

**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLAS DE HIDALDO**

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



**“DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA
MODIFICADA CON POLÍMERO SBS”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

**P. I. C. QUETZALCOATL IMA CERVANTES
PEÑALOZA**

ASESOR DE TESIS:

M. I. ALEJANDRO PERALTA ARNAUD



MORELIA, MICH.

DICIEMBRE DE 2005.



UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE
SAN NICOLAS DE HIDALGO

FACULTAD DE
INGENIERÍA CIVIL
73/05-06

SE ACEPTA DE
TEMA TESIS

Morelia, Mich., a 16 de Noviembre de 2005

C. P.I.C. QUETZALCOATL IMA CERVANTES PEÑALOZA
P R E S E N T E.-

En contestación a su atenta solicitud de fecha 08 de noviembre de 2005, respecto a la propuesta de tesis para sustentar examen profesional de **Ingeniero Civil**, me es grato comunicarle que se acepta el tema:

“Diseño de una mezcla asfáltica modificada con polímero SBS” el cual deberá desarrollar con el índice siguiente:

Introducción.

- I. Caracterización del material pétreo.
- II. Caracterización del cemento asfáltico.
- III. Determinación del contenido mínimo de asfalto.
- IV. Obtención del contenido óptimo de asfalto (método Marshall)

Conclusiones y recomendaciones.

Bibliografía.

De igual manera se le comunica que el **Ing. Alejandro Peralta Arnaud**, ha sido designado asesor de su tesis.

Sírvase tomar en cuenta que, en cumplimiento a lo especificado por la Ley de profesiones, deberá prestar su servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar examen recepcional.

FSR*JCM*delc

ATENTAMENTE
Ing. Felipe Sánchez Ramos
Director de la Facultad de Ingeniería Civil



FACULTAD
DE INGENIERIA
CIVIL
U. M. S. N. H.

AGRADECIMIENTOS

Tengo tanto que agradecer, a tantas personas; pero mi agradecimiento más grande y especial es para Dios, ya que sin su voluntad nada de esto hubiese ocurrido. Padre Santo, gracias por darme la inteligencia que he necesitado para lograr todas mis metas y objetivos. Gracias por darme a mis padres; quienes han guiado a mi persona y han tenido la paciencia, la comprensión, los buenos consejos y el cariño para conmigo. Gracias por poner en mi camino, a todas esas personas que siempre me otorgaron incondicionalmente su ayuda; quienes me brindaron su apoyo económico y moral, cuando más necesitado me encontraba, siempre allí estaban. Gracias por mandarme el alivio y el consuelo para mis enfermedades físicas y emocionales. Padre Santo, para ti todos los corazones son transparentes y no pueden ocultarte nada; observa el mío y veras que hay buenos sentimientos y deseos, para todas las personas que me ayudaron y motivaron a seguir con mi preparación; socórrelas siempre en sus necesidades para que nada les falte. Gracias por permitirme estar rodeado de buenos corazones con gran capacidad para ayudar.

A MIS PADRES

A mi Madre Virginia Peñaloza R. quien siempre me acompañó en mis desvelos, en mis largas noches de estudio, en mis enfermedades, en mis tristezas y preocupaciones; jamás terminaré de agradecerle todo lo que ha hecho por mí; yo con tan solo un gracias Mamá, no quedo satisfecho; siempre tuve el apoyo incondicional; su amor de madre infinito a pesar de las adversidades. Quien se consagró a sus hijos y siempre veló por su bienestar y comodidad. Palabras me hacen falta para decir lo agradecido que estoy. Mi Madre quien siempre está en las plegarias que elevo a Dios, al que solo le pido que le de la oportunidad de recibir y disfrutar la semilla que sembró mi Madre en mí; Dios te bendiga Mamá

A mi Padre Cuauhtemoc Cervantes M. quien siempre ha sido mi ejemplo de ingeniero de profesionista, quien fue el principio de mis metas; quien siempre me apoyo a lo largo de mi preparación académica; a quien le debo la herencia más grande que una persona puede recibir y que nadie puede arrebatársela, gracias por darme el estudio, por darme las armas para enfrentarme a los golpes que de la vida.

A MI HERMANO

Cuauhtemoc Ima Cervantes. En quien siempre encontré el cómplice, el compañero, el amigo. Dios me mando todos los hermanos que pude haber tenido, en un solo; el mejor; mi fiel compañero y amigo. Es el que siempre esta allí cuando necesito de el. Gracias por ser parte de mi familia.

A MIS TÍOS

Quienes siempre me vieron como uno más de sus hijos; quienes me pusieron como buen ejemplo para sus hijos. Son quienes considero que son la gran familia. Quienes siempre me recibieron con los brazos abiertos; y en los que siempre tuve el apoyo moral que necesite. Gracias.

A MIS COMPADRES

Quienes me trataron como a uno de sus hijos en mi infancia, y me dieron el calor de un hogar. Quienes vieron en mí, a mi corta edad la madurez y la capacidad que tiene una persona mayor y con quienes comparto un sacramento de grado. Gracias por confiar en mi persona y otorgarme tal privilegio.

A MIS PADRINOS

Son quienes ven en mí a uno más de sus hijos; son ellos los que han sido testigos del cumplimiento de mis objetivos y de una de las más grandes metas en mi vida; también de ellos he recibido, tanto el apoyo con recursos, como el gran apoyo moral que necesité cuando me sentía vacío, por la esperada presencia de personajes importantes, a los que siempre quise demostrarles que lo que yo he recibido, lo he aprovechado de la mejor manera; siendo tenaz, constante, responsable y aferrado a lo largo de todas mis metas a corto y largo plazo, que fije en mi vida para mi bien y el de la gente que me quiere.

A todas las personas que me ayudaron y me apoyaron, sin ver el favor que hacían para mi persona; siempre estaré eternamente agradecido, ya que con nada podré pagarles lo que han hecho por mí, de todo corazón mil gracias y que dios y la Santísima Virgen María los protejan bajo su sombra, los cuiden y los guíen siempre por el buen camino.

ATENTAMENTE

P. I. C. QUETZALCOATL IMA CERVANTES PEÑALOZA

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
-------------------	---

CAPÍTULO I: CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL PÉTREO

1.1	Introducción.....	7
1.2	Identificación, Muestreo, Transporte y preparación del Material Pétreo.	9
1.3	Peso Volumétrico Seco Suelto del Material Pétreo.....	12
1.4	Análisis Granulométrico.....	13
1.5	Prueba de Densidad Relativa Aparente y Absorción del Material Pétreo Retenido en la malla 3/8”.....	20
1.6	Determinación del Equivalente de Arena.....	22
1.7	Determinación de la Contracción Lineal.....	25
1.8	Determinación de la Forma de la Partícula.....	27
1.9	Determinación del Desgaste del Material Pétreo por medio de la Maquina de Abrasión “Los Ángeles”.....	30
1.10	Determinación de la Afinidad entre el Material Pétreo y el Cemento Asfáltico.....	34
1.11	Resumen de Resultados.....	38
1.12	Conclusiones.....	38

CAPÍTULO II: CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO

2.1	Introducción.....	41
2.2	Definición Clasificación y Propiedades del Cemento Asfáltico AC-20 Modificado con Polímero SBS.....	44
2.3	Prueba de Densidad y Peso Especifico Relativo.....	46
2.4	Prueba de Viscosidad Saybolt-Furol.....	48
2.5	Prueba de Penetración.....	50
2.6	Punto de Ignición del Cemento asfáltico.....	52
2.7	Prueba de Ductilidad.....	54

2.8	Punto de reblandecimiento.	57
2.9	Pérdida por Calentamiento y Penetración Retenida.	59
2.10	Recuperación Elástica por Torsión.	62
2.11	Resumen de resultados.	64
2.12	Conclusiones.	64

CAPÍTULO III: CALCULO DEL CONTENIDO MÍNIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO

3.1	Introducción.	68
3.2	Calculo del Contenido Mínimo de Cemento Asfáltico.	69
3.3	Conclusiones.	73

CAPÍTULO IV: OBTENCIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO (METODO MARSHALL)

4.1	Introducción.	75
4.2	Método Marshall.	76
4.3	Resumen de resultados.	89
4.4	Conclusiones.	89

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	90
---	----

BIBLIOGRAFÍA.	92
-----------------------	----

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

Cuando los conquistadores españoles llegaron a lo que hoy constituye el territorio nacional, encontraron que sus pobladores no tenían conocimiento de la existencia de la rueda ni de animales de tiro y carga, pero a pesar de ello, disponían de un buen número de caminos hechos de piedra.

La historia nos ha dejado constancia de que aquellos aborígenes que con tanto interés se dedicaron a la construcción de caminos, también se preocuparon por la conservación de ellos, emitiendo leyes sobre la manera y época que debían repararse, en el curso del año cooperaban también todos los habitantes a la conservación de caminos, con la excepción de los guerreros, los magistrados y altos magistrados.

La colonización de la Nueva España trajo como consecuencia lógica un sensible mejoramiento de los caminos ya existentes y la apertura de muchos más, la introducción de animales de tiro y carga originaron las primeras modificaciones a los caminos existentes

Por otra parte, la comunicación de la Nueva España con sus puertos marítimos, requería la construcción de caminos adecuados, en 1522 Cortés encomendó a Álvaro López la apertura de un camino entre México y Veracruz, mismo que fue el más importante durante la Colonia.

Al finalizar la Colonia, México contaba ya con una extensa red de caminos carreteros y de herradura, que sumaban 7,605 y 19,720 Km., respectivamente, variando su estado de conservación de acuerdo con su importancia.

El 19 de Noviembre de 1867 el presidente de la Republica el Lic. Benito Juárez, creó un impuesto dedicado a la conservación de caminos, sustituyendo al de “peaje”.

La Revolución Mexicana, iniciada en 1910, provoco en el país una conmoción profunda, que por largos años impidió la realización de todo intento de carácter constructivo.

Hasta el momento la aparición del automóvil, la curvatura, las pendientes y las superficies de rodamiento de los caminos, eran las adecuadas a las limitadas exigencias de los vehículos de tracción animal, pero conforme se desarrollo el automóvil de pasajeros y la aparición de los camiones, ambos con diferente alineamiento, y con pendientes y superficies de rodamiento adecuadas.

En el desarrollo de la infraestructura carretera y aeroportuaria de nuestro país siempre ha sido de fundamental importancia el empleo de métodos económicos y eficientes en la construcción de pavimentos.

Las vías terrestres son el medio natural de intercambio de bienes y servicios entre las comunidades; el conjunto de carreteras, puentes, red vial, etc., multiplica esas posibilidades de intercambio; creando por consiguiente: mayores oportunidades de desarrollo y bienestar.

En el año de 1925 la red carretera nacional estaba constituida por 600 kilómetros y 40,000 vehículos automotores. El 30 de Marzo de éste mismo año, el entonces Presidente de la Republica, consiente de la imperiosa necesidad de construir los nuevos caminos, expidió una ley estableciendo un impuesto sobre la gasolina, en ésta misma ley quedó creada “La Comisión Nacional de Caminos” para conservar y mejorar los nuevos caminos.

A pesar de los importantes avances obtenidos en los primeros años, la federación no se encontraba satisfecha, y la necesidad de construir caminos secundarios se hacia sentir cada día con más fuerza. Por fin en Diciembre de 1932 se implemento el sistema de cooperación Federal de los Estados, se crearon mediante este acuerdo las Juntas Locales de Caminos en todas las Entidades Federativas.

En 1950 la red carretera ya contaba con 22,000 kilómetros y un volumen vehicular de 302,798 vehículos; para el año de 1975 se cuenta con 185,000 kilómetros de carretera de la red troncal; así como camiones revestidos y rurales, con un parque vehicular de 3,586,125 vehículos.

En la medida en que se logra la integración territorial, varias carreteras ya presentaban condiciones de flujo inestable, con bajas velocidades y congestionamientos en los periodos de máxima demanda de transito; por lo que en el año 2000 la red de carretera está integrada por 365,119 kilómetros con un total de 14,000,000 de vehículos.

Ante la inminente apertura comercial y con objeto de satisfacer la demanda de movimiento ante ciudades y regiones plenamente desarrolladas, el Gobierno Federal ha implementado la política de concesionar la construcción y operación de autopistas; siendo determinante la participación del sector privado, así como la calidad de las obras.

La demanda de vehículos que transitan por la red carretera del país está comprendida entre 1,500 a 6,000 vehículos diarios como promedio dependiendo del tipo de camino: cabe mencionar que el porcentaje de vehículos pesados que utilizan ésta red es hasta del 33%, la carga máxima permitida en México es de 9 toneladas por eje tandem y de 7.5 toneladas por eje triple, las cargas reales en ambos tipos de ejes son hasta de 15 toneladas por cada eje.

Mencionando lo anterior, el diagnostico es grave, ya que actualmente la mayoría de la red carretera no está en condiciones para soportar importante número y tipo de vehículos; además de que más del 50% opera con bajos niveles de servicio.

El problema se agrava con forme pasa el tiempo, motivado por la deficiente conservación, así como: la edad, tipos de diseños, defectos de construcción, sobre fatiga de los materiales, mala calidad de los material, obras de drenaje obsoletas, medio ambiente cambiante con precipitaciones pluviales severas e incremento de las cargas del parque vehicular.

El empleo de tecnologías modernas para la construcción y modernización de las vías terrestres del país, está a la vuelta de la esquina, será necesario cambiar la manera de pensar y de hacer la cosas con más calidad, hacer los proyectos acordes con la realidad, no siendo siempre el proyecto más barato el mejor y que tenga que ejecutarse en una obra un eficaz y eficiente control de calidad, planeación, programación y radicación de recursos oportunos, técnicos con conocimientos suficientes y experiencia en estos menesteres, así tendremos: menor costo en el mantenimiento y conservación de los pavimentos (ahorro), seguridad y comodidad de los usuarios, abatir los costos del transporte, un reglamento eficaz para controlar las cargas admisibles que permitan asegurar la durabilidad de los pavimentos.

El 94% de nuestras vías terrestres son constituidas empleando materiales asfálticos:

1. Cemento asfáltico 40%
2. Emulsión asfáltica 54%
3. Otros 6%

Por lo anterior la construcción de pavimentos flexibles se hará con cemento asfáltico para mezclas elaboradas en caliente y en planta, y con emulsión asfáltica para mezclas elaboradas en frío.

El ingeniero constructor de pavimentos se encuentra en forma cotidiana con el grave problema de adherencia (adhesividad-afinidad). Entre los materiales: mezclas asfálticas, carpetas de riego o tratamientos superficiales y bases hidráulicas.

La tecnología que se emplea en la actualidad en las refinerías para obtener el mayor volumen de metros cúbicos posibles de petróleo crudo, impacta en la calidad de los productos asfálticos al sufrir modificaciones en sus propiedades físicas y químicas.

Lo anterior obliga al ingeniero constructor de vías terrestres a llevar en forma sistemática un control de calidad en las propiedades de los asfaltos en relación con los materiales pétreos. La adherencia es una de las propiedades mayormente afectadas.

Por otro lado, es conocido el problema no menos grave que presenta los materiales pétreos que son utilizados en la construcción de pavimentos con la adherencia, misma que se ve afectada por los factores como: rugosidad o pulimiento de la superficie del agregado pétreo, exceso de polvo, la absorción, forma del agregado, presencia de minerales en el material, intemperismo acelerado y sumándose a los anteriores tenemos que mencionar los

efectos negativos por parte del asfalto: la viscosidad de éste en el momento de su aplicación, ductilidad, penetración, y volumen del asfalto empleado.

El objetivo principal de éste trabajo es poder determinar cual es el comportamiento a largo plazo de un concreto asfáltico, empleando como ligante al cemento asfáltico modificado con polímero SBS, un agregado pétreo producto de la trituración y otro de origen volcánico.

En los primeros dos capítulos de éste trabajo se presenta la caracterización de cada uno de los materiales que formarán la mezcla asfáltica. Se presentan todas las pruebas de laboratorio que fue necesario realizarles, tanto al agregado pétreo como al cemento asfáltico del tipo AC-20 modificado, también la correspondiente correlación con lo marcado en las especificaciones de la S. C. T.

En el capítulo tres, se lleva a cabo el cálculo del contenido mínimo de cemento asfáltico; con el cual se pretenderá elaborar especímenes para conocer el contenido de cemento asfáltico necesario con el que se empiezan a formar las pastillas y hacer un tanteo para encontrar el contenido óptimo de cemento asfáltico.

En el último capítulo de éste trabajo se realiza la obtención del Contenido Óptimo de cemento asfáltico por el Método Marshall; terminando con la elaboración y ensaye de los especímenes.

Finalmente se presenta las conclusiones y recomendaciones generales que se obtuvieron en el presente trabajo.

El diseño de laboratorio presentado en este trabajo se llevará a cabo para la obra: conservación periódica mediante carpeta asfáltica de 10cm de espesor, con mezcla en caliente de la carretera La Piedad-Jiquilpan, en tramo Patty-Vista hermosa, del subtramo 0+000 al 42+000.

CAPÍTULO: I

CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL PÉTREO

INTRODUCCIÓN

El material pétreo es el factor principal de la estabilidad de una carpeta asfáltica, y para que pueda llenar esta función es preciso que tenga la calidad necesaria, y que la graduación de sus partículas sea la adecuada, ya sea que se trate de mezcla asfáltica o de carpetas de riego.

Para construir las carpetas de rodamiento se deben escoger materiales pétreos que no hayan sido alterados excesivamente por los agentes del intemperismo mecánico o químico. Las variaciones de temperaturas provocan contracciones y dilataciones en las rocas, que con el tiempo dan lugar a la formación de grietas, la acción de los ácidos orgánicos arrastrados por el agua de lluvia a través de esas grietas, así como el bióxido de carbono de la atmósfera, dan origen a cambios en la composición química de los diversos materiales que forman las rocas. Si esta alteración es excesiva da por resultado un tipo de materiales demasiado suaves que no resisten los esfuerzos provocados por las cargas de los vehículos, o bien materiales de características desfavorables en cuanto a su adherencia con el asfalto.

Los materiales pétreos triturados, aun cuando lo sean parcialmente dan carpetas con mayor estabilidad que la que se obtiene con materiales redondeados, debido a la angulosidad de las partículas que proporcionan un mejor acunamiento entre ellas.

Al ser triturado el material pétreo, la granulometría del producto de la trituración no es satisfactoria (generalmente hay escasez de finos), es necesario agregar un material que corrija los defectos de la curva granulométrica. Este caso es muy frecuente en los materiales provenientes de rocas de buena calidad, que obligan a la adición de arena o de material fino que supla la deficiencia de partículas de los tamaños menores. La mezcla resultante debe satisfacer los requisitos de granulometría que fijen las especificaciones respectivas.

El tamaño máximo del material pétreo está limitado por el espesor de la carpeta. En general podemos decir que para las carpetas construidas normalmente el tamaño máximo del agregado debe variar entre 12.7 mm (1/2”) y 19 mm (3/4”). La graduación fijada para el material pétreo con tamaño máximo de 25.4 mm (1”), tiene tendencia a producir una carpeta de textura abierta, por la escasez de finos. Este puede ser un defecto de importancia, a menos que se logre una impermeabilidad total de la carpeta por medio de riegos de sello posteriores.

Para determinar la calidad del material pétreo utilizado en mezclas asfálticas es necesario realizar ciertas pruebas de laboratorio, que nos pueden ayudar a determinar las características del mismo.

LAS PRUEBAS A REALIZAR EN EL LABORATORIO SON:

- IDENTIFICACIÓN, MUESTREO, TRANSPORTE Y PREPARACIÓN DEL MATERIAL PÉTREO.
- PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO DEL MATERIAL.
- ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
- DENSIDAD RELATIVA APARENTE Y ABSORCIÓN DEL MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA 3/8”.
- EQUIVALENTE DE ARENA.
- DETERMINACIÓN DE LA CONTRACCIÓN LINEAL
- FORMA DE LA PARTÍCULA
- DESGASTE DE LOS ÁNGELES
- AFINIDAD ENTRE EL MATERIAL PÉTREO Y EL CEMENTO ASFÁLTICO.

1.1 IDENTIFICACIÓN, MUESTREO, TRANSPORTE Y PREPARACIÓN DEL MATERIAL PÉTREO.

Las muestras obtenidas se envasan, identifican, transportan y almacenan, tomando en cuenta lo siguiente:

➤ Existen tres variantes para realizar el muestreo del material pétreo, los cuales son:

- 1) Directamente de los bancos de material
- 2) En los camiones que estén suministrando el material para la obra
- 3) Del material que se tenga en la obra

Mapa geológico; localización de los bancos de material con los números 20 y 24 en mapa



La obtención de la muestra de agregado pétreo se realizó en los bancos de material siguientes: Banco de grava triturada "La Rumorosa" en La Piedad Mich. Cuya clasificación de las rocas ígneas pertenece a volcánicas intrusivas, intermedias, color gris, Andesita. Banco de Carpeta Volcánica "La Cuenca" en Tanhuato Mich.; en el Km 15+500 de la carretera Vista Hermosa-Tanhuato; cuya clasificación de las rocas son volcánicas extrusivas, básicas, color negro, Basalto. Banco de arena "Tlazazalca" en Tlazazalca Mich.

Clasificación de las rocas ígneas			
Volcánicas Intrusivas y Extrusivas	Acidas (blancas)	Intermedias (grises)	Básicas (negras)
	Riolita	Andesita	Basalto
	Granito	Diorita	Grabo
S_1O_2	74	66	52
			46%

Andesita: Roca ígnea de grano fino y de composición intermedia. Las variedades porfiríticas tienen fenocristales de feldespato pero no de cuarzo y tienen además matriz afanítica. Andesita es el equivalente de grano fino de la diorita.

Basalto: El basalto es una roca ígnea extrusiva, sólida y negra. Es el tipo de roca más común en la corteza terrestre, y cubre la mayoría del fondo oceánico.

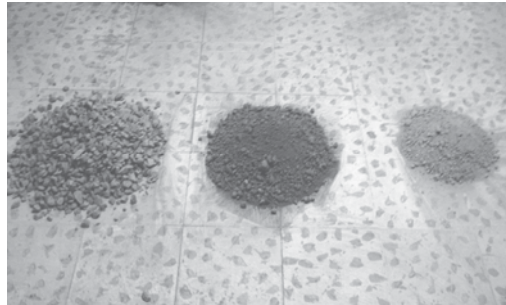
➤ Las muestras se envasan en los costales que estén limpios antes de ser llenados de textura cerrada, para evitar la pérdida de finos; para la elaboración de nuestras mezclas asfálticas utilizaremos 80 kilos aproximadamente de material pétreo el cual transportaremos en dos costales al laboratorio. Durante el envase se tendrán las siguientes precauciones:

- 1.- Que las muestras no se contaminen con polvo u otras sustancias extrañas.
- 2.-Que los costales queden poco llenos y bien amarrados, con objeto de evitar pérdidas o alteración de su contenido.

➤ Se identificarán las muestras mediante dos etiquetas, una en su interior y otra sujeta al exterior; indicando el banco de procedencia y el tipo de material que contiene

➤ Para transportar las muestras del sitio de su obtención al laboratorio, se acomodan en el vehículo de tal modo que se eviten golpes que provoquen la perforación o rotura de los costales, así como la alteración o pérdida del material.

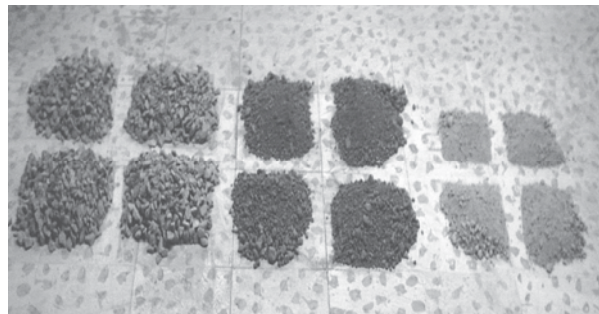
Previamente a utilizarlo se pondrá a secar el material al sol, extendiéndolo sobre una superficie lisa y limpia para preparar el cuarteo.



Materiales secos: de izquierda a derecha material triturado, carpeta volcánica y filler.

El procedimiento de cuarteo del material consiste en revolver el material con una pala, pasándolo de un extremo a otro, repitiendo este proceso tres veces, se apila el material en forma cónica; desde el eje del cono y hacia la periferia se extiende el material hasta formar un cono truncado 15 a 20 cm. de altura y se aplanan la parte superior con la pala.

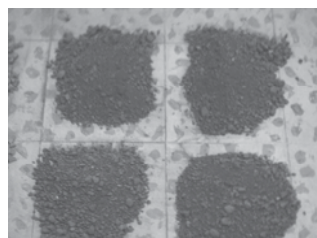
Ahora se cuarteo el material de tal forma que la parte superior quede dividida en cuatro partes, a manera de cuadrantes, se toman dos cuadrantes opuestos entre si, para realizar las pruebas ya mencionadas.



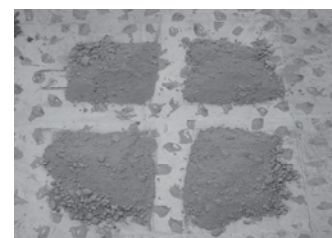
Material cuarteado del cual se toman los cuadrantes opuestos



Mat. Triturado



Mat. Carpeta volcánica



Mat. Filer

1.3 PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO DEL MATERIAL PÉTREO.

El peso volumétrico seco suelto de un material pétreo se refiere al peso de un metro cúbico de material cuando está completamente seco.

Procedimiento de la prueba

Se toma por cuarteos una cantidad determinada de la muestra representativa que se pretende ensayar; se seca y se disgrega para luego llenar un recipiente de volumen y peso conocido dejando caer el material desde una altura de 20 cm. Sin apretar o apisonar el material en el recipiente y sin moverlo bruscamente para que el material no se acomode por los movimientos.

Hecho lo anterior el material se enrasa dentro del molde y se pesa, a éste peso se le resta el peso del recipiente y se divide entre el volumen del mismo obteniéndose así el peso volumétrico seco suelto del material pétreo.

Para obtener el peso volumétrico seco suelto se emplea la siguiente expresión:

$$PVSS = \left(\frac{W1 - W2}{V} \right) * 1000$$

PVSS $\Leftrightarrow$ Peso volumétrico seco suelto (kg/m^3)

W1 $\Leftrightarrow$ Peso del material seco más el recipiente (kg)

W2 $\Leftrightarrow$ Peso del recipiente (kg)

V $\Leftrightarrow$ Volumen del recipiente (lt)

Al realizar la prueba a los tres tipos de material, los resultados encontrados son:

$$\text{Material Triturado} \quad PVSS = \left(\frac{10.1 - 2.82}{5} \right) * 1000 = 1456 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$\text{Material Carpeta} \quad PVSS = \left(\frac{9.22 - 2.82}{5} \right) * 1000 = 1280 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$\text{Material Filler} \quad PVSS = \left(\frac{7.87 - 2.82}{5} \right) * 1000 = 1010 \text{ kg} / \text{m}^3$$

1.4 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

El análisis granulométrico es un estudio básico que se le aplica a los materiales pétreos para determinar la cantidad, en porcentaje (%), de los diferentes tamaños de partículas que componen una muestra representativa de material pétreo; mediante su paso por una serie de mallas con aberturas determinadas.

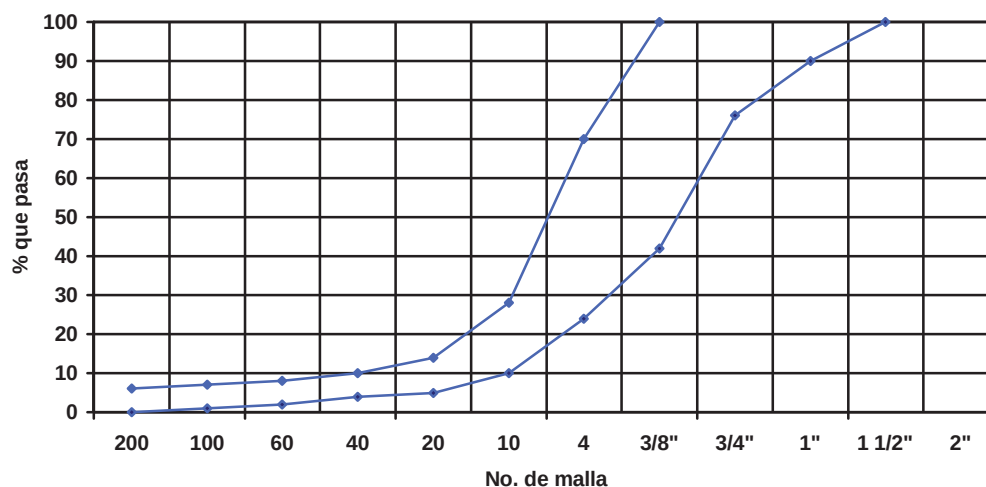
La granulometría nos permite también, conocer de manera tentativa la estabilidad que puede llegar a tener una carpeta asfáltica, puesto que si se tiene un material bien graduado, este nos proporciona una relación de vacíos muy baja, lo cual nos indica que el acomodo de las partículas es muy bueno, por el contrario, si se tiene un material mal graduado este puede presentar deficiencia en su estabilidad, lo cual provocaría una falla grave en nuestra carpeta asfáltica, el acomodo de partículas de este tipo de material es muy malo debido a la falta de finos o gruesos según sea el caso.

Para la prueba de granulometría utilizaremos el método más común, que es el de cribado, el cual consiste en separar las partículas de todos los tamaños, de una muestra representativa, por medio de mallas con aberturas que van de mayor a menor, para después pesar el retenido en cada una de las mallas, considerando que las partículas que hayan quedado atoradas en cada retícula forman parte del material retenido de la malla correspondiente, por lo que se reintegrará este material cepillando las mallas por el revés y así tener un porcentaje representativo, el cual nos servirá para hacer una gráfica y con ella saber si nuestro material esta bien o mal graduado.

El acomodo de las mallas se realiza poniendo la malla para el tamaño máximo de la partícula, que para nuestro caso, tratándose de material para carpeta asfáltica de granulometría densa, es de $\frac{3}{4}$ " (19.0 mm), hasta un tamaño mínimo correspondiente a 0.75 mm que es el de la malla No. 200.

En la gráfica de la granulometría existen dos parámetros (figura 1.1) que nos restringen los porcentajes mínimos y máximos que debe tener un material pétreo bien graduado, esto nos lo marcan las normas para pavimentos flexibles.

Figura 1.1.: Zonas granulométricas recomendables del material pétreo para bases de mezcla asfáltica (bases negras)



Procedimiento de la prueba

Análisis que se debe realizar a la porción gruesa de material

De la muestra representativa ya cuarteada se toman dos cuadrantes opuestos y se pesan. Se criba el material por las mallas acomodadas de mayor a menor abertura, como se indica a continuación:

Malla No.	3 / 4 “	1 / 2 “	3 / 8 ”	1 / 4 ”	No. 4
Abertura de la malla (mm)	19.0	12.5	9.5	6.3	4.75

Después de cribar toda la muestra, se pesa cada uno de los retenidos por las mallas incluyendo el material que paso por la malla No. 4. Los pesos del material retenido en cada malla se expresan en porcentaje del peso total de la muestra.

Análisis que se debe realizar a la porción fina del material (pasa malla No. 4)

Se toma una muestra representativa del material cribado que pasa la malla No. 4, aproximadamente 500 gramos y se colocan en las mallas, que están acomodadas de la manera siguiente:

Malla No.	10	20	40	60	100	200	Charola
Abertura de la malla (mm)	2.00	0.85	0.425	0.25	0.15	0.075	

Cuando ya se tiene colocado el material en las mallas, estas se colocan aproximadamente 15 minutos en la máquina agitadora para mallas ya que permite un mejor cribado.

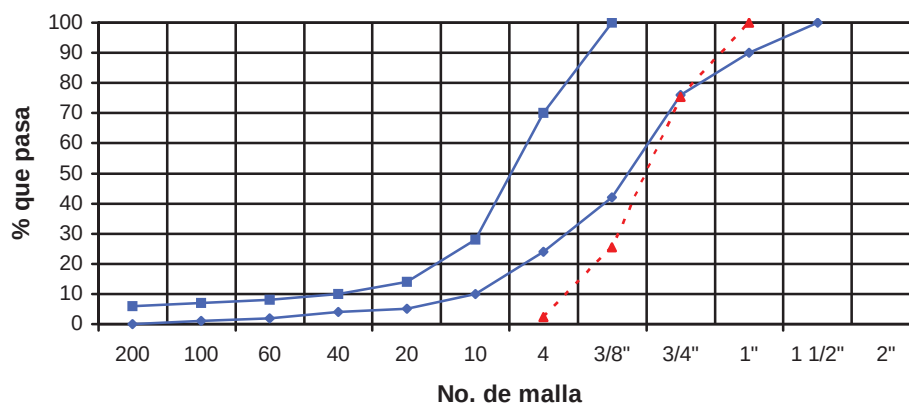
Enseguida se pesa el material retenido en cada una de las mallas teniendo cuidado de no tirar la porción más fina del material, ya que este es muy volátil y vulnerable a las corrientes de aire.

A continuación se procede a cribar cada uno de los materiales de los diferentes bancos de material y a graficar su respectiva granulometría

El resultado de cribado de los materiales es el siguiente:

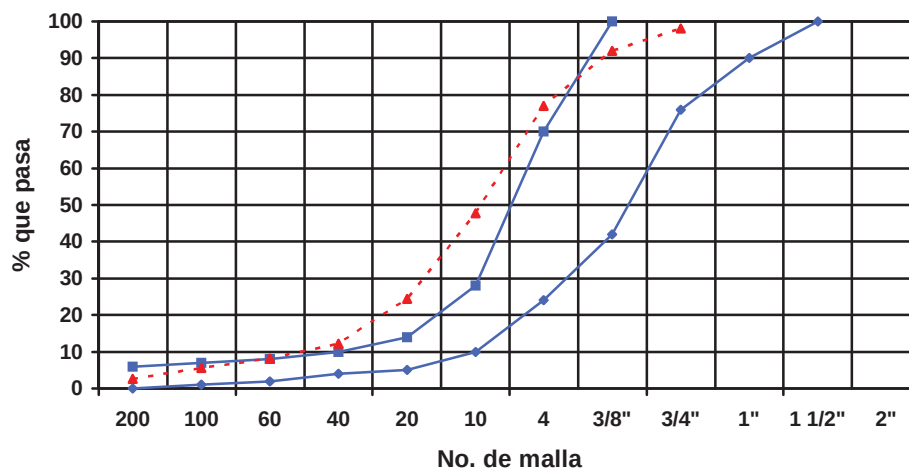
Material Triturado 60%				
Malla No.	Peso retenido parcial (gr)	% retenido parcial	%retenido acumulado	% que pasa la malla
3/4"	910,0	24,59	24,59	75,4
1/2"	1000,0	27,03	51,62	48,4
3/8"	850,0	22,97	74,59	25,4
1/4"	620,0	16,76	91,35	8,6
No. 4	230,0	6,22	97,57	2,4
Pasa No. 4	90,0	2,43	100	
SUMA	3700,0	100		

Grafica material triturado 60%



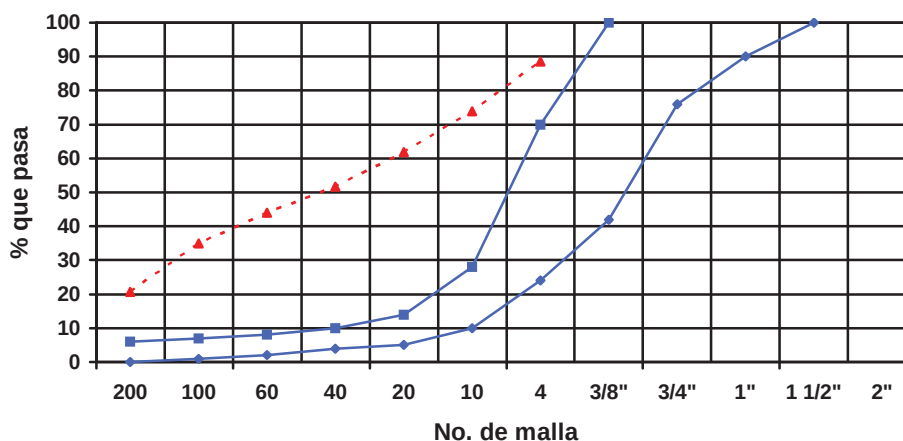
Material Carpeta 35%				
Malla No.	Peso retenido parcial (gr)	% retenido parcial	%retenido acumulado	% que pasa la malla
3/4"	57,5	1,91	1,91	98,1
1/2"	61,1	2,03	3,93	96,1
3/8"	123,7	4,10	8,04	92,0
1/4"	225,1	7,46	15,50	84,5
No. 4	225,2	7,47	22,97	77,0
10	883,9	29,31	52,28	47,7
20	704,7	23,37	75,65	24,4
40	366,1	12,14	87,79	12,2
60	119,6	3,97	91,76	8,2
100	82,4	2,73	94,49	5,5
200	88,1	2,92	97,41	2,6
Pasa No. 200	78,1	2,59	100	
SUMA	3015,5	100		

Gráfica Material Carpeta 35%.



Material Filler 5%				
Malla No.	Peso retenido parcial (gr)	% retenido parcial	%retenido acumulado	% que pasa la malla
No. 4	57,7	11,52	11,52	88,5
10	73,4	14,65	26	73,8
20	60,0	11,98	38	61,9
40	51,0	10,18	48	51,7
60	38,7	7,72	56	44,0
100	44,8	8,94	65	35,0
200	72,2	14,41	79	20,6
Pasa No. 200	103,2	20,60	100	
SUMA	501,0	100,00		

Gráfica Material Filler 5%



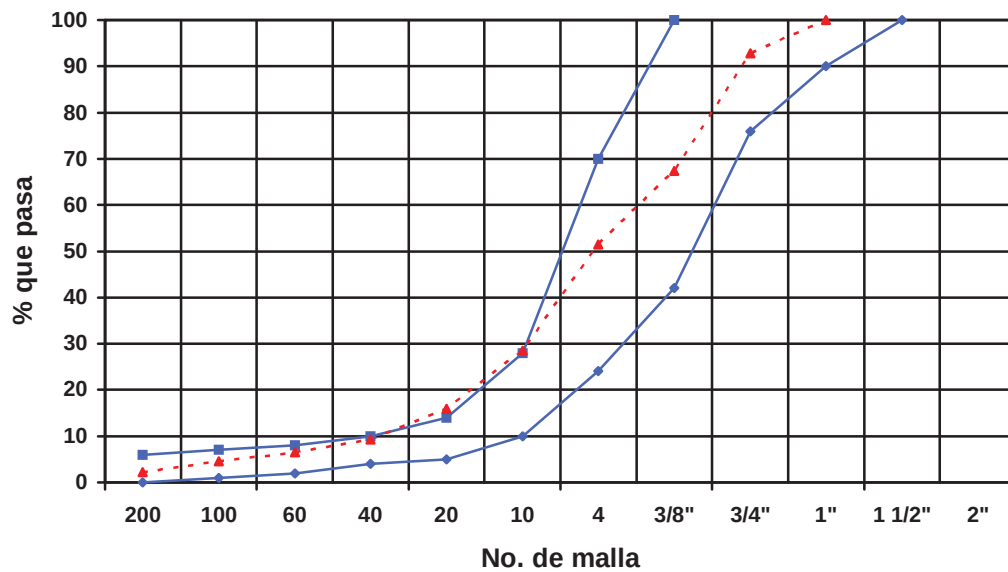
Una vez trabajados los tres materiales que utilizaremos para elaborar nuestra mezcla asfáltica; la cual se integra de la siguiente porción de cada uno de los materiales: material Triturado 60%, material Carpeta 35% y material Filler 5%.

Elaborada la mezcla 60-35-5 se procede a cribar una muestra representativa para saber si la porción cumple con los parámetros que especifican las normas para pavimentos flexibles.

PORCIÓN GRUESA DE LA MUESTRA				
Malla No.	Peso retenido parcial (gr)	% retenido parcial	%retenido acumulado	% que pasa la malla
3/4"	108,0	7,22	7,22	92,8
1/2"	225,6	15,07	22,29	77,7
3/8"	154,2	10,30	32,59	67,4
1/4"	173,1	11,56	44,15	55,8
No. 4	67,2	4,49	48,64	51,4
Pasa No. 4	768,7	51,36	100	
SUMA	1496,8	100		

PORCIÓN FINA DE LA MUESTRA				
Malla No.	Peso retenido parcial (gr)	% retenido parcial	%retenido acumulado	% que pasa la malla
_10	342,6	22,89	71,53	28,5
_20	188,6	12,60	84,13	15,9
40	100,0	6,68	90,81	9,2
60	39,8	2,66	93,47	6,5
100	29,2	1,95	95,42	4,6
200	36,0	2,41	97,83	2,2
Pasa No. 200	32,5	2,17	100	
SUMA	768,7	51		

Gráfica Mezcla 60-35-5



Como se puede observar en la gráfica anterior; la curva granulométrica queda entre los parámetros indicados por las especificaciones, excepto en las mallas No. 10 y No. 20 que están ligeramente por encima de dichos parámetros; es decir 1.5 y 1.9% respectivamente; por lo tanto la granulometría de este material se considerará buena para el diseño de nuestra mezcla asfáltica. Será hasta obtener los resultados de la prueba Marshall en el Anexo "A" cuando sabremos si este diseño es aceptado o no. Por tal manera no podemos asegurar que la textura de la carpeta será cerrada y tampoco que se tiene un buen balance de partículas gruesas y finas.

1.5 PRUEBAS DE DENSIDAD RELATIVA APARENTE Y ABSORCIÓN DE MATERIAL PÉTREO RETENIDO EN LA MALLA 3/8"

Los valores de estas dos pruebas están íntimamente ligados y dan un buen indicio de la calidad del material. Aun cuando no existen valores límites fijados por las especificaciones.

Debe procurarse siempre elegir materiales que presenten mayor densidad y menor absorción, que por lo general son los que presentan un menor grado de alteración y consecuentemente una mayor estabilidad estructural.

Los materiales pétreos cuya absorción es alta, requieren el empleo de una mayor cantidad de asfalto en comparación con los de baja absorción, se corre el riesgo de que la cantidad de asfalto utilizado no sea suficiente para cubrir las partículas con una película de espesor necesario, debido a la mayor cantidad de huecos por llenar, lo que provoca una disminución de la vida útil de la carpeta. Cuando se presenta este caso en una mezcla asfáltica, es conveniente aumentar la cantidad de asfalto.

La densidad relativa aparente de un material pétreo se define como la relación de peso de dicho material con respecto al agua destilada a 4° C, en tanto la absorción, es la capacidad máxima del material para absorber agua en un periodo de 24 horas. Estas pruebas se practican al material pétreo retenido en la malla 3/8" (9.50 mm).

Procedimiento de la prueba

Para ejecutar las pruebas de densidad y absorción de los materiales pétreos que se emplearán en la elaboración de carpetas asfálticas, se toma material retenido en la malla de 3/8" (9.50 mm) y se pone a saturar en agua destilada durante un periodo de 24 horas.

Transcurrido el tiempo, se extrae el material del agua y se seca superficialmente con un lienzo absorbente y se pesa.

Para la prueba de densidad el material se coloca en un picnómetro con agua y se cuantifica en una probeta graduada la cantidad de agua que el material pétreo desaloja.

Para la prueba de absorción, se extrae el material del picnómetro y se pone en el horno durante un periodo de 24 horas y una temperatura de 100 a 110° C, después de ello se saca el material del horno, se deja enfriar y se pesa, obteniéndose el peso seco del material.

Se utilizan las siguientes fórmulas para calcular la densidad y la absorción, respectivamente:

$$D = \frac{Ps}{V}$$

D ⇔ Densidad relativa aparente

Ps ⇔ Peso seco del material (gr)

V ⇔ Volumen desalojado de agua (cm³)

$$\% \text{absorción} = \left(\frac{Ph - Ps}{Ps} \right) * 100$$

Ph ⇔ Peso húmedo del material (gr.)

Ps ⇔ Peso seco del material (gr.)

En la prueba realizada el resultado obtenido es el siguiente:

	Triturado	Carpeta	Mezcla 60-35-5
Ph	200.0	200.0	200.0
Ps	197.5	180.0	191.9
V	80.0	86.0	84.2
Densidad	2.47	2.10	2.28
%Absorción	1.27	11.11	4.22

1.6 DETERMINACIÓN DEL EQUIVALENTE DE ARENA

Esta prueba permite determinar la cantidad de arcilla o limos presentes en los materiales pétreos, los cuales dan una consistencia plástica a la muestra. La prueba consiste en agitar un cilindro, que contiene una muestra de material pétreo que pasa la malla N°4, mezclada con una solución que permite separar la arena de la arcilla.

Para efectuar esta prueba es necesario preparar una solución floculante concentrada que consiste en:

Cloruro de calcio anhidro	71.7 gr.	7.17 %
Glicerina U. S. P.	323.5 gr.	32.35 %
Formaldehído en solución volumétrica a 40 vol.	7.4 gr.	0.74 %
Agua destilada	597.4 gr.	59.74%
Total	1,000.0 gr.	100.0 %

El cloruro de calcio se disuelve en 300 mililitros de agua destilada a una temperatura de 50° C. después de que se enfría, se filtra a través de filtro tipo Whatman No. 12. Luego se le agrega la glicerina y el formaldehído y se mezclan perfectamente todos los componentes. Al final se le agrega agua destilada para completar los 1000 gr. de solución.

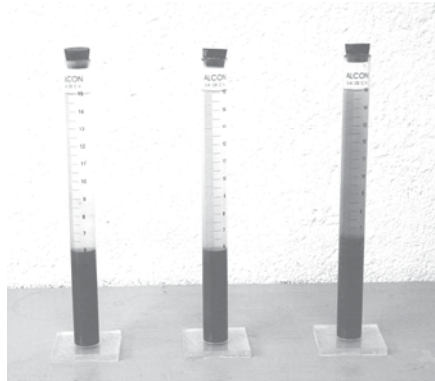
La solución de trabajo se prepara diluyendo 23.10 mililitros de solución concentrada, por cada litro de agua.

Procedimiento de la prueba

Se toma una muestra de material pétreo que pasa por la malla No. 4 (4.75 mm) de aproximadamente 110 gr. En una probeta graduada se vierte la solución de trabajo hasta una altura de 10 cm. y se agrega el material pétreo, se golpea firmemente varias veces el fondo de la probeta contra una superficie sólida, para así obtener un mejor acomodo del material y la evacuación de burbujas atrapadas, y se deja reposar durante 10 minutos.

Transcurridos los 10 minutos, se le coloca un tapón a la probeta y se agita vigorosamente en forma longitudinal, manteniéndose en forma horizontal. Se tienen que completar 90 ciclos en aproximadamente 30 segundos.

Se quita el tapón y se introduce el tubo irrigador procurando limpiar las paredes de la probeta hasta llegar al fondo. Una vez hecho esto se separa el material arcilloso, para lo cual es necesario suspenderlo en la solución mediante un movimiento suave de picado con el tubo irrigador y agitando ligeramente la probeta. Cuando el nivel llegue a 37.5 cm., se sube lentamente el tubo irrigador de manera que el nivel del líquido se mantenga en los 37.5 cm. y se deja la probeta en total reposo durante 20 minutos.



Muestras en reposo a diferente tiempo

Pasado este tiempo se anota la lectura del nivel superior de la arcilla en suspensión (H). Se introduce el pistón dentro de la probeta, tratando de no perturbar los finos en suspensión, hasta que descanse ligeramente sobre la arena. Se agita poco a poco sin empujar hacia abajo, hasta poner uno de sus vértices en contacto con la pared de la probeta y se toma la lectura que marca el pistón (h).



Tomando la lectura de arena

El porcentaje de equivalente de arena se calcula de la siguiente manera:

$$\% _equivalente _de _arena = \left(\frac{Lectura _de _arena(h)}{Lectura _de _arcilla(H)} \right) * 100$$

En los ensayos realizados el resultado obtenido fue el siguiente:

Ensaye	Lectura de arcilla	Lectura de arena	% E. de arena
1	5.82	5.10	87.63
2	5.50	4.95	90.00
3	5.48	5.00	91.24
4	5.65	5.00	88.50
Promedio	5.61	5.01	89.34

Se obtendrá un promedio de los ensayos realizados:

$$\% _equivalente _de _arena = \left(\frac{5.01}{5.61} \right) * 100 = 89.34\%$$

1.7 DETERMINACIÓN DE LA CONTRACCIÓN LINEAL

La contracción lineal de los finos de un material pétreo, nos indica la presencia de mucha o poca actividad de las arcillas que contenga. La contracción lineal es la disminución de la masa del suelo expresada como un porcentaje de la dimensión original cuando su contenido de humedad se reduce desde una cantidad igual a la del límite líquido del material hasta el límite de contracción del mismo.

Si la arcilla se presenta en forma de una película delgada adherida al material pétreo, provoca una baja adherencia del asfalto con el agregado pétreo. Si la arcilla se encuentra en grumos o terrones, estos serán puntos débiles y de falla de la carpeta asfáltica, en presencia de agua.

Procedimiento de la prueba

Se toma una muestra de material que pasa la malla No. 40 (0.425 mm), se le agrega agua hasta que tome el aspecto de un material saturado y se deja en reposo durante un periodo de 24 horas en un lugar seco y fresco, en un recipiente cubierto por un paño húmedo para evitar que el material pierda humedad.



Material saturado en reposo durante 24hrs

Se llena un molde de 2 cm. x 2 cm. x 10 cm., aproximadamente, en tres capas golpeando el molde para expulsar el aire atrapado, posteriormente se mide el molde y se anota la longitud como inicial, se llena el molde y se enrasa para posteriormente meterlo en el horno hasta que su peso se uniformice a una temperatura de 100 a 110° C.



Determinación de la contracción lineal

La siguiente expresión nos indica la contracción lineal del material:

$$Cl = \left(\frac{l_i - l_f}{l_i} \right) * 100$$

Cl ⇔ Contracción lineal del material pétreo (%)

l_i ⇔ Longitud inicial del material húmedo (mm)

l_f ⇔ Longitud del material seco (mm)

En la prueba realizada el resultado fue el siguiente:

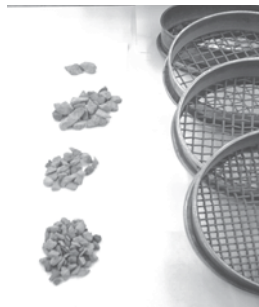
$$Cl = \left(\frac{99.4 - 99.0}{99.4} \right) * 100 = 0.4\%$$

1.8 DETERMINACIÓN DE LA FORMA DE LA PARTÍCULA

El objeto de esta prueba es determinar el contenido de partículas de formas alargada y lajeada presentes en los materiales pétreos empleados en mezclas asfálticas. La prueba consiste en separar el retenido en la malla N° ¼” de una muestra de materiales pétreos, para determinar la forma de cada partícula, empleando calibradores de espesor y de longitud.

Procedimiento de la prueba

De una muestra representativa de material pétreo se toma, por cuarteo, una porción suficiente para obtener como mínimo 200 partículas retenidas en la malla ¼” (6.30 mm), se pesa el material retenido por dicha malla y se registra como (Wi). Posteriormente se separa por tamaños mediante el proceso de cribado.



Retenido en malla N° ¼” y separado por tamaños



Calibrador de espesