm^3 , es decir la densidad de la limalla es 245% mayor que la del material fino. Se observó también, que los valores de densidades de la limalla corresponden a los estudios previos adelantados por Bautista y Parra (2010).

Los resultados de la caracterización de los agregados arrojaron además que la mezcla de agregados con menor porcentaje de vacíos se presentó cuando los agregados se mezclaban en proporciones de 10% de limalla (reemplazando la fracción del fino), 40% de arena y 50% de triturado.

Con respecto al porcentaje de vacíos de las mezclas asfálticas, se observó que en las proporciones de mezclas de agregado considerando el 10% de limalla (reemplazando la fracción del fino), 50% de arena y 40% de triturado se obtuvieron mezclas asfálticas con porcentaje de vacíos entre el 39% y el 42% que son valores superiores a los vacíos obtenidos en las mezclas tradicionales MDC-2 (18% para este estudio).

Con respecto a la limalla:

Se partió de la hipótesis que la limalla, residuo industrial, pudiera ser utilizada para la preparación de mezclas asfálticas. Se observó que:

- la mezcla asfáltica dosificada con limalla y utilizando el criterio del punto de inflexión con el menor porcentaje de vacíos de los agregados arrojó una estabilidad de 3137 lb, la cual es mayor que la estabilidad de una mezcla asfáltica considerando las proporciones de los agregados naturales para una MDC-2, para 5.5% de asfalto.
- El flujo más alto en todas las mezclas probadas se presentó con las mezclas preparadas según la proporción de agregados de la MDC-2. Se observa que la mezcla de agregados determinada con el punto de inflexión más el 10% que incluía la limalla presenta una tendencia similar al flujo con agregados convencionales.

- El porcentaje de vacíos en las mezclas asfálticas preparadas con la consideración de la mezcla de agregados y limalla con el criterio del menor porcentaje de vacíos fue más alto en todos los casos. El menor porcentaje de vacíos en las mezclas asfálticas se presentó con los porcentajes de agregados naturales sin adición de limalla para la MDC-2.

Con respecto a la mezcla asfáltica:

Agregar limalla como proporción de los agregados buscando mejorar las propiedades de una mezcla asfáltica puede resultar una práctica que contribuye al ambiente reduciendo el impacto negativo que conduce la incorrecta disposición de estos residuos. 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.

Todas las briquetas fueron preparadas con agregados naturales provenientes de la misma fuente. El porcentaje óptimo de cemento asfáltico de acuerdo a los resultados del ensayo Marshall determinan que un porcentaje de 5.5% es el adecuado para cumplir los requisitos mínimos exigidos por la especificación del INVIAS para MDC-2 y tránsito tipo NT3 (altos volúmenes) este porcentaje se corroboró por medio del ensayo de contenido de asfalto, el cual proporcionó un porcentaje real de 5.55%.

Recomendaciones para futuros trabajos

En futuros proyectos, se recomienda realizar ensayos de resistencia a fatiga y envejecimiento sobre las mezclas. Así mismo, se recomienda continuar el estudio, realizando modificaciones directamente con el cemento asfáltico más no con los agregados.

La limadura metálica (limalla) siendo un residuo industrial se podría utilizar en el diseño de mezclas asfálticas con el fin de minimizar el impacto negativo al medio ambiente por la inadecuada disposición de la misma. Sin embargo, en el estado actual de preparación de mezclas asfálticas, se recomienda continuar el estudio hacia el uso de materiales aglomerantes que disminuyan el porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica producida.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

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

BAUTISTA, María y PARRA, Katty., Diseño de una mezcla de concreto utilizando residuos Industriales y escombros, Tesis de Grado para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad Pontificia Bolivariana, 2010.

CAMACHO M, Faustino., Análisis de la influencia de los componentes de una mezcla asfáltica con respecto a su resistencia a la tensión, Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad Industrial de Santander, 1998, pp. 86-93.

CÁRDENAS C, Diego., HERNANDEZ A, Jorge E., Evaluación de comportamiento de una mezcla asfáltica al ser elaborada por tres métodos diferentes, Tesis de Grado para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad Industrial de Santander, 2001.

INVIAS, Especificación Técnica, Artículo 450 - 07

I.N.V E-748, Instituto Nacional de Vías, Resistencia de Mezclas Bituminosas empleando el método Marshall.

MONTEJO FONSECA, Alonso., Ingeniería de Pavimentos para carreteras, 2 ed, Santa Fé de Bogotá, Colombia, 1998. P733.

Montejo Fonseca, Alonso. Ingeniería de pavimentos para carreteras. 2 ed. Santa fe de Bogotá, Colombia. 2006. P733.

Norma de Ensayos de Materiales para carreteras (Santa Fé de Bogotá, 2006)

NTC-213 Norma Técnica Colombiana, elaborada por el ICONTEC, 2005.

PEREZ, F,; MIRO R, Y MARTINEZ, A. Ensayos de mezclas asfálticas bituminosas: Nuevos criterios, XVLL Seminario de Ingeniería de Carreteras.

PEÑA A, Edgar A., Análisis comparativo del diseño de mezclas asfálticas MDC-2 con asfalto original y modificado con polímeros por los métodos Marshall y Superpave fase I, proyecto TAAT CORASFALTOS [Recurso electrónico], Tesis de

grado para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad Industrial de Santander, 2007.

ROMERO, C. M. y GOMEZ, A., Propiedades físicas y químicas de asfaltos colombianos tipo Barrancabermeja y de sus respectivas fracciones de asfaltenos, Revista Académica Colombiana de Ciencias, Volumen XXVI, Numero 98, Marzo de 2002, pp. 127-132.

RONDON, Q. H., REYES, F. A. y OJEDA, B. E., Comportamiento de una mezcla densa de asfalto en caliente modificada con desecho de policloruro de vinilo (PVC), Ciencia e Ingeniería Neogranadina, Volumen 18-2, Bogotá, Diciembre 2008, pp. 29-43.

RONDON, Q. H., REYES, F. A., FIGUEROA, E., RODRIGUEZ, C. REAL, T. Montealegre, Mezclas Asfálticas: Estado del conocimiento del estudio sobre mezclas asfálticas modificadas en Colombia, Infraestructura Vial, No. 19, Febrero 2008.

SHARMA V. y GOYAL, S, Comparative study of performance of natural fibres and crumb rubber modified stone matrix asphalt mixtures, Canadian Journal Civil Engineering, volumen 33, 2006, pp. 134-139.

Carta de calidad, Cemento Asfáltico., Visita Planta Asfaltart (Ing. VARGAS Pedro Javier) 09 noviembre 2010

Anexo 1 Análisis Granulométrico de los Agregados

Tomado y adaptado, Normas de ensayo de materiales para carreteras. (Santafé de Bogotá, D, C., 1998)

1. OBJETIVO

- Determinar la calidad de los agregados gruesos y finos en porcentaje en los distintos tamaños de partículas presentes en el suelo
- Realizar la comparación granulométrica del material con respecto a las especificaciones de uso. Ya sea esta base, subbase. O mezclas
- Garantizar la estructura de los diferentes tipos de agregado
- Establecer la cantidad de material que pasa por determinado tamiz así no se haya utilizado por medio de la curva granulométrica

2. EQUIPOS Y MATERIALES

- Balanza
- Tamices
- Horno. Temperatura uniforme de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230^{\circ} \pm 9^{\circ}\text{F}$)
- Cepillo y brocha para limpiar los respectivos tamices

3. PREPARACION DE LA MUESTRA

- Las muestras para el ensayo se obtendrán por medio de un cuarteo (Norma INVIAS E – 104)
- Buscar y una superficie nivelada y limpia
- Mezclar totalmente formando una pila cónica
- Aplanar el cono y con el palustre se corta formando cuatro porciones iguales y de las cuales para el ensayo se tomaran dos diagonales opuestas, aproximadamente entre 5 a 6 Kg del material.
- Pasar el material luego se lava todo el material hasta que el agua sea transparente sobre el tamiz No200, posteriormente se seca en el horno.
- La diferencia de peso de antes y después de lavado nos define el pasa 202, este ultimo valor se anota y debe tener precaución para evitar de esta forma perdidas mayores en el material.

4. PROCEDIMIENTO

Colocar la serie de tamices de mayor a menor tamaño de abertura como aparece en la norma. Seguidamente a esto se realiza el tamizado de forma manual de un lado a otra en forma circular durante 10 minutos.

En cada uno de los tamices no se deben forzar el paso de las partículas de material a través de los tamices, para realizarlo de una manera adecuada se debe utilizar el cepillo en los tamices de menor abertura teniendo mucho cuidado de no dañarlos y la brocha en los tamices de mayor abertura.

Se pesa el material que se retuvo en cada uno de los tamices y luego se pesa cada uno de estos en la balanza para posteriormente anotarlo en el formato.

5. CALCULOS

$$\% \text{ Retenido parcial} = \frac{\text{peso del suelo retenido en cada malla} \times 100}{\text{Peso total de la muestra}}$$

El porcentaje que pasa de cada malla va ser igual a:

Primer tamiz: % que pasa = 100% - %Retenido parcial

Segundo tamiz: % que pasa = % que pasa el tamiz anterior - % Retenido parcial del segundo tamiz.

Consecutivamente se realiza este cálculo para cada uno de los tamices utilizados en la granulometría.

Realizar la curva granulométrica o llenar la que aparece en el formato donde la abscisa es la abertura de los tamices en escala semilogaritmica y el porcentaje que pasa en escala aritmética es la ordenada.

Coeficiente de uniformidad (Cu) y de Curvatura (Cc)

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \qquad Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}}$$

D₁₀: es el valor que se lee al proyectar el 10% que pasa a la curva granulométrica y de este punto al eje de las abscisas. Este dato se toma en mm y de idéntica forma se realiza lo mismo con el D₆₀ y D₃₀.

Con los datos anteriores se clasifica el suelo según su SUCS remitirse a la identificación y descripción de los textos.

Un suelo se considera grueso cuando queda mas de la mitad del material retenido en el tamiz No 200.

Se considera grava (G) si más de la mitad de lo retenido se queda en el tamiz No 4.

Se considera arena (S) si mas de la mitad del material pasa el tamiz No 4.

Si los finos son mayores al 5% se pueden clasificar en limos (M) o arcilla (C), correlacionados con los límites de atterberg.

Esta clasificación se complementa con otros sufijos para de esta manera determinar claramente el tipo de material.

GM, GP, SW, o SP. Condición: < del 5% del material que pasa a través del tamiz No 20. El sufijo W se refiere a el material bien gradado, el P pobremente gradada y se determina por medio de los valores de C_c y C_u .

GM, GC, SM o SC. Condición: > al 12% del material pasa a través del tamiz No 200. el sufijo O significa suelo orgánico, M es un limo, C se de arcilla y lo determinan los limites líquidos y plásticos de la fracción menor a el tamiz numero 40.

GW-GC SW-SC GP-GC SP-SC GW-GM SW-SM GP-GM SP-SM
Condición: Si pasa material a través del tamiz No 200 entre el 5% y 12%.

ML, OL, CL. Condición: > que el 50% pasa el tamiz No 200. El sufijo M, O, C si el limite liquido es < que el 50%.

Si más del 12% de la muestra pasa a través del tamiz No 200 se debe hacer un análisis de hidrómetro.

6. NORMA

I.N.V E-213

Anexo 2 Desgaste de los Agregados de Tamaños Menores de 1 ½” en la Maquina de los Ángeles

Tomado y adaptado, Normas de ensayo de materiales para carreteras. (Santafé de Bogotá, D, C., 1998)

1. OBJETIVOS

- Determina la resistencia de los agregados de tamaños menores de (1 ½”) al desgaste que se produce por abrasión de las partículas y una carga abrasiva.
- Para evaluar la resistencia al desgaste de los agregados gruesos, de tamaños mayores de 19mm (¾”), por medio de la maquina de los ángeles, se deberá utilizar los especificado en la norma I.N.V E-219

2. EQUIPOS

- Balanza
- Horno
- Tamices establecidos
- Maquina de los ángeles

Carga abrasiva. La cual consiste en unas esferas con diámetro entre (1 13/16”) y (1 7/8”) y de un peso comprendido entre (390 y 445gr).

La carga abrasiva dependerá de la granulometría de tipo, A, B, C o D según se indica en la tabla 1

(Tabla 1)

Granulometría de ensayo	# de esferas	peso total en (gr)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

La carga abrasiva dependerá de la granulometría de ensayo, A, B, C o D, según la que coincida con la granulometría del material. Comparar con la tabla 2 el número de esferas.

GRANULOMETRIA DE LA MUESTRA DE AGREGADO PARA ENSAYO DE MAQUINA DE LOS ANGELES

(Tabla 2)

Pasa	Retiene	A	B	C	D
1 1/2"	1"	1250 ± 25			
1"	3/4"	1250 ± 25			
3/4"	1/2"	1250 ± 10	2500 ± 10		
1/2"	3/8"	1250 ± 10	2500 ± 10		
3/8"	No.3			2500 ± 10	
No.3	No.4			2500 ± 10	
No.4	No.8				5000 ± 10
TOTALES		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

3. PREPARACION DE LA MUESTRA

- El agregado deberá ser lavado y secado a temperatura constante entre 105° y 110°C.
- Efectuar un tamizado para establecer las fracciones de cada tamaño, que es representativo del agregado a utilizar en la obra. Con esta información se compara a que tipo pertenece en la tabla 2 y el número de esferas en la tabla 1
- Se pesa la muestra y este dato se consigna como el Pa (gr) en el formato.
- Cuando se proceda a ingresar el material a la maquina de los ángeles, se hará constar esto en el informe. Debido a la influencia que tiene la forma de las partículas en el resultado del ensayo a realizar.

4. PROCEDIMIENTO

El material y la carga abrasiva correspondientes se ingresan en la maquina de los ángeles, se ajusta la maquina cuidadosamente para que quede correctamente para su buen proceso de ejecución.

Se enciende la maquina de los ángeles con una revolución de (188 -208) rad/minuto y el numero de vueltas es de 500.

Después de realizado este proceso se procede a descargar el material del cilindro para posteriormente realizar una separación preliminar de la muestra ensayada en el tamiz (No 12) la fracción de material que se retiene se lava y se pesa, este dato se consigna como el Pb(gr).

Cuando el agregado este libre de costras o polvo, se puede eximir de lavarlo antes y después del ensayo. La eliminación del lavado posterior, rara vez reducirá la pérdida, en mas del 0.2% del peso del la muestra original.

5. CALCULOS

Resultado obtenido del ensayo
Pérdida de material= $P_a - P_b$

El porcentaje de desgaste que es el coeficiente de desgaste de los ángeles.

$$\% \text{ Desgaste} = (\text{pérdida de peso} / P_a) * 100$$

P_a = peso de la muestra seca antes del ensayo.

P_b = peso de la muestra seca después del ensayo, previo lavado sobre tamiz (No.12).

6. NORMA

I.N.V.E – 218

Anexo 3 Índice de Alargamiento y Aplanamiento de los Agregados

Tomado y adaptado, Normas de ensayo de materiales para carreteras. (Santafé de Bogotá, D, C., 1998)

1. OBJETIVO

- Determinar los índices de alargamiento y aplanamiento de los agregados que se van a utilizar en la construcción de carreteras.
- Comparar la forma adecuada de las partículas con las especificaciones de uso.
- Denominar como índice de alargamiento de una fracción de agregado donde su porcentaje en peso de las partículas que la forman cuya dimensión máxima es superior a 9/5 de la dimensión media de la fracción.
- Denominar como índice de aplanamiento de una fracción de agregado cuyo porcentaje en peso de las partículas que la forman en espesor sea inferior a 3/5 de la dimensión media de la fracción.

2. EQUIPO

- Calibradores metálicos, uno de ranuras (calibrador de espesores) y otro de barras (calibrado de longitudes).
- Juego de tamices

Tabla 1

Pasa	Retiene	Abertura aplanamiento (mm)	para Abertura alargamiento (mm)
(2 1/2")	(2")	33,9	
(2")	(1 1/2")	26.3	78.8
(1 1/2")	(1")	18.8	56.3
(1")	(3/4")	13.2	39.6
(3/4")	(1/2")	9.5	28.4
(1/2")	(3/8")	6.6	19.8
(3/8")	(No 4)	4.7	14.2

- Balanza
- Equipo misceláneo: cuarteador de agregado, bandeja, etc.

3. PREPARACION DE LA MUESTRA

En el formato de índices en cada casilla aparecen dos mallas, para llenar el peso retenido (Ri) se toma el dato de la segunda malla que dio en el ensayo granulométrico junto con el porcentaje retenido (INVIAS E-213).

Para cada par de mallas se toma una fracción dependiendo de la siguiente tabla y se pesan, llenando el dato donde dice Wi.

porcentaje	# de partículas
<5	no se ensayan
(5-15)	mínimo 100
>15	mínimo 200

4. PROCEDIMIENTO

De cada fracción de material se toma este y se pasa cada uno por el calibrador de aplanamiento de acuerdo con la tabla 1.

Se pesan todas las partículas que pasan por el calibrador de aplanamiento y este valor es el (Wapi).

De la misma manera como lo mencionado anteriormente se realiza el mismo procedimiento con el calibrador de alargamiento y se pesan todas las partículas retenidas entre las dos barras correspondientes, este peso es el (Wali).

5. CALCULOS

El índice de alargamiento de cada fracción, (Ial), es la relación entre el peso de las partículas, (Wali), y el peso inicial, (Wi), de dicha fracción:

$$\text{Índice de alargamiento. Fracción} = \frac{Wali \times 100}{Wi}$$

$$\text{El índice de aplanamiento. Fracción} = \frac{Wapi \times 100}{Wi}$$

El resultado obtenido para cada fracción ensayada, tanto del porcentaje de aplanamiento como de alargamiento, se redondeara a la fracción entera más próxima.

Para indicar tanto los índices de alargamiento como de aplanamiento total, se calcula el promedio ponderado de los respectivos índices de todas las fracciones ensayadas, empleando como factores de ponderación los porcentajes retenidos, R_i , e indicando la granulometría de la muestra.

Estos índices totales los podemos calcular de la siguiente manera:

$$\text{Índice de alargamiento} = \frac{\sum (I_{ij} \times R_i)}{SR_i}$$

$$\text{Índice de aplanamiento} = \frac{\sum (I_{ai} \times R_i)}{SR_i}$$

6. NORMA

INVIAS E-230

Anexo 4 Sanidad de los Agregados Frente a la Acción de las Soluciones de Sulfato de Sodio o de Magnesio.

Tomado y adaptado, Normas de ensayo de materiales para carreteras. (Santafé de Bogotá, D, C., 1998)

1. OBJETIVO

- Determinar la resistencia a la desintegración de los agregados, por la acción de soluciones saturadas de sulfato de sodio o de magnesio.
- Observar el comportamiento de los agregados frente agentes atmosféricos, sobre todo cuando no se dispone de datos sobre el comportamiento de los materiales que se van a emplear, en las condiciones climáticas de la obra.

2. EQUIPO

- Tamices necesarios

Tabla 1

TAMICES SERIE FINA	TAMICES SERIE GRUESA
No 100	(5/16")
No 50	(3/8")
No 30	(1/2")
No 16	(5/8")
No 8	(3/4")
No 5	(1")
No 4	(1 1/4")
	(1 1/2")
	(2")

•Tamices mayores de tamaños obtenidos cada (½")

- Recipientes para sumergir las muestras de los agregados en la solución
- Regulador de temperatura
- Balanzas
- Horno
- Tipos de soluciones (2 tipos), sulfato de sodio y sulfato de magnesio.

3. PREPARACION DE LAS MUESTRAS

Para el agregado grueso: la muestra del agregado grueso debe ser el material que queda retenido en el tamiz (No 4). Se debe obtener los pesos que se indican en cada fracción, se anota el peso inicial y se cuentan el número de partículas de cada fracción para el análisis posterior.

(TABLA 2)

Tamices mm (pulgadas)	peso (gr)		
Compuesta de material			
de 4.75 mm a 9,5 mm	(No. 4 a 3/8")	300 ± 5	
de 9.5 mm a 19.0 mm	(3/8" a 3/4")	1000 ± 10	
Compuesta de material			
de 9.5 mm a 12.5 mm	(3/8" a 1/2")	33%	330 ± 5
de 12.5 mm a 19.0 mm	(1/2" a 3/4")	67%	670 ± 10
de 19.0 mm a 37.5 mm	(3/4" a 1 1/2")		1500 ± 50
Compuesta de material			
de 19.0 mm a 25.0 mm	(3/4" a 1")	33%	500 ± 30
de 25.0 mm a 37.5 mm	(1" a 1 1/2")	67%	1000 ± 50
de 37.5 mm a 63 mm	(1 1/2" a 2 1/2")		5000 ± 300
Compuesta de material			
de 37.5 mm a 50 mm	(1 1/2" a 2")	40%	2000 ± 200
de 50 mm a 63 mm	(2" a 2 1/2")	60%	3000 ± 300
Tamices mayores obtenidos			7000 ± 1000
en incrementos de 25 mm (1")			

(Si la fracción tiene menos del 5% no se ensayara esta fracción.)

Para el agregado fino: Esta muestra debe pasar toda por el tamiz de (3/8") y tener un peso suficiente para obtener 100 gr de cada fracción las cuales se pesan y se colocan en bandejas por separado anotando este peso inicial. Estas fracciones se indican en la siguiente tabla.

(TABLA 3)

FRACCIONES	
Pasa tamiz	Retenido en tamiz
(3/8")	(No.4)
(No.4)	(No.8)
(No.8)	(No.16)
(No.16)	(No.30)
(No.30)	(No.50)

4. PROCEDIMIENTO

Comprobar en primera medida la densidad de la solución de sulfato de sodio; en una probeta introducir 100 cc de la solución y posteriormente llevar a la balanza tarada este valor lo dividimos en 100 y este valor es el dato de densidad este valor debe estar entre (1.151 y 1.174).

Inmersión de la muestra en la solución. Las muestras se sumergen en la solución de sulfato de sodio o de magnesio. Por lo menos a una altura por encima de 13 mm del material y luego se tapa para evitar su contaminación.

Secado de la muestras, posterior a la inmersión. Después del periodo de inmersión, a cada una de las muestras se les saca la solución dejándolas escurrir bien evitando la perdida de material y posteriormente se introduce en el horno hasta su secado total, después se pesa el material y se cuentan el numero de partículas para de esta forma continuar con cada ciclo.

Examen cualitativo. Después de cada inmersión se debe hacer la observación detenidamente de cada una de las partículas, de esta forma determina que partículas se encuentran con; agrietamiento, desintegración, descaramiento, en

buen estado y partidas. De esta forma se cuentan el numero de partículas esto se realiza para el material grueso anotando de esta manera los datos.

Numero de ciclo. En el proceso de inmersión y secado de cada una de las muestras de material reposigue hasta completar el numero de ciclos establecidos en la norma.

Examen cuantitativo. Después que se complete el ultimo ciclo, se lava hasta que quede exenta de sulfato de sodio o de magnesio, se seca en el horno y por ultimo se realiza una granulometría por los mismo tamices de la tabla 1, anotando el porcentaje retenido de los tamices y hallando así el modulo de finura.

5. CALCULOS

Desgaste de cada fracción = $\frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso inicial}} \times 100$
en material retenido

Examen cuantitativo

- Agregado fino
- Agregado grueso

Examen cualitativo

6. NORMA

I.N.V. E-220

Anexo 5 Equivalente de Arena

Tomado y adaptado, Normas de ensayo de materiales para carreteras. (Santafé de Bogotá, D, C., 1998)

1. OBJETIVO

- Precisar la proporción relativa del contenido de polvo nocivo o material arcilloso.
- Determinar en campo, la presencia o ausencia de este material en una muestra que debe cumplir ciertos requisitos para su uso.

2. EQUIPO Y MATERIALES

- Probeta con su respectivo tapón.
- Una botella que contiene la solución de cloruro de calcio que se encuentre por encima de la superficie de trabajo.
- Dispositivos para tomar lecturas. Consta de una tapa que ajusta en la parte superior de la probeta, barra metálica un disco metálico con unos puntos guías para que permita la lectura.
- Embudo de boca ancha.
- Reloj o cronometro.
- El agitador manual debe producir un movimiento oscilatorio de 90 ciclos en 30 segundos.
- Solución floculante (punto 5 de la norma INVIAS E – 133)

3. PREPARACION DE LA MUESTRA

Tamizar el material que pasa por la malla (No4) hasta obtener (110-130)gr. El material debe estar húmedo para evitar la perdida de material, se debe deshacer los terrones y frotar el material grueso.

4. PROCEDIMIENTO

- Introducir la solución coagulante del tubo irrigador de la probeta hasta la primera masca que es 10 cm.
- Verter el material de ensayo en la probeta ayudándose con el embudo.

- Colocar una lanilla sobre la mesa de trabajo y sobre esta golpear y remover la probeta con el fin de liberar las burbujas de aire de la muestra y de esta forma se acelera la saturación.
- Dejar en reposo la probeta durante un tiempo de 10 minutos.
- Instalar el tapón en la probeta y agitar la probeta de manera manual.
- La forma correcta de agitación es usando solamente el antebrazo y la muñeca, cumpliendo 90 ciclos en 30 segundos o por medio de la maquina que realiza este ensayo de forma mecánica.
- Un ciclo es un movimiento de forma completa horizontal de lado a lado.
- Antes de comenzar el proceso de agitación, la persona que esta realizando el ensayo debe ensayar para calibrar el movimiento a la exigencia prevista.
- Colocar la probeta sobre la mesa de trabajo.
- Proceder a la irrigación que consiste en enjuagar los lados de la probeta para desprender el material de las paredes.
- Dejar en reposo durante 20 minutos.
- Leer y anotar la línea de demarcación del nivel superior en suspensión que es la lectura de arcilla. Si se pasa después de 30 minutos sin que se pueda leer se debe repetir el ensayo.
- Para determinar el nivel de arena se introduce el dispositivo de lectura se baja de forma suave hasta que llegue a la arena, se asegura y se gira el disco hasta que los puntos de apoyo nos permitan leer el dato de la parte inferior del disco, es de gran importancia no presionar hacia abajo para no tomar un dato erróneo.
- No se toman los datos intermedios de las líneas de gradación de la probeta, se toma el inmediatamente superior.
- Se coloca el tapón y se invierte de arriba hacia abajo con el fin de que el material se desprenda para luego vaciar y lavar la probeta.

5. CALCULOS

$$\text{Equivalente de arena} = \frac{\text{Lectura de arena} \times 100}{\text{Lectura de arcilla}}$$

6. NORMA

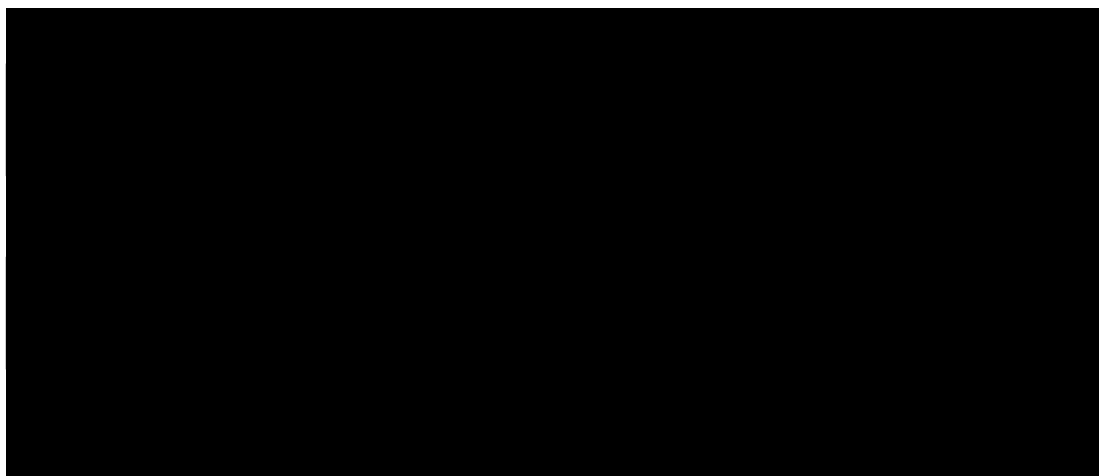
INVIAS E – 133

Anexo 6 Resultado de Ensayo de Masa Unitaria Seca y Compacta Compuesta de los Agregados Muscc

Valores de Masa Unitaria Seca Compacta Compuesta de la mezcla de agregados

	1	2	3	4	5	6
Masa Unitaria Compacta	1,93	2,01	2,04	2,04	2,02	1,93

Anexo 7 Matriz experimental para el cálculo del menor porcentaje de vacíos



Anexo 8 Cantidad de material granular en gramos para mezclas densas en caliente con porcentaje de asfalto 4.5%, 5.5% Y 6.5%

DISEÑO 4.5 %

MEZCLA MDC-2	Gradación	% Retenido	Peso en (gr)
1/2"	80-95%	12,5	143,3
3/8"	70-88%	8,5	97,4
# 4	49-65%	22	252,1
# 10	29-45%	20	229,2
# 40	14-25%	17,5	200,6
# 80	8-17%	7	80,2
# 200	4-8%	6,5	74,5
p-200	6-0%	6	68,8
			1146
peso probeta	1200 (gr)		
Asfalto	54 (gr)		
Áridos	1146 (gr)		

DISEÑO 5.5%

MEZCLA MDC-2	Gradación	% Retenido	Peso en (gr)
1/2"	80-95%	12,5	141,8
3/8"	70-88%	8,5	96,4
# 4	49-65%	22	249,5
# 10	29-45%	20	226,8
# 40	14-25%	17,5	198,5
# 80	8-17%	7	79,4
# 200	4-8%	6,5	73,7
p-200	6-0%	6	68
			1134
peso probeta	1200 (gr)		
Asfalto	66 (gr)		
Áridos	1134 (gr)		

DISEÑO 6.5%

MEZCLA MDC-2	Gradación	% Retenido	Peso en (gr)
1/2"	80-95%	12,5	140,3
3/8"	70-88%	8,5	95,4
# 4	49-65%	22	246,8
# 10	29-45%	20	224,4
# 40	14-25%	17,5	196,4
# 80	8-17%	7	78,5
# 200	4-8%	6,5	72,9
p-200	6-0%	6	67,3
			1122
peso probeta	1200 (gr)		
Asfalto	78 (gr)		
Áridos	1122 (gr)		

Anexo 9 Resistencia de Mezclas Bituminosas Empleando el Aparato Marshall

Tomado y adaptado, Normas de ensayo de materiales para carreteras. (Santafé de Bogotá, D, C., 1998)

1. OBJETIVO

- Determinar la resistencia a la deformación plástica de mezclas bituminosas para cualquier diseño de pavimentación. Este procedimiento se puede realizar tanto para el proyecto de mezclas en el laboratorio y también para el control en obra.

2. EQUIPO

- Dispositivos para moldear probetas con diámetro interior de 4" y una altura aproximada de 3" previstos de collar y placa de base.
- Extractor de probetas.
- Martillo de compactación formado por una base plana de (3 7/8") de diámetro y el martillo con un peso de 10 lb y a una altura de caída libre de 18".
- Pedestal de compactación.
- Soporte para molde.
- Mordaza y medidor de deformación.
- Prensa. Para la rotura de las probetas se empleara una prensa mecánica con una velocidad uniforme de desplazamiento de 50.8 mm por minuto.
- Guantes de soldadura para su mejor manejo de las probetas.
- Equipo establecido para baño de María con platina caliente para calentar el martillo de compactación y de molde.
- Balanzas.
- Un recipiente para calentar asfalto, bandejas metálicas, juego de tamices canastillas y papel filtro.
- Prensa para la rotura de las probetas con una velocidad de uniforme de desplazamiento de 50.8 mm por minuto

3. PREPARACION DE LA MUESTRA

- Se utilizaran 6 muestras por cada contenido de asfalto.

- Cantidad de material por probeta 1200 gr
- Los agregados se secan hasta pesos constante de 110°C y se hará una granulometría, según disposición del material en la planta, haciendo la combinación de lo disponible cumpliendo con lo exigido por el INVIAS.
- Franjas granulométricas para mezclas asfálticas en caliente.

(TABLA 1)

TIPO DE MEZCLA		TAMIZ (mm / U.S standard)									
		37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75	2.0	0.425	0.18	0.075
		1½"	1"	¾"	½"	⅜"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
		% PASA									
Densa	MDC-1		100	80-95	67-85	60-77	43-59	29-45	14-25	8-17	4-8
	MDC-2			100	80-95	70-88	49-65	29-45	14-25	8-17	4-8
	MDC-3					100	65-87	43-61	16-29	9-19	5-10
Semidensa	MSC-1		100	80-95	65-80	55-70	40-55	24-38	9-20	6-12	3-7
	MSC-2			100	80-95	65-80	40-55	24-38	9-20	6-12	3-7
Gruesa	MGC-0	100	75-95	65-85	47-67	40-60	28-46	17-32	7-17	4-11	2-6
	MGC-1		100	75-95	55-75	40-60	28-46	17-32	7-17	4-11	2-6
Alto modulo	MAM		100	80-95	65-80	55-70	40-55	24-38	10-20	8-14	6-9

Para prevenir segregaciones y garantizar los niveles de compactación y resistencia exigidos por la presente especificación, el material que produzca el Constructor deberá dar lugar a una curva granulométrica uniforme, sensiblemente paralela a los límites de la franja por utilizar, sin saltos bruscos de la parte superior de un tamiz a la inferior del tamiz adyacente y viceversa.

Se trabaja con el valor medio del porcentaje que pasa por cada tamiz (B) y por medio de este valor se obtiene el porcentaje retenido en cada tamiz (C). A continuación la siguiente tabla de ejemplo.

(TABLA 2)

TAMI Z	Porcentaje que pasa						
	GRAV A	Arena grues a	Aren a fina	llenart e	Gradació n	Gradació n Deseada (B)	% retenid o (C)
1"	100.0						
3/4"	90.4						
1/2"	58.1						
3/8"	37.5				100	100	0%
N°4	0.5	100			65 – 87	76%	24%
N°10		61.5			43 – 61	52%	24%
N°20		37.6					
N°40		0	100		16 – 29	22.5%	29.5%
N°80			49.7		9 – 19	14%	8.5%
N°200			10.2	100	4 – 8	6%	8%
						0%	6%

- Se calcula el peso del cemento asfáltico = $\frac{1200 * \% \text{ asfalto}}{100}$
- Se calcula el peso total de agregados que se obtiene de restar 1200 gr menos el peso del cemento asfáltico.
- El peso de los agregados por tamiz se obtiene de multiplicar el peso total de los agregados por el porcentaje retenido en cada uno de los tamices.
- Temperatura del cemento asfáltico, temperatura de los agregados mas o menos 20°C por encima.
- Depositar en un recipiente metálico el agregado y el cemento asfáltico cada uno por separado para calentar en la estufa controlando las temperaturas de cada uno de estos.
- Pesas en una balanza el recipiente en el cual se calentó el agregado y a este peso se le agrega los 1200 gr que debe tener la muestra. Se le hace un cráter en el centro al material para seguidamente adicionarle el cemento asfáltico hasta que la balanza quede en cero. Mezclar rápidamente con una cuchara metálica.

COMPACTACION DE LAS PROBETAS

- Consecutivamente con la preparación de la muestra se calienta el conjunto de collar, placa de base en el horno a una temperatura entre (110°C – 140°C).

- Se arma el molde, el collar y la base en el banco de compactación, seguidamente se le coloca un papel filtro en el fondo y luego se le adiciona el material ya mezclado, se le aplica con una espátula 25 golpes (15 en el perímetro y 10 en el interior). Se le mide la temperatura para asegurar que se encuentre en la temperatura adecuada de compactación. A continuación se aplica con el martillo de compactación el número de golpes según especificación de diseño.
- Retirar el molde del dispositivo de ajuste, se le quita el collar, la base y se invierte el molde de tal manera que la cara que no fue compactada sea compactada de la misma manera que lo fue la anterior cara.
- Se marca con una Crayola se mide su espesor (altura) y se pesa la muestra.
- Se realiza el mismo procedimiento para la demás muestras y se deja durante aproximadamente unas 24 horas para posteriormente ser ensayadas.

ENSAYOS SIGUIENTES A LA COMPACTACION DE LA PROBETAS

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

1. PESO ESPECIFICO "BULK"

$$G_b = \frac{W_a}{W_{ss} - W_w}$$

W_a= peso de la muestra seca en el aire.

W_{ss}= peso de la muestra superficialmente seca e internamente saturada.

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

2. ESTABILIDAD Y FLUJO

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

3. ANALISIS DE DENSIDAD Y VACIOS

- Se promedian los pesos específicos “bulk” de las 6 probetas elaboradas con el mismo porcentaje de asfalto. Este mismo valor se multiplica por 62.4 para obtener el dato en el sistema ingles.
- Se calcula el peso específico promedio del agregado total.

- $$PsAgr = \frac{Psagr + Psaf}{2}$$

Psagr = Peso especifico de agregado grueso.

Psaf = peso especifico de agregado fino.

- Se determina el peso específico máximo teórico.

$$Psmt = \frac{100}{\frac{\% \text{ de agregados}}{PsAgr} + \frac{\% \text{ cemento asfáltico}}{PsAsf}}$$

PsAgr = peso especifico del agregado.

PsAsf = peso especifico del asfalto.

- Se computa el porcentaje de asfalto como porcentaje del volumen total de probetas.
- Se calcula el porcentaje en volumen que ocupa el agregado con respecto al volumen total de la probeta.
- Se precisa el porcentaje de vacíos con respecto al volumen total de la probeta.
- Se halla el porcentaje de vacíos en los agregados minerales en la mezcla compactada, que es igual a la resta de 100 menos el volumen total de los agregados.
- Se calcula el porcentaje de vacíos con aire en la mezcla total con respecto la mezcla compactada.
- Se calcula la estabilidad corregida que es para aquellas probetas que no tenga la altura de 2.5 pulgadas según los factores que corresponda.

Anexo 10 Determinación del Contenido de Asfalto en Mezcla de Pavimento por Medio de la Centrifuga

Tomado y adaptado, Normas de ensayo de materiales para carreteras. (Santafé de Bogotá, D, C., 1998)

OBJETIVO

- Determinar cuantitativamente el porcentaje de bitumen, de la mezcla asfáltica por extracción en frío por medio de un solvente.
- Los agregados obtenidos mediante este método podrán emplearse para análisis granulométrico de los agregados y para realizar los ajustes con respecto al porcentaje óptimo de asfalto según diseño.

EQUIPO Y MATERIALES

- Horno, que logre mantener la temperatura a $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Aparato de extracción, (centrifuga).
- Balanzas
- Anillos filtrantes de fieltro o de papel, para el borde de la taza.
- Reactivos para lavado del material. La norma especifica el uso de bisulfuro de carbono, pero es altamente toxico, se recomienda tricloroetileno 1-1-1, benceno y en nuestro caso utilizaremos gasolina.

PROCEDIMIENTO

- Pesar la muestra.
- Pesar inicialmente el filtro.
- Colocar la muestra en la taza del aparato de extracción y se cubre totalmente en gasolina.
- Colocar el filtro colocando la campana y un recipiente en el desagüe para el vestidor de gasolina
- Se enciende la maquina de centrifugado incrementando su velocidad hasta 3600 r.p.m. Durante este proceso se le añade otra cantidad de gasolina hasta que la que salga sea totalmente clara hay se termina este proceso de lavado.
- Se detiene la maquina se retira la cubierta y el filtro se limpia bien que no quede material adherido a este.
- Se pesa el filtro y el material. De la diferencia del peso inicial y el peso final tanto del filtro como del agregado se saca el porcentaje del contenido de asfalto de esta mezcla.

NORMA

I.N.V. E - 703

Anexo 11 Criterios para tener en cuenta en el diseño de mezcla asfáltica

TIPO DE CAPA	ESPESOR COMPACTO (mm)	TIPO DE MEZCLA
Rodadura	30-40 40-60 >60	MDC-3
		MDC-2 - MSC-2
		MDC-1 - MDC-2 - MSC-2
intermedio	>50	MDC-1 - MSC-1
Base	>75	MSC-1 - MGC-0 - MGC-1
Alto modulo	60-130	MAM
Bacheos	50-75 >75	MSC-1 – MGC-1 MSC-1-MGC-0- MGC-1

Anexo 12 Registro Fotográfico del Trabajo Experimental Realizado

Ensayo de masa unitaria para los agregados utilizados



Verificación del peso para el ensayo de masa unitaria para los agregados utilizados



Ensayo de solidez: vertido de la solución de sodio



Los agregados se dejan en inmersión durante 18 horas



Verificación de la temperatura del agregado y el asfalto



Selección de los pesos de los agregados



Adición del porcentaje de asfalto, previamente se controla la temperatura



Se realiza la mezcla del asfalto con los agregados.



Colocación del papel filtro en el molde cilíndrico del banco de compactación



Verificación de la temperatura durante el proceso de compactación



Acomodación manual de la mezcla asfalto-árido mediante 25 golpes, 15 en el perímetro y 10 al interior del molde



Proceso de compactación, un total de 75 golpes



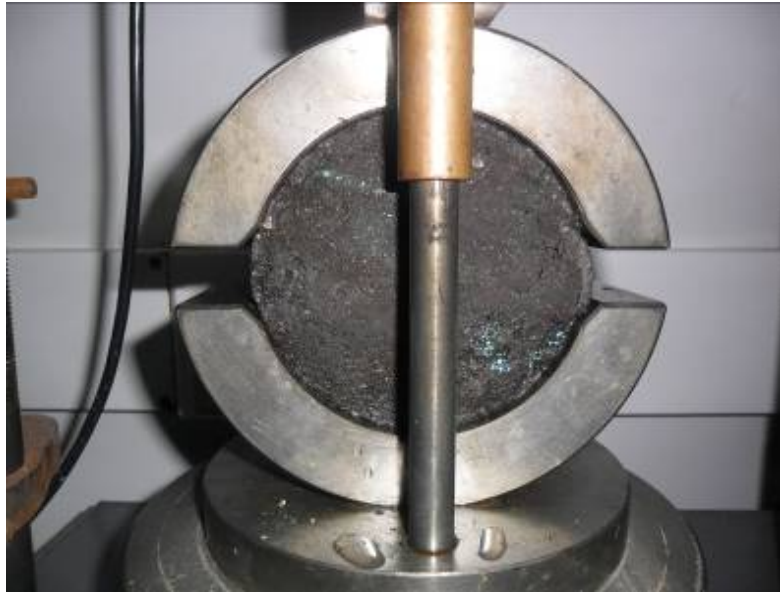
Las probetas se sumergen 30 minutos a una temperatura de $60^{\circ}\text{C} \pm 1$.



Ensayo de las briquetas en la máquina de compresión Marshall



Colocación de la briqueta en la prensa



Verificación de la instalación de los deformímetros para medir deformaciones



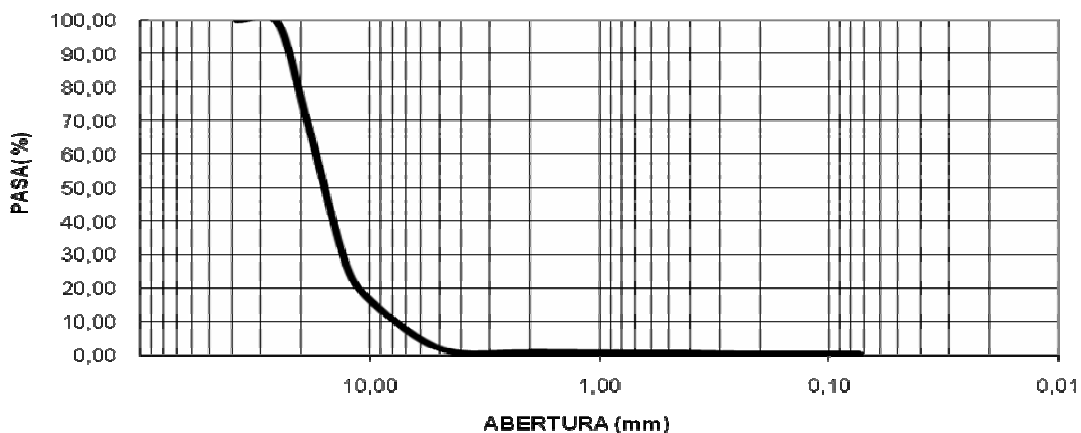
Anexo 13 Resultados Granulometría Agregado Grueso



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS DE MEZCLAS ASFALTICAS I.N.V. E - 213	MUESTRA N°: 1	CÁLCULO: VICTOR HERNANDO VIVAS MEJIA
	DESCRIPCIÓN: AGREGADO GRUESO	ID: 71011
PESO MUESTRA (gr)		9.260,0
PESO MUESTRA LAVADA POR TAMIZ N° 200 (gr)		9.223
		2,3

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO			Pasa (%)
		Retenido			
		Parcial (gr)	Parcial (%)	Acumulado (%)	REAL
1 1/2"	38,10	0,0	0,0	0,0	100,00
1"	25,40	66,4	0,7	0,7	99,28
3/4"	19,05	2.560,0	27,6	28,4	71,64
1/2"	12,70	4.096,0	44,2	72,6	27,40
3/8"	9,52	1.129,8	12,2	84,8	15,20
Nº 4	4,75	1.236,4	13,4	98,1	1,85
Nº 10	2,000	79,0	0,9	99,0	1,00
Nº 40	0,420	28,2	0,3	99,3	0,69
Nº 80	0,210	11,4	0,1	99,4	0,57
Nº 200	0,074	13,3	0,1	99,6	0,43
Fondo	.....	39,5	0,4	100,0	.....

GRANULOMETRÍA CON LAVADO SOBRE TAMIZ N° 200





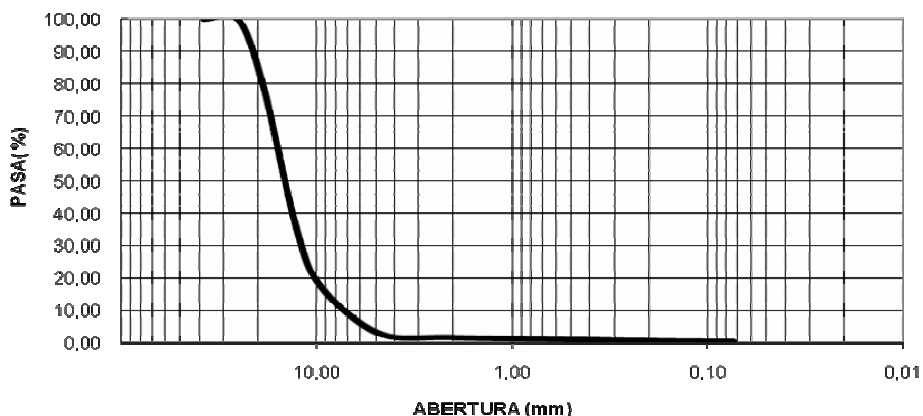
**Universidad
Pontificia
Bolivariana**

SECCIONAL BUCARAMANGA

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS DE MEZCLAS ASFALTICAS I.N.V. E - 213	MUESTRA N°: 2	CÁLCULO: VICTOR HERNANDO VIVAS MEJIA
	DESCRIPCIÓN: AGREGADO GRUESO	
PESO MUESTRA (gr)		ID: 71011
PESO MUESTRA LAVADA POR TAMIZ N° 200 (gr)		4.742, 3
		4.721
		4,3

TAMIZ	ABERTUR A (mm)	PESO			Pasa (%)
		Retenido			
		Parcial (gr)	Parcial (%)	Acumulado (%)	REAL
1 1/2"	38,10	0,0	0,0	0,0	100,00
1"	25,40	0,0	0,0	0,0	100,00
3/4"	19,05	902,2	19,0	19,0	80,98
1/2"	12,70	2.151,4	45,4	64,4	35,61
3/8"	9,52	847,8	17,9	82,3	17,73
Nº 4	4,75	695,8	14,7	96,9	3,06
Nº 10	2,000	57,2	1,2	98,1	1,85
Nº 40	0,420	36,5	0,8	98,9	1,08
Nº 80	0,210	17,1	0,4	99,3	0,72
Nº 200	0,074	8,2	0,2	99,4	0,55
Fondo	.....	26,1	0,6	100,0	.....

GRANULOMETRÍA CON LAVADO SOBRE TAMIZ N° 200



Anexo 14 Resultados del Ensayo de Granulometría en Finos

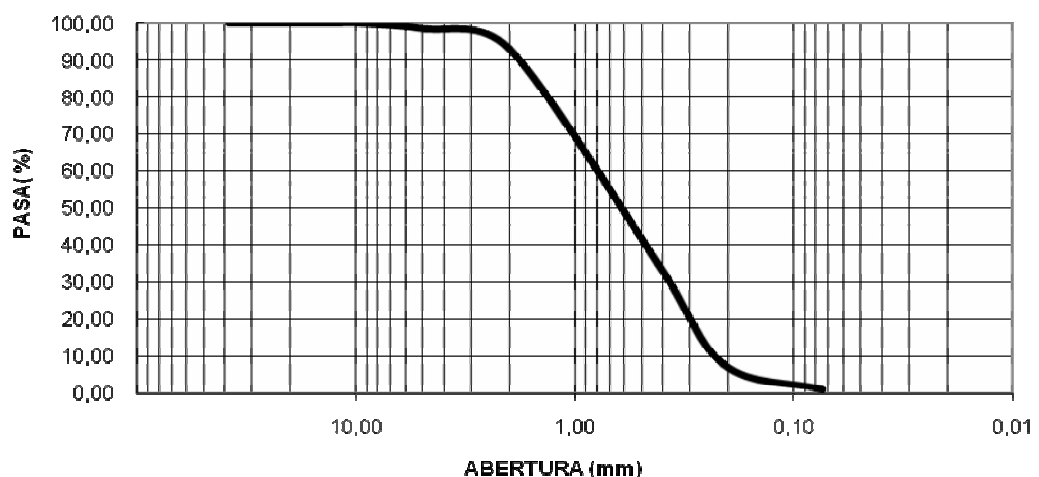


**Universidad
Pontificia
Bolivariana**
SECCIONAL BUCARAMANGA

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS I.N.V. E - 213	MUESTRA N°: 1	CÁLCULO: VICTOR HERNANDO VIVAS MEJIA
	DESCRIPCIÓN: AGREGADO FINO	ID: 71011
PESO MUESTRA (gr)		1.424,8
PESO MUESTRA LAVADA POR TAMIZ N° 200 (gr)		1.413
		4,2

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO			Pasa (%)
		Retenido			
		Parcial (gr)	Parcial (%)	Acumulado (%)	REAL
1 1/2"	38,10	0,0	0,0	0,0	100,00
1"	25,40	0,0	0,0	0,0	100,00
3/4"	19,05	0,0	0,0	0,0	100,00
1/2"	12,70	0,0	0,0	0,0	100,00
3/8"	9,52	0,0	0,0	0,0	100,00
Nº 4	4,75	22,4	1,6	1,6	98,43
Nº 10	2,000	76,8	5,4	7,0	93,04
Nº 40	0,420	827,8	58,1	65,1	34,94
Nº 80	0,210	387,6	27,2	92,3	7,73
Nº 200	0,074	94,2	6,6	98,9	1,12
Fondo	.....	16,0	1,1	100,0	.....

GRANULOMETRÍA CON LAVADO SOBRE TAMIZ N° 200



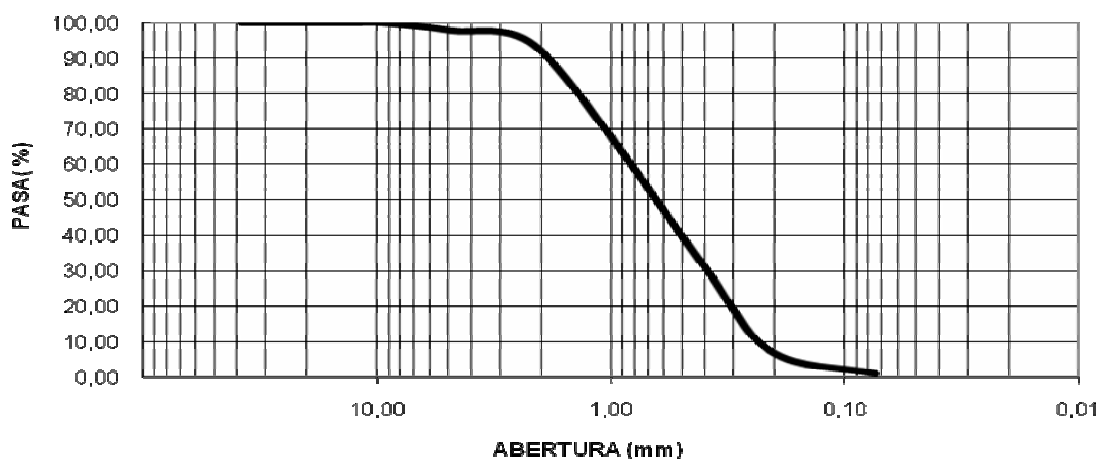


**Universidad
Pontificia
Bolivariana**
SECCIONAL BUCARAMANGA

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS I.N.V. E - 213	MUESTRA N°: 2	CÁLCULO: VICTOR HERNANDO VIVAS MEJIA
	DESCRIPCIÓN: AGREGADO FINO	ID: 71011
PESO MUESTRA (gr)		1.798,8
PESO MUESTRA LAVADA POR TAMIZ N° 200 (gr)		1.787
		6,6

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO			Pasa (%)
		Retenido			
		Parcial (gr)	Parcial (%)	Acumulado (%)	REAL
1 1/2"	38,10	0,0	0,0	0,0	100,00
1"	25,40	0,0	0,0	0,0	100,00
3/4"	19,05	0,0	0,0	0,0	100,00
1/2"	12,70	0,0	0,0	0,0	100,00
3/8"	9,52	0,0	0,0	0,0	100,00
N° 4	4,75	44,0	2,4	2,4	97,55
N° 10	2,000	97,8	5,4	7,9	92,12
N° 40	0,420	1.065,4	59,2	67,1	32,89
N° 80	0,210	457,2	25,4	92,5	7,47
N° 200	0,074	115,6	6,4	99,0	1,05
Fondo	.....	18,8	1,0	100,0	.....

GRANULOMETRÍA CON LAVADO SOBRE TAMIZ N° 200





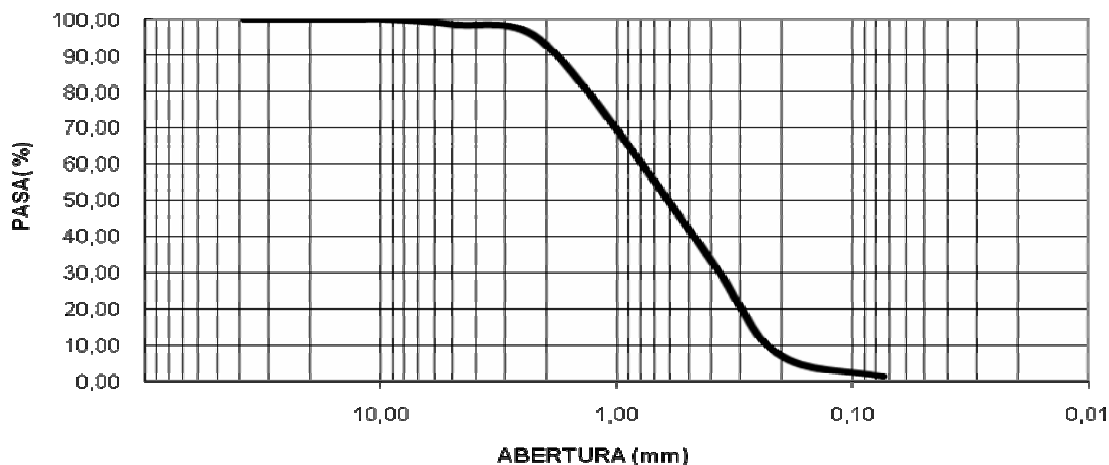
**Universidad
Pontificia
Bolivariana**

SECCIONAL BUCARAMANGA

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS I.N.V. E - 213	MUESTRA N°:		CÁLCULO:
	3		VÍCTOR HERNANDO VIVAS MEJÍA
	DESCRIPCIÓN:		ID:
	AGREGADO FINO		71011
PESO MUESTRA (gr)			1.824,8
PESO MUESTRA LAVADA POR TAMIZ N° 200 (gr)			1.810,4
			6,8

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO			Pasa (%)
		Retenido			
		Parcial (gr)	Parcial (%)	Acumulado (%)	REAL
1 1/2"	38,10	0,0	0,0	0,0	100,00
1"	25,40	0,0	0,0	0,0	100,00
3/4"	19,05	0,0	0,0	0,0	100,00
1/2"	12,70	0,0	0,0	0,0	100,00
3/8"	9,52	0,0	0,0	0,0	100,00
Nº 4	4,75	29,2	1,6	1,6	98,40
Nº 10	2,000	98,0	5,4	7,0	93,03
Nº 40	0,420	1.052,0	57,7	64,6	35,38
Nº 80	0,210	504,8	27,7	92,3	7,72
Nº 200	0,074	119,6	6,6	98,8	1,16
Fondo	.....	21,2	1,2	100,0	.....

GRANULOMETRÍA CON LAVADO SOBRE TAMIZ N° 200



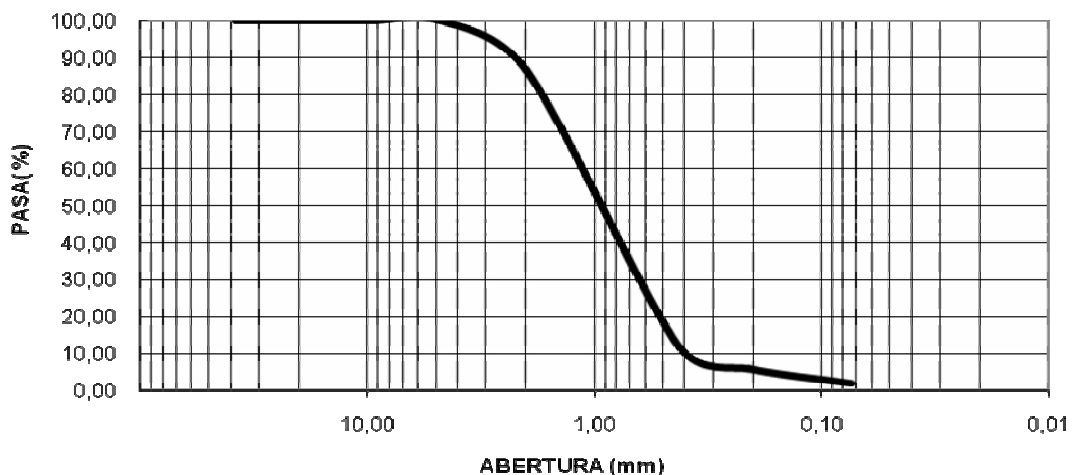
Anexo 15 Resultados de ensayo granulometria limalla



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS DE MEZCLAS ASFALTICAS I.N.V. E - 213	MUESTRA N°:		CÁLCULO: VICTOR HERNANDO VIVAS MEJIA
	DESCRIPCIÓN:	LIMALLA	ID: 71011
PESO MUESTRA (gr)			3.723,8
PESO MUESTRA LAVADA POR TAMIZ N° 200 (gr)			3.717
			69,4

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO			Pasa (%)
		Retenido			
		Parcial (gr)	Parcial (%)	Acumulado (%)	REAL
1 1/2"	38,10	0,0	0,0	0,0	100,00
1"	25,40	0,0	0,0	0,0	100,00
3/4"	19,05	0,0	0,0	0,0	100,00
1/2"	12,70	0,0	0,0	0,0	100,00
3/8"	9,52	0,0	0,0	0,0	100,00
Nº 4	4,75	0,0	0,0	0,0	100,00
Nº 10	2,000	501,3	13,5	13,5	86,54
Nº 40	0,420	2.787,8	74,9	88,3	11,67
Nº 80	0,210	215,6	5,8	94,1	5,88
Nº 200	0,074	142,9	3,8	98,0	2,05
Fondo	.....	76,2	2,0	100,0	.....

GRANULOMETRIA CON LAVADO SOBRE TAMIZ N° 200





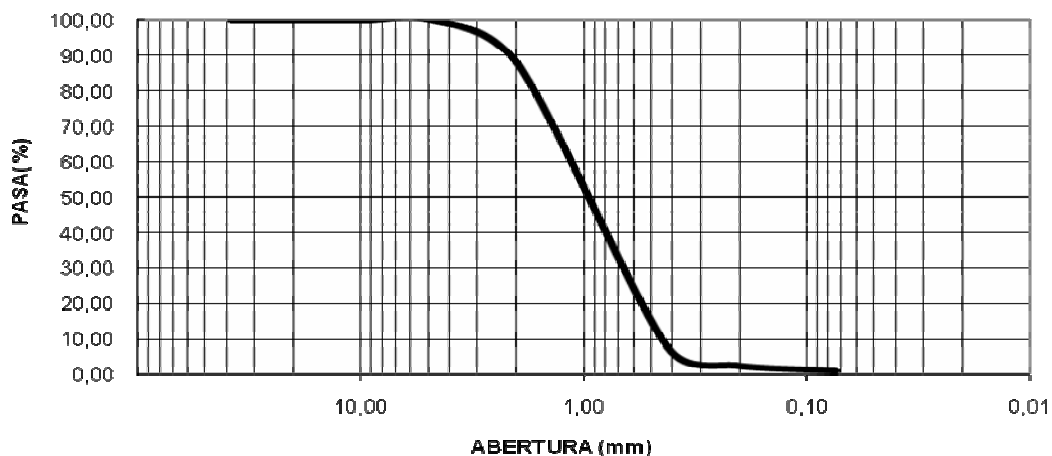
**Universidad
Pontificia
Bolivariana**

SECCIONAL BUCARAMANGA

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS DE MEZCLAS ASFALTICAS I.N.V. E - 213	MUESTRA N°:		CÁLCULO: VICTOR HERNANDO VIVAS MEJIA
	2		
	DESCRIPCIÓN:		ID:
	LIMALLA		71011
PESO MUESTRA (gr)			3.453,2
PESO MUESTRA LAVADA POR TAMIZ N° 200 (gr)			3.446
			29,6

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO			Pasa (%)
		Retenido			
		Parcial (gr)	Parcial (%)	Acumulado (%)	REAL
1 1/2"	38,10	0,0	0,0	0,0	100,00
1"	25,40	0,0	0,0	0,0	100,00
3/4"	19,05	0,0	0,0	0,0	100,00
1/2"	12,70	0,0	0,0	0,0	100,00
3/8"	9,52	0,0	0,0	0,0	100,00
Nº 4	4,75	0,0	0,0	0,0	100,00
Nº 10	2,000	419,0	12,1	12,1	87,87
Nº 40	0,420	2.760,0	79,9	92,1	7,94
Nº 80	0,210	174,4	5,1	97,1	2,89
Nº 200	0,074	63,2	1,8	98,9	1,06
Fondo	.....	36,6	1,1	100,0	.....

GRANULOMETRÍA CON LAVADO SOBRE TAMIZ N° 200





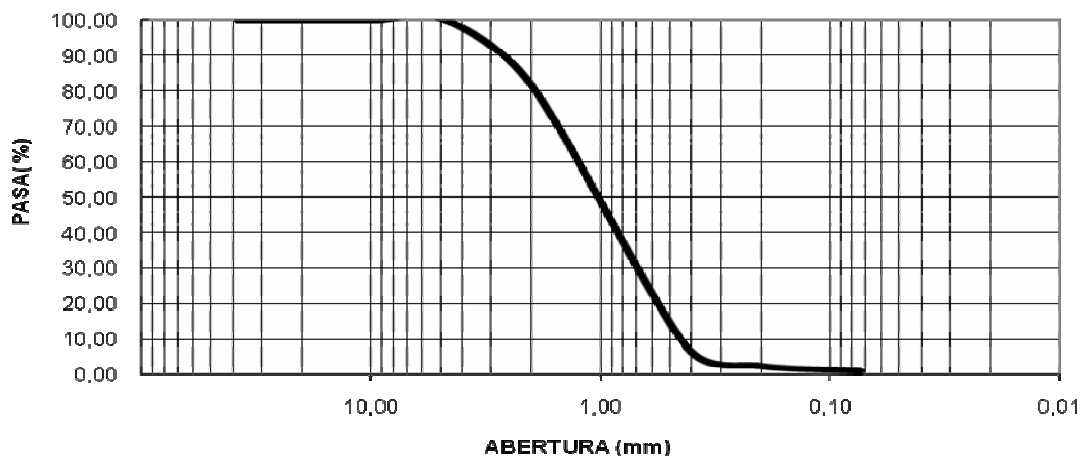
**Universidad
Pontificia
Bolivariana**

SECCIONAL BUCARAMANGA

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS DE MEZCLAS ASFALTICAS I.N.V. E - 213	MUESTRA N°:		CÁLCULO: VICTOR HERNANDO VIVAS MEJIA
	3		
	DESCRIPCIÓN:		ID:
	LIMALLA		71011
PESO MUESTRA (gr)			1.688,2
PESO MUESTRA LAVADA POR TAMIZ N° 200 (gr)			1.682,8
			12,6

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO			Pasa (%)
		Retenido			
		Parcial (gr)	Parcial (%)	Acumulado (%)	REAL
1 1/2"	38,10	0,0	0,0	0,0	100,00
1"	25,40	0,0	0,0	0,0	100,00
3/4"	19,05	0,0	0,0	0,0	100,00
1/2"	12,70	0,0	0,0	0,0	100,00
3/8"	9,52	0,0	0,0	0,0	100,00
Nº 4	4,75	0,0	0,0	0,0	100,00
Nº 10	2,000	312,8	18,5	18,5	81,47
Nº 40	0,420	1.243,2	73,6	92,2	7,83
Nº 80	0,210	88,8	5,3	97,4	2,57
Nº 200	0,074	25,4	1,5	98,9	1,07
Fondo	.....	18,0	1,1	100,0	.....

GRANULOMETRÍA CON LAVADO SOBRE TAMIZ N° 200



ANEXO 16 RESULTADOS DE ENSAYO DE CARAS FRACTURADAS



PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS I.N.V. E - 227		MUESTRA N°:		CÁLCULO:	
		N.A.		VICTOR HERNANDO VIVAS MEJIA	
		DESCRIPCIÓN: AGREGADO GRUESO		ID: 71011	
TAMIZ		Q	F	N	P
		PESO MUESTRA (gr)	PESO MATERIAL (gr)	PESO MATERIAL (gr)	(%)
PASA	RETENIDO	REAL	CARAS FRACTURADAS	CON CARAS NO FRACTURADAS	CARAS FRACTURADAS
1 1/2"	1"	0	0	0	0,00
1"	3/4"	1501	1153,8	347,2	76,87
3/4"	1/2"	500	386,2	113,8	77,24
1/2"	3/8"	200,8	151,6	49,2	75,50
(P) Porcentaje de partículas con el número especificado de caras fracturadas					
(F) Masa o número de partículas fracturadas con al menos el número de caras fracturadas especificado.					
(Q) Masa o número de partículas en la categoría de cuestionable o frontera					
(N) Masa o número de partículas en la categoría de no fracturadas o que no cumplen en el criterio de partículas fracturadas					

Anexo 17 Resultados de contenido de asfalto



CONTENIDO DE ASFALTO I.N.V. E - 703	MUESTRA N°: 1		CÁLCULO: VICTOR HERNANDO VIVAS MEJIA
	DESCRIPCIÓN: BRIQUETAS		ID: 71011

PORCENTAJE DE ASFALTO					
MUESTRA	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	PESO INICIAL FILTRO (g)	PESO FINAL FILTRO (g)	% ASFALTO
BRIQUETA 6,5% ASFALTO	1188,3	1110,3	12,7	13,6	6,49
BRIQUETA 5,5% ASFALTO	1183,2	1117,0	12,7	13,3	5,55
BRIQUETA 4,5% ASFALTO	1176,3	1124,5	12,6	13,3	4,35

Anexo 18 Resultados desgaste en la maquina de los ángeles



**Universidad
Pontificia
Bolivariana**

SECCIONAL BUCARAMANGA

DESGASTE EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES INV E – 218				MUESTRA N°:				CÁLCULO:	
				1				VICTOR HERNANDO VIVAS MEJIA	
				DESCRIPCIÓN: AGREGADO GRUESO				ID: 71011	
TAMAÑO FRACCIÓN				Peso real, g	NORMA				
					Pesos y granulometrías de la muestra para ensayo (gr)				
Pasa tamiz		Retenido tamiz			Tipo de granulometría				
mm	N°	mm	N°		A	B	C	D	
37,5	11/2"	25,0	1"			1 250 ± 25			
25,0	1"	19,0	3/4"		1 250 ± 25				
19,0	3/4"	12,5	1/2"	2.505,8	1 250 ± 10	2 250 ± 10			
12,5	1/2"	9,5	3/8"	2.506,0	1 250 ± 10	2 250 ± 10			
9,5	3/8"	6,3	N° 3				2 250 ± 10		
6,3	N° 3	4,75	N° 4				2 250 ± 10		
4,75	N° 4	2,36	N° 8					5 000 ± 10	
Peso total muestra (gr)				5.011,8	5 000 ± 10	5 000± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10	
CARGA ABRASIVA		N° esferas		11	12	11	8	6	
		Peso total (gr)		5011,8					
		N° vueltas		500					

RESULTADOS

Tipo de granulometría	B
Peso inicial muestra, g	5.011,8
Peso final muestra lavada en tamiz 1,70 mm (N°12), g	3.735,0
DESGASTE, %	25

Anexo 19 Resultados masas unitarias sueltas y compactas



PESO UNITARIO Y PORCENTAJE DE VACIOS DE LOS AGREGADOS COMPACTADOS O SUELTOS I.N.V. E – 217 - 07	MUESTRA N°: N.A.	CÁLCULO: VICTOR HERNANDO VIVAS MEJIA
	DESCRIPCIÓN: TRITURADO Y ARENA	ID:
		71011

ARENA		
Peso molde (g)	3096	
Diámetro (cm)	18,3	
Altura (cm)	18,4	
Volumen molde (cm ³)	4839,6	
	Suelta	Compacta
Masa molde y agregado (g)	10450	11090
Masa molde y agregado (g)	10460	11100
Masa molde y agregado (g)	10480	11090
Masa promedio (g)	7367	7997
Peso unitario agregado fino (g/cm ³)	1,522	1,652
Peso unitario agregado fino (Kg/m ³)	1522	1652

TRITURADO		
Peso molde (g)	3096	
Diámetro (cm ³)	18,3	
Altura (cm ³)	18,4	
Volumen molde (cm ³)	4839,6	
	Suelta	Compacta
Masa molde y agregado (g)	10380	11120
Masa molde y agregado (g)	10420	11160
Masa molde y agregado (g)	10350	11250
Masa promedio (g)	7287,3	8080,7
Peso unitario agregado grueso (g/cm ³)	1,506	1,670
Peso unitario agregado grueso (Kg/m ³)	1506	1670

Anexo 20 Resultado gravedad específico y absorción de agregado fino



GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS I.N.V. E – 222 - 223	MUESTRA N°: 1	CÁLCULO: VICTOR HERNANDO VIVAS MEJIA
	DESCRIPCIÓN: AGREGADO FINO	ID: 71011
NOMBRE		VALOR
Peso en el aire de la muestra seca (A)		489,8
Peso del picnómetro aforado lleno de agua (B)		629,9
Peso total del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua (C)		936,4
Peso de la muestra saturada y superficialmente seca (s)		500,0
Gravedad específica bulk (Gsb)		2,53
Gravedad específica bulk sss(Gsb _{sss})		2,58
Gravedad específica aparente (Gsa)		2,67
Absorción		2,08%

Anexo 21 Resultado gravedad específico y absorción de agregado grueso



GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS I.N.V. E – 222 - 223	MUESTRA N°: 2	CÁLCULO: VICTOR HERNANDO VIVAS MEJIA
	DESCRIPCIÓN: Muestra agregado grueso	ID: 71011
NOMBRE		VALOR
Peso en el aire de la muestra seca (A)		4088,2
Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca (B)		4140,0
Peso sumergido en agua de la muestra saturada (C)		2532,5
Gravedad específica bulk (Gsb)		2,54
Gravedad específica bulk sss(Gsb _{sss})		2,58
Gravedad específica aparente (Gsa)		2,63
Absorción		1,27%

Anexo 22 Resultado gravedad específico y absorción de la limalla



GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS I.N.V. E – 222 - 223	MUESTRA N°: 1	CÁLCULO: VICTOR HERNANDO VIVAS MEJIA
	DESCRIPCIÓN: MUESTRA LIMALLA	ID: 71011
NOMBRE		VALOR
Peso en el aire de la muestra seca (A)		498,5
Peso del picnómetro aforado lleno de agua (B)		629,0
Peso total del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua (C)		1050,2
Peso de la muestra saturada y superficialmente seca (s)		500,0
Gravedad específica bulk (Gsb)		6,33
Gravedad específica bulk sss(Gsb _{sss})		6,35
Gravedad específica aparente (Gsa)		6,45
Absorción		0,30%

Anexo 23 Resultados de sanidad de los agregados



AGREGADO GRUESO							
FRACCIÓN		% RET PARCIAL INICIAL	PESO FRACCIÓN ENSAYADA	No INICIAL PARTICULAS	PERDIDA TOTAL POR FRACCION	PERDIDA PONDERADA FRACCION	No FINAL PARTÍCULAS
PASA	RETENIDO						
1 "	3/4"	20,2	504,3	35	1,4	0,3	33
3/4"	1/2"	45,7	671,1	107	5,2	2,4	114
1/2"	3/8"	18,0	330,7	144	5,6	1,0	135
3/8"	No.4	14,8	300,2	-	3,5	0,5	-
TOTALES		98,71	1806,3	-	15,6	4,2	-
AGREGADO FINO							
FRACCIÓN		% RET PARCIAL INICIAL	PESO FRACCIÓN ENSAYADA	No INICIAL PARTICULAS	PERDIDA TOTAL POR FRACCION	PERDIDA PONDERADA FRACCION	No FINAL PARTÍCULAS
PASA	RETENIDO						
No 4	No 8	0,00	100,0	-	100,0	0,0	-
No 8	No 16	12,50	100,0	-	15,7	2,0	-
No 16	No 30	32,04	100,0	-	15,4	4,9	-
No 30	No 50	30,00	100,0	-	14,4	4,3	-
No 50	FONDO	-	-	-	-	-	-
TOTALES		74,54	400,0	-	-	11,2	-
ANÁLISIS CUALITATIVO AGREGADO GRUESO							
CICLO	FRACCIÓN		No INICIAL PARTICULAS	No PARTICULAS DESPUES DE CADA CICLO			
	PASA	RETENIDO		BUEN ESTADO	PARTIDAS	ESCAMOSAS	DESINTEGRADAS
1	1"	3/4"	35	32	0	3	0
	3/4"	1/2"	107	107	0	0	0
	1/2"	3/8"	144	144	0	0	0
2	1"	3/4"	35	29	0	4	0
	3/4"	1/2"	107	102	0	2	0
	1/2"	3/8"	144	129	0	11	0
3	1"	3/4"	35	22	0	10	0
	3/4"	1/2"	107	88	0	14	0
	1/2"	3/8"	144	122	0	15	0
4	1"	3/4"	35	8	0	19	0
	3/4"	1/2"	107	54	0	40	0
	1/2"	3/8"	144	74	0	54	0
5	1"	3/4"	35	5	0	22	0
	3/4"	1/2"	107	18	3	59	0
	1/2"	3/8"	144	36	1	74	0

Anexo 24 Resultado de índice de aplanamiento y alargamiento



ÍNDICE DE APLANAMIENTO Y DE ALARGAMIENTO DE LOS AGREGADOS PARA CARRETERAS I.N.V. E - 230			MUESTRA N°: 1		CÁLCULO: VICTOR HERNANDO VIVAS MEJIA		
			DESCRIPCIÓN: TRITURADO		ID: 71011		
TAMIZ	Peso Retenido	% Retenido	Peso Fracción	APLANA M W_{pasa}	INDICE	INDICE * Ri	
	(g)	R _i	W _i (g)	W _{ap i} (g)		Aplanam	Alargam
1" - 3/4"	2683,80	19,11	2683,80	433,40	41,51	308,60	793,29
3/4" - 1/2"	1247,40	45,58	1247,40	18,20	19,85	66,50	904,73
1/2" - 3/8"	460,20	17,96	460,20	15,80	17,04	61,66	305,97
3/8" - 1/4"	86,80	14,74	86,80	19,00	39,63	322,65	584,17
SUMATORIA		97,39				759,4	2588,2

ÍNDICE DE APLANAMIENTO	7,80
ÍNDICE DE ALARGAMIENTO	26,58

Anexo 25 Masas Unitarias Mezcla de Agravados con Porcentaje de Limalla



PESO UNITARIO Y PORCENTAJE DE VACIOS DE LOS AGREGADOS COMPACTADOS O SUELTOS I.N.V. E – 217 - 07	MUESTRA N°: 1	CÁLCULO: VICTOR HERNANDO VIVAS MEJIA	
	DESCRIPCIÓN: TRITURADO – ARENA - LIMALLA	ID: 71011	
10%LIMALLA, 70% GRUESO Y 20% FINO			
Peso molde (g)		3096	
Diámetro (cm³)		18,3	
Altura (cm³)		18,4	
Volumen molde (cm³)		4839,6	
		Suelta	Compacta
Masa molde y agregado (g)		12050	12850
Masa molde y agregado (g)		12130	12910
Masa molde y agregado (g)		12220	12890
Masa promedio (g)		9037,3	9787,3
Peso unitario agregado grueso (g/cm³)		1,867	2,022
Peso unitario agregado grueso (Kg/m³)		1867	2022

PESO UNITARIO Y PORCENTAJE DE VACIOS DE LOS AGREGADOS COMPACTADOS O SUELTOS I.N.V. E – 217 - 07	MUESTRA N°: 2	CÁLCULO: VICTOR HERNANDO VIVAS MEJIA
	DESCRIPCIÓN: TRITURADO – ARENA - LIMALLA	ID: 71011
10%LIMALLA, 50% GRUESO Y 40% FINO		
Peso molde (g)	3096	
Diámetro (cm ³)	18,3	
Altura (cm ³)	18,4	
Volumen molde (cm ³)	4839,6	
	Suelta	Compacta
Masa molde y agregado (g)	12450	12950
Masa molde y agregado (g)	12440	12970
Masa molde y agregado (g)	12440	12980
Masa promedio (g)	9347,3	9870,7
Peso unitario agregado grueso (g/cm ³)	1,931	2,040
Peso unitario agregado grueso (Kg/m ³)	1931	2040

PESO UNITARIO Y PORCENTAJE DE VACIOS DE LOS AGREGADOS COMPACTADOS O SUELTOS I.N.V. E – 217 - 07	MUESTRA N°: 3	CÁLCULO: VICTOR HERNANDO VIVAS MEJIA
	DESCRIPCIÓN: TRITURADO – ARENA - LIMALLA	ID: 71011

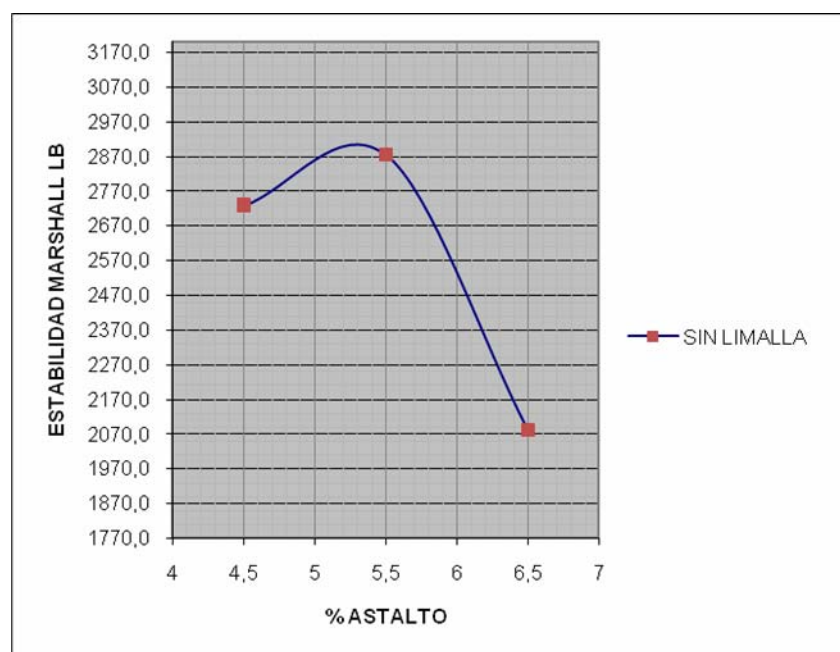
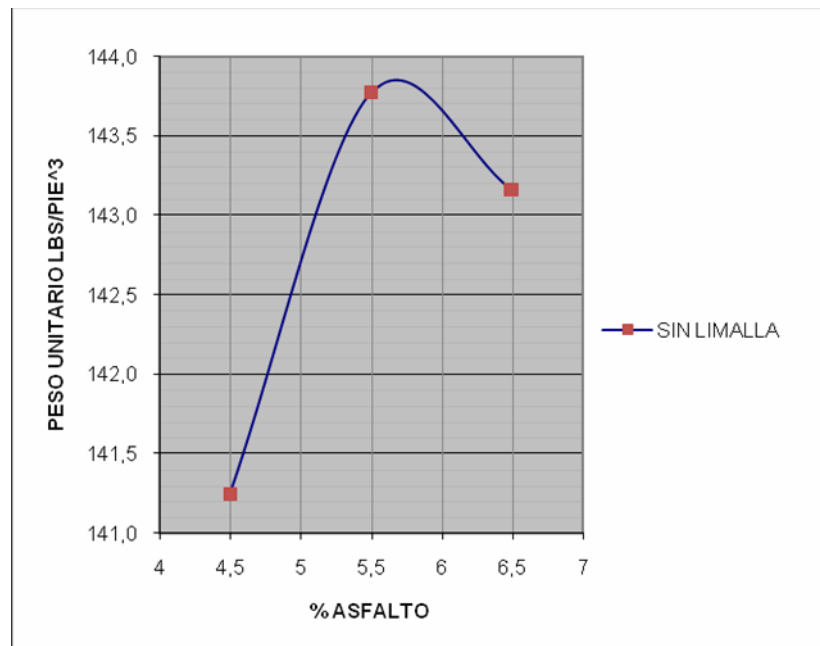
10%LIMALLA, 40% GRUESO Y 50% FINO		
Peso molde (g)	3096	
Diámetro (cm ³)	18,3	
Altura (cm ³)	18,4	
Volumen molde (cm ³)	4839,6	
	Suelta	Compacta
Masa molde y agregado (g)	12362	12886
Masa molde y agregado (g)	12335	12866
Masa molde y agregado (g)	12341	12847
Masa promedio (g)	9250,0	9770,3
Peso unitario agregado grueso (g/cm ³)	1,911	2,019
Peso unitario agregado grueso (Kg/m ³)	1911	2019

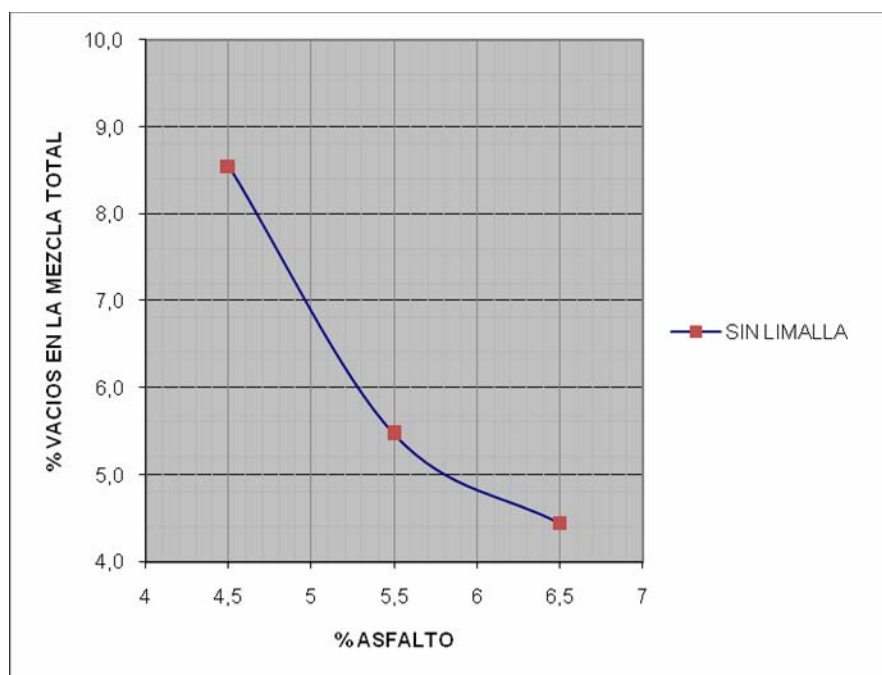
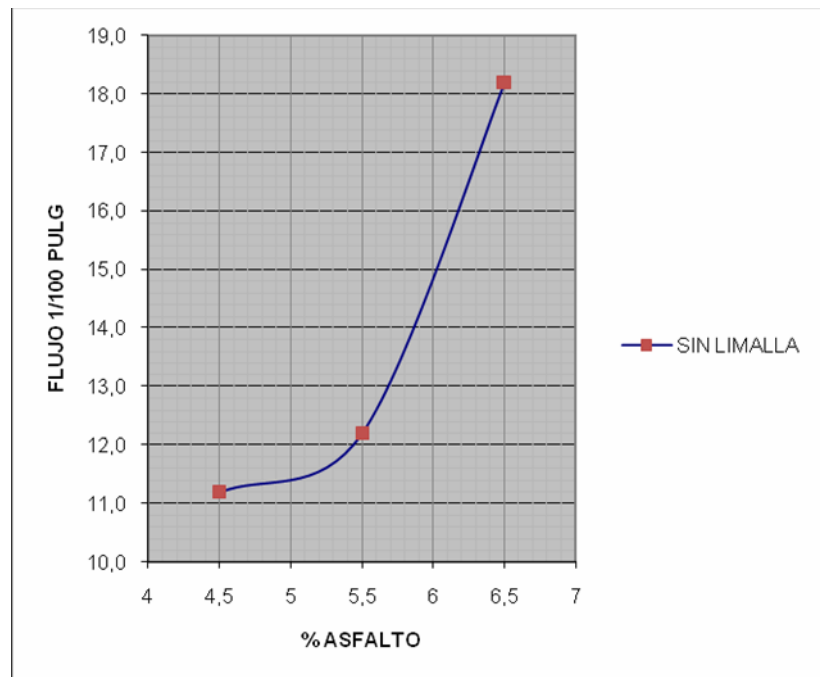
PESO UNITARIO Y PORCENTAJE DE VACIOS DE LOS AGREGADOS COMPACTADOS O SUELTOS I.N.V. E – 217 - 07	MUESTRA N°: 4	CÁLCULO: VICTOR HERNANDO VIVAS MEJIA
	DESCRIPCIÓN: TRITURADO – ARENA - LIMALLA	ID: 71011
10%LIMALLA, 60% GRUESO Y 30% FINO		
Peso molde (g)	3096	
Diámetro (cm ³)	18,3	
Altura (cm ³)	18,4	
Volumen molde (cm ³)	4839,6	
	Suelta	Compacta
Masa molde y agregado (g)	11980	13080
Masa molde y agregado (g)	12130	12970
Masa molde y agregado (g)	12220	12910
Masa promedio (g)	9014,0	9890,7
Peso unitario agregado grueso (g/cm ³)	1,863	2,044
Peso unitario agregado grueso (Kg/m ³)	1863	2044

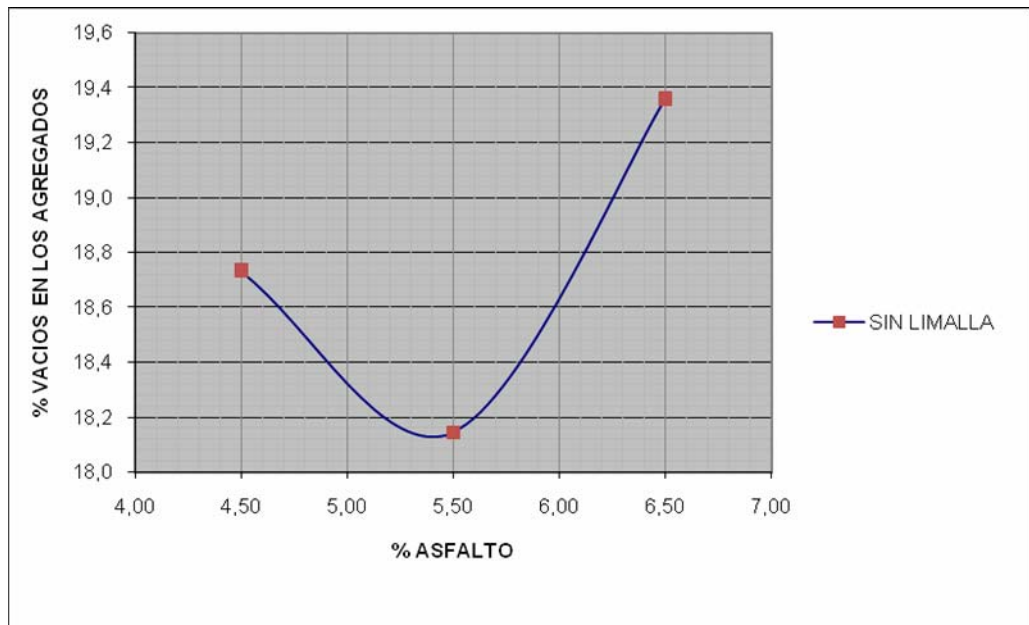
PESO UNITARIO Y PORCENTAJE DE VACIOS DE LOS AGREGADOS COMPACTADOS O SUELTOS I.N.V. E – 217 - 07	MUESTRA N°: 5	CÁLCULO: VICTOR HERNANDO VIVAS MEJIA
	DESCRIPCIÓN: TRITURADO – ARENA - LIMALLA	ID: 71011
10%LIMALLA, 80% GRUESO Y 10% FINO		
Peso molde (g)	3096	
Diámetro (cm ³)	18,3	
Altura (cm ³)	18,4	
Volumen molde (cm ³)	4839,6	
	Suelta	Compacta
Masa molde y agregado (g)	11680	12430
Masa molde y agregado (g)	11810	12540
Masa molde y agregado (g)	11700	12300
Masa promedio (g)	8634,0	9327,3
Peso unitario agregado grueso (g/cm ³)	1,784	1,927
Peso unitario agregado grueso (Kg/m ³)	1784	1927

Anexo 26 Diseño Mezclas Asfáltica Método Marshall sin Limalla

DISEÑO MEZCLA ASFALTICA METODO MARSHALL																	
golpes de compactacion(75 por cara):		75															
peso especifico del asfalto:		1															
peso especifico bulk promedio de los agregados:		2,66															
SIN LIMALLA																	
mezcla No.	% de asfalto	espesor pulgs	pesos gramos		volumen cc	peso especifico		volumen % total			vacios %			peso unitario	estabilidad		flu
a	b	c	en aire d	en agua e	f	actual g	teorico h	asfalto i	agregados j	vacios k	agregados l	mezcla total m	llenos n	lb/in^3 o	medida p	corregida q	O.C. r
					d-e	d/f		$\frac{b \times g}{Ps \text{ Asf}}$	$\frac{(100-b)g}{Ps \text{ Ag}}$	100-i-j	100-j	$\frac{100-100g}{h}$	$\frac{i}{i+m}$	62,4 x g	libras	libras	
1	4,5	2 1/2	1186	656	522	2,272									2530	2530	1
2	4,5	2 7/16	1189	655	525	2,265									2712	2620,5	1
3	4,5	2 9/16	1194	658	523	2,283									2894	2778,24	1
4	4,5	2 1/2	1179	651	528	2,233									2690	2690	1
5	4,5	2 1/2	1196	652	528	2,265									2814	2814	1
	4,5					2,264	2,475	10,2	81,3	8,5	18,7	8,5	0,544	141,2		2726,5	11
1	5,5	2 7/16	1172	659	513	2,285									2573	2675,92	1
2	5,5	2 1/2	1185	662	513	2,310									2718	2718	1
3	5,5	2 7/16	1172	662	510	2,298									2816	2928,64	1
4	5,5	2 7/16	1189	670	512	2,322									2840	2953,6	1
5	5,5	2 7/16	1185	664	514	2,305									2980	3099,2	1
	5,5					2,304	2,437	12,7	81,9	5,5	18,1	5,5	0,698	143,8		2875,1	12
1	6,5	2 7/16	1192	658	517	2,306									2093	2176,72	1
2	6,5	2 7/16	1178	660	518	2,274									2005	2085,2	1
3	6,5	2 7/16	1180	663	517	2,282									1846	1919,84	2
4	6,5	2 7/16	1187	663	512	2,318									1843	1916,72	1
5	6,5	2 3/8	1182	662	516	2,291									2122	2312,98	1
	6,5					2,294	2,401	14,9	80,6	4,4	19,4	4,4	0,770	143,2		2082,3	18

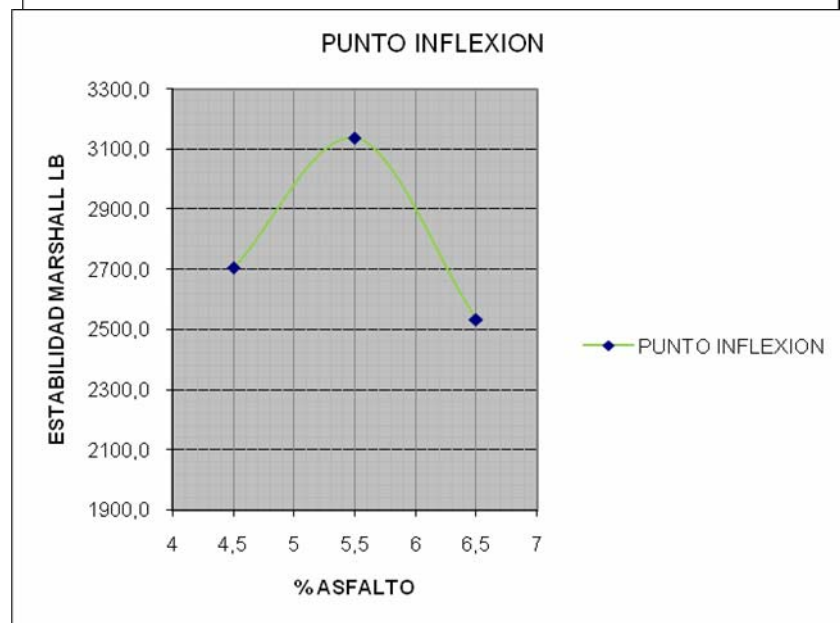
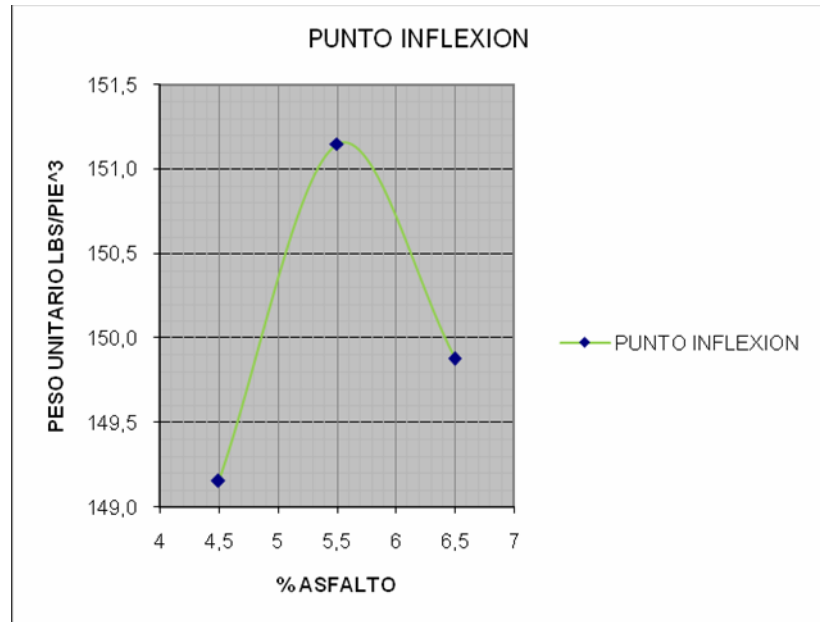


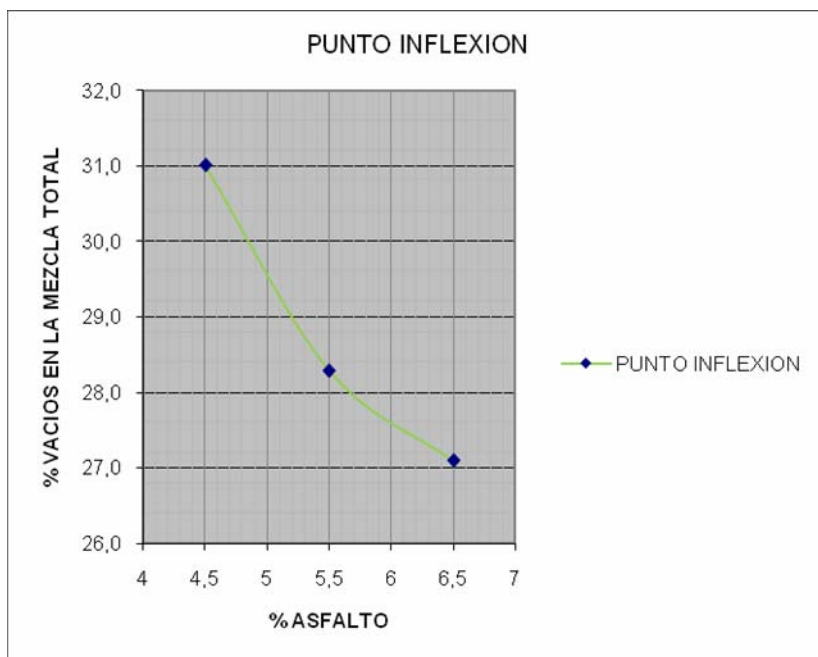
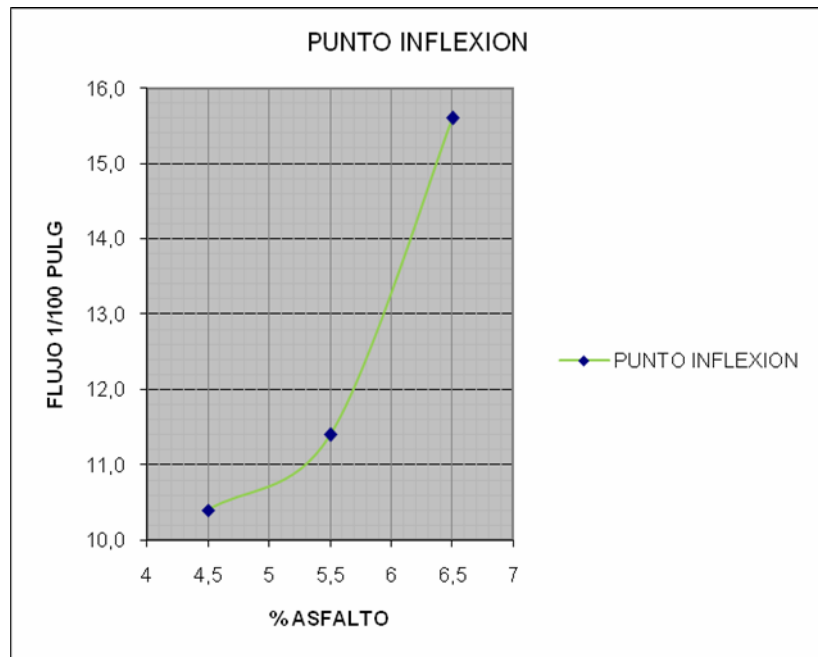


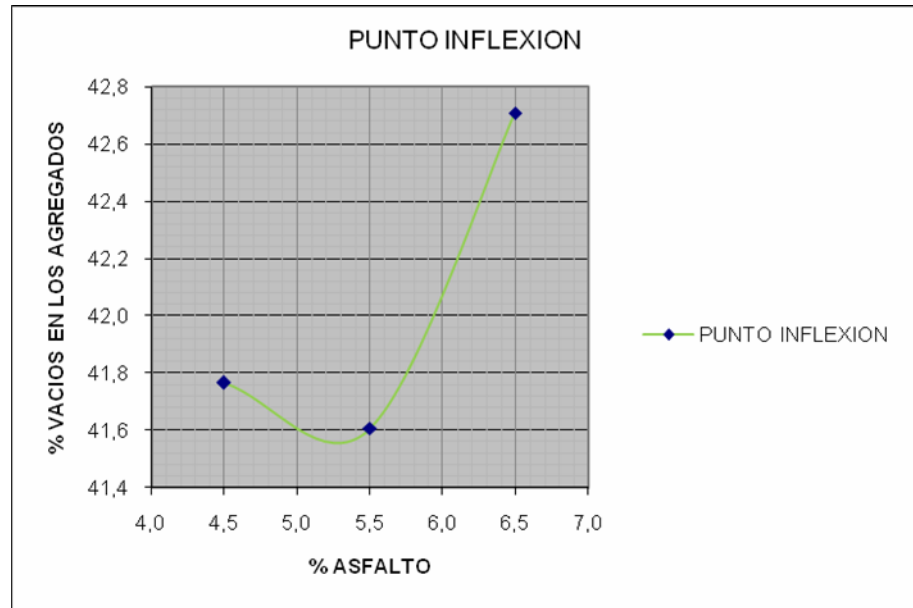


Anexo 27 Diseño Mezclas Asfáltica Método Marshall Punto de Inflexión

DISEÑO MEZCLA ASFALTICA METODO MARSHALL																		
golpes de compactacion(75 por cara):			75															
peso especifico del asfalto:			1															
peso especifico bulk promedio de los agregados:			3,92															
PUNTO DE INFLEXION																		
mezcla No.	% de asfalto	espesor pulgs	pesos gramos		volumen cc	peso especifico		volumen % total			vacios %			peso unitario lb/in³	estabilidad		flujo 0,01"	
a	b	c	en aire d	en agua e	f	actual g	teorico h	asfalto i	agregados j	vacios k	agregados l	mezcla total m	llenos 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	$\frac{100-100g}{h}$	$\frac{i}{i+m}$	62,4 x g	libras	libras		
1	4,5	2 7/16	1190	695	495	2,404									2687	2794,48	10	
2	4,5	2 7/16	1200	690	510	2,363									2392	2487,7	11	
3	4,5	2 7/16	1179	683	496	2,377									2726	2835,04	11	
4	4,5	2 1/2	1192	692	500	2,384									2602	2602	9	
5	4,5	2 7/16	1190	701	489	2,434									2698	2805,92	11	
	4,5					2,390	3,465	10,8	58,2	31,0	41,8	31,0	0,258	149,2		2705,0	10,4	
1	5,5	2 7/16	1184	699	485	2,441									2965	3083,6	12	
2	5,5	2 7/16	1190	700	490	2,429									3131	3256,24	11	
3	5,5	2 3/8	1187	698	489	2,427									2840	3095,6	11	
4	5,5	2 7/16	1183	694	489	2,419									2979	3098,16	11	
5	5,5	2 7/16	1183	689	494	2,395									3028	3149,12	12	
	5,5					2,422	3,378	13,3	58,4	28,3	41,6	28,3	0,320	151,1		3136,5	11,4	
1	6,5	2 3/8	1190	698	492	2,419									2325	2534,25	14	
2	6,5	2 3/8	1190	694	496	2,399									2473	2695,57	13	
3	6,5	2 3/8	1179	697	482	2,446									2132	2323,88	16	
4	6,5	2 3/8	1179	680	499	2,363									2360	2572,4	18	
5	6,5	2 3/8	1189	690	499	2,383									2334	2544,06	17	
	6,5					2,402	3,295	15,6	57,3	27,1	42,7	27,1	0,366	149,9		2534,0	15,6	

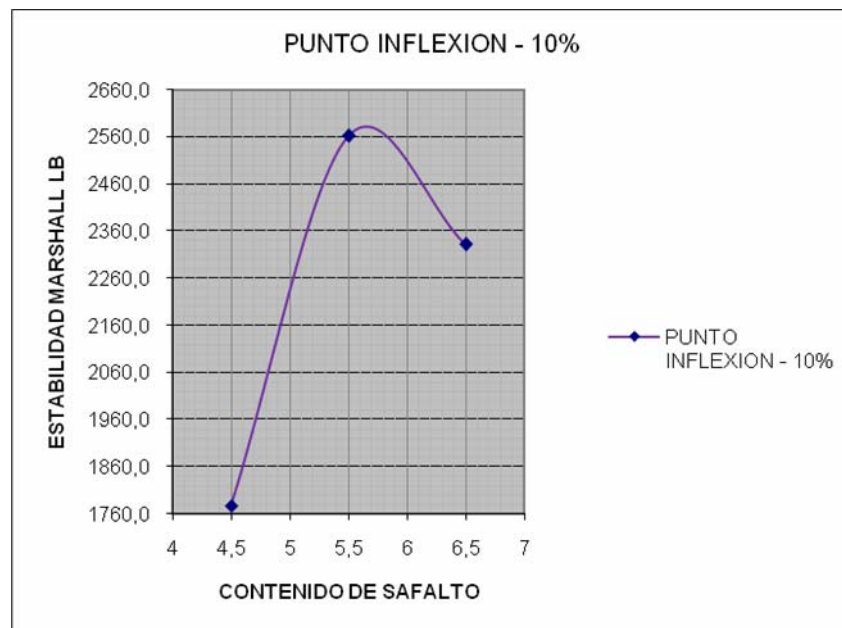
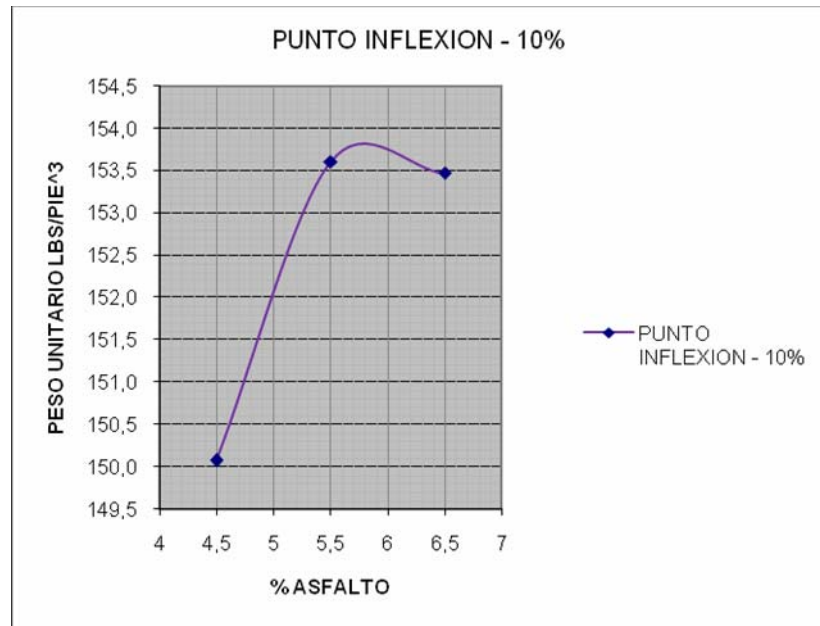


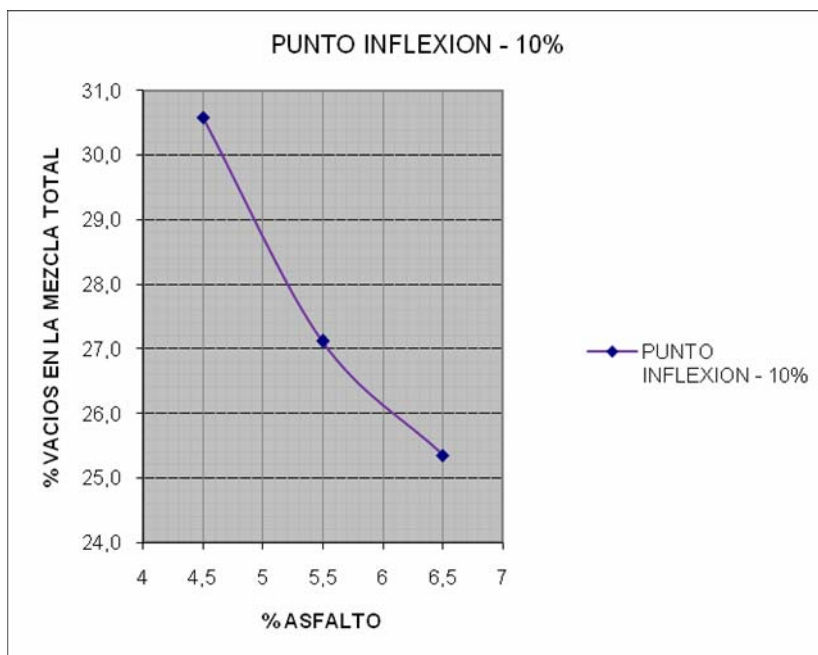
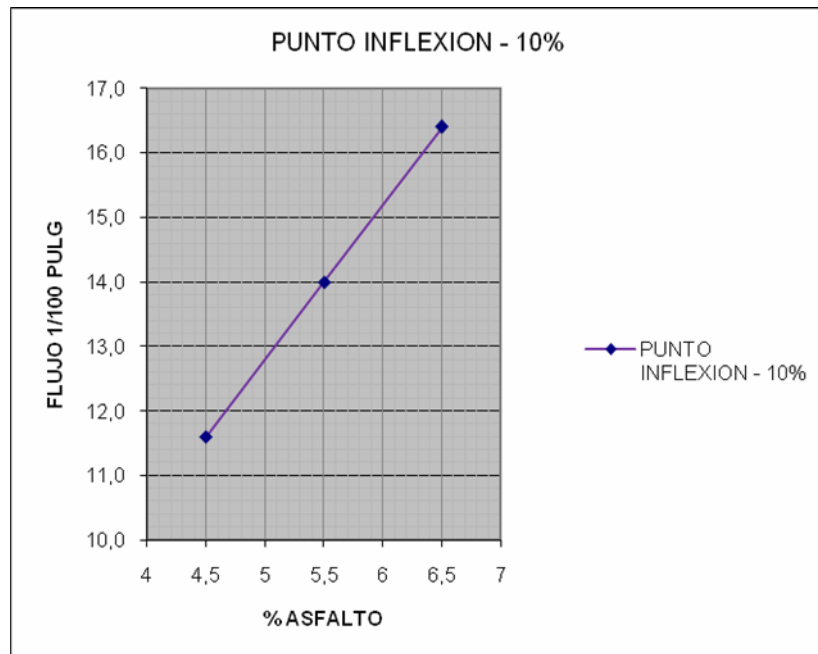


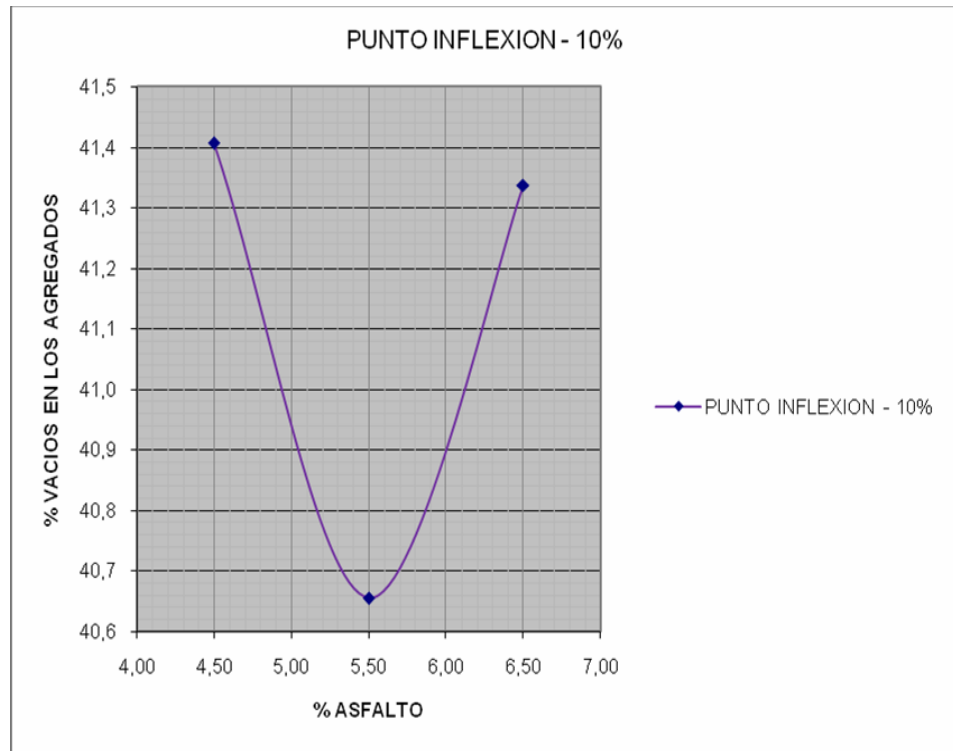


Anexo 27 Diseño Mezclas Asfáltica Método Marshall Punto de Inflexión – 10% Limalla

DISEÑO MEZCLA ASFALTICA METODO MARSHALL																		
golpes de compactacion(75 por cara):		75																
peso especifico del asfalto:		1																
peso especifico bulk promedio de los agregados:		3,92																
PUNTO DE INFLEXION - 10 % LIMALLA																		
mezcla	% de	espesor	pesos gramos		volumen	peso especifico		volumen % total			vacios %			peso unitario	estabilidad		flujo	
No.	asfalto	pulgs	en aire	en agua	cc	actual	teorico	asfalto	agregados	vacios	agregados	mezcla total	llenos	lb/in³	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	$\frac{100-100g}{h}$	$\frac{i}{i+m}$	62,4 x g	libras	libras		
1	4,5	2 7/16	1189	694	495	2,402									1857	1931,28	12	
2	4,5	2 7/16	1189	694	495	2,402									1727	1796,1	11	
3	4,5	2 3/8	1181	691	490	2,410									1566	1706,94	12	
4	4,5	2 3/8	1189	697	492	2,417									1711	1864,99	12	
5	4,5	2 7/16	1190	693	497	2,394									1523	1583,92	11	
	4,5					2,405	3,465	10,8	58,6	30,6	41,4	30,6	0,261	150,1		1776,6	11,6	
1	5,5	2 3/8	1192	706	486	2,453									2156	2350,04	13	
2	5,5	2 3/8	1183	702	481	2,459									2122	2312,98	14	
3	5,5	2 3/8	1186	701	485	2,445									2631	2867,79	14	
4	5,5	2 3/8	1198	719	479	2,501									2786	3036,74	15	
5	5,5	2 3/8	1176	696	480	2,450									2058	2243,22	14	
	5,5					2,462	3,378	13,5	59,3	27,1	40,7	27,1	0,333	153,6		2562,2	14,0	
1	6,5	2 3/8	1198	711	487	2,460									1916	2088,44	17	
2	6,5	2 3/16	1184	704	480	2,467									2097	2621,25	17	
3	6,5	2 3/8	1192	706	486	2,453									2123	2314,07	16	
4	6,5	2 3/8	1187	704	483	2,458									2066	2251,94	15	
5	6,5	2 3/8	1181	701	480	2,460									2186	2382,74	17	
	6,5					2,459	3,295	16,0	58,7	25,4	41,3	25,4	0,387	153,5		2331,7	16,4	

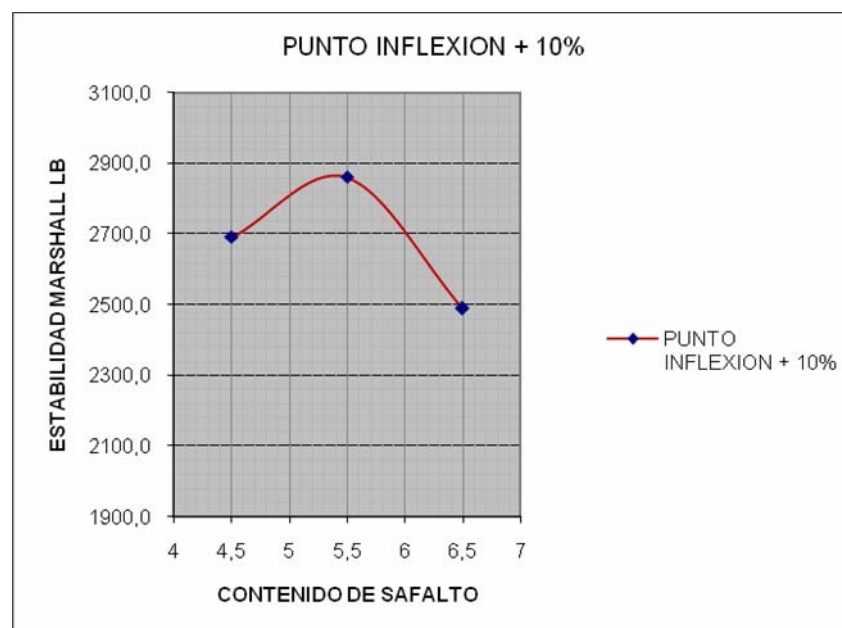
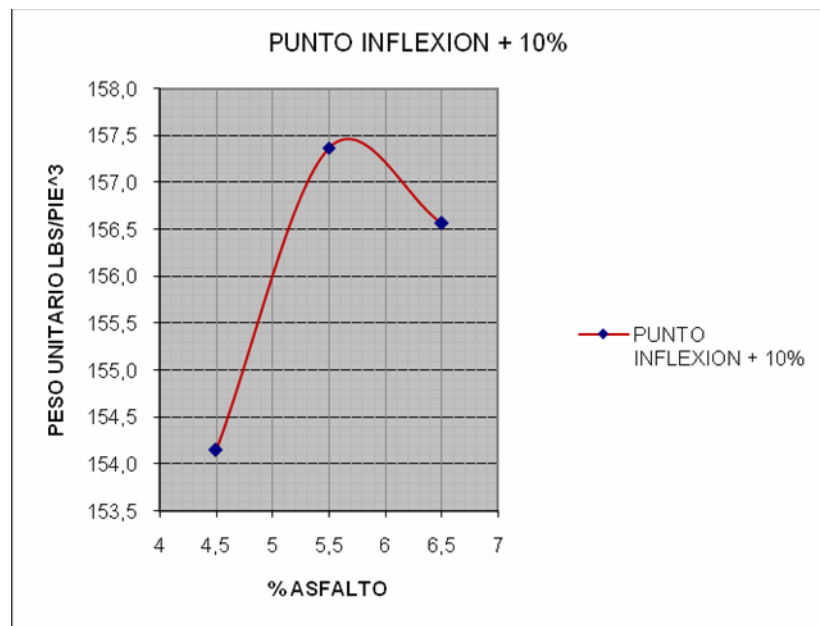


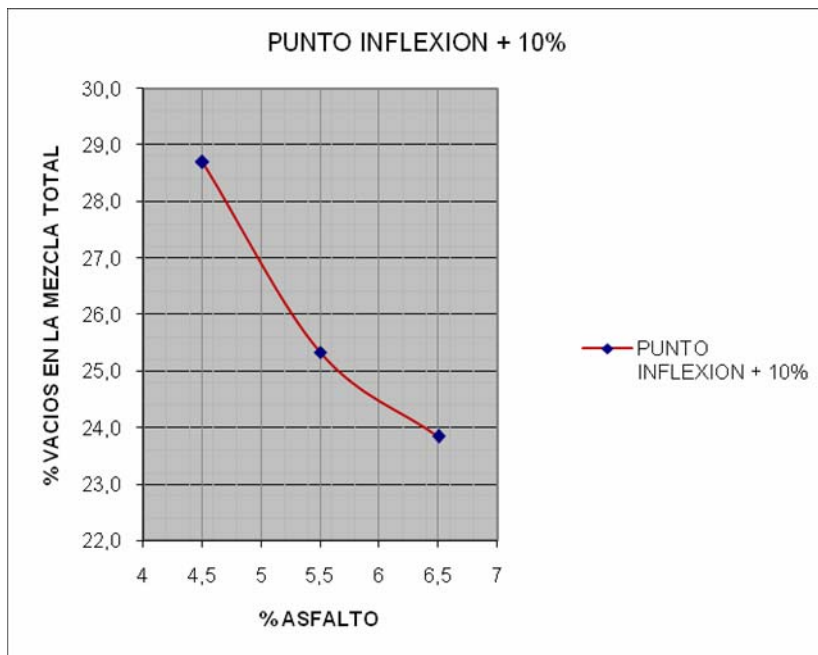
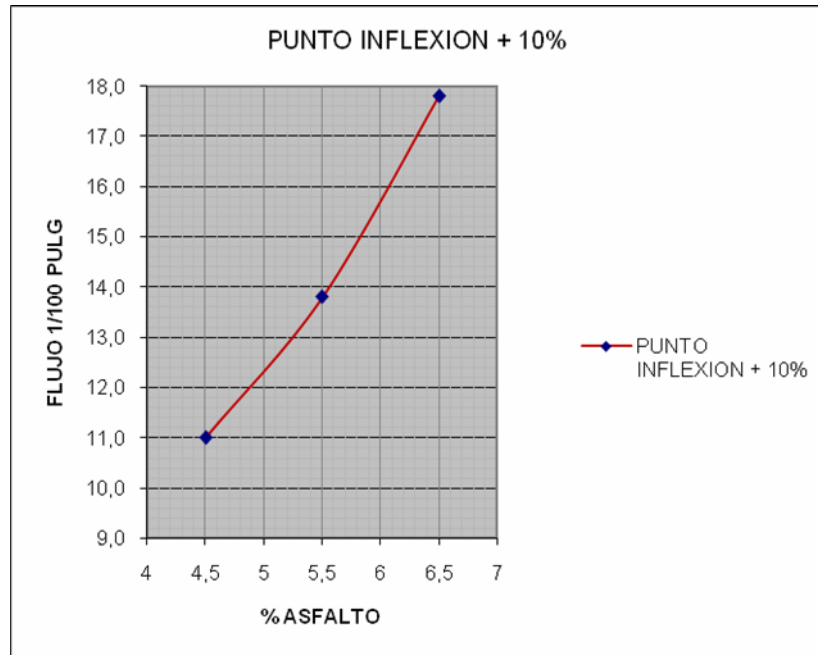


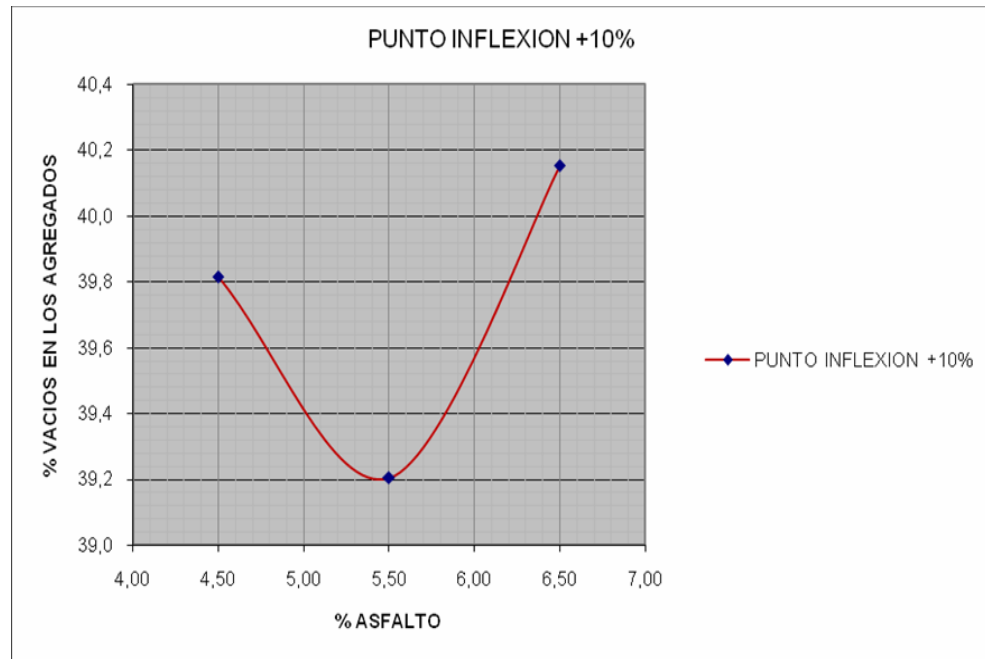


Anexo 28 Diseño Mezclas Asfáltica Método Marshall Punto de Inflexión + 10% Limalla

DISEÑO MEZCLA ASFALTICA METODO MARSHALL																	
golpes de compactacion(75 por cara):				75													
peso específico del asfalto:				1		PUNTO DE INFLEXION + 10% LIMALLA											
peso específico bulk promedio de los agregados:				3,92													
mezcla No.	% de asfalto	espesor pulgs	pesos gramos		volumen cc	peso específico		volumen % total		vacíos %				peso unitario lb/in³	estabilidad		flujo 0,01"
a	b	c	en aire d	en agua e	f	actual g	teórico h	asfalto i	agregados j	vacíos k	agregados l	mezcla total m	llenos n	o	medida p	corregida 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	$\frac{100-100g}{h}$	$\frac{i}{i+m}$	62,4 x g	libras	libras	
1	4,5	2 3/8	1195	713	482	2,479									2856	3113,04	11
2	4,5	2 3/8	1192	703	489	2,438									2350	2561,5	10
3	4,5	2 5/16	1188	711	477	2,491									2433	2773,62	11
4	4,5	2 3/8	1191	705	486	2,451									2140	2332,6	11
5	4,5	2 5/16	1192	714	478	2,494									2346	2674,44	10
	4,5					2,470	3,465	11,1	60,2	28,7	39,8	28,7	0,279	154,2		2691,0	11,0
1	5,5	2 5/16	1196	723	473	2,529									2187	2493,18	13
2	5,5	2 5/16	1191	723	468	2,545									2791	3181,74	13
3	5,5	2 5/16	1191	717	474	2,513									2503	2853,42	14
4	5,5	2 5/16	1190	714	476	2,500									2438	2779,32	14
5	5,5	2 5/16	1191	719	472	2,523									2627	2994,78	15
	5,5					2,522	3,378	13,9	60,8	25,3	39,2	25,3	0,354	157,4		2860,5	13,8
1	6,5	2 5/16	1199	719	480	2,498									2226	2537,64	19
2	6,5	2 5/16	1194	719	475	2,514									2211	2520,54	17
3	6,5	2 5/16	1191	717	474	2,513									2115	2411,1	18
4	6,5	2 5/16	1194	718	476	2,508									2200	2508	17
5	6,5	2 5/16	1191	717	474	2,513									2167	2470,38	18
	6,5					2,509	3,295	16,3	59,8	23,8	40,2	23,8	0,406	156,6		2489,5	17,8







Anexo 29. Ficha Técnica De Calidad Asfaltart

CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO	
PENETRACION 25°C, 5s, 100g(mm/10)	70
INDICE DE PENETRACION (IP)	-0,72
VISCOSIDAD ABSOLUTA @ 60°C (P)	1965
PUNTO DE ABLANDAMIENTO °C	48,6
DUCTILIDAD (25°C, 5 cm/min)	>130
CONTENIDO DE AGUA (%)	0,12
PUNTO DE IGNICIÓN (°C)	280
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO	99.35%
TEMPERATURA DE MEZCLADO	143 - 146 °C
TEMPERATURA DE COMPACTACION	132 - 137 °C

Fuente: Asfaltart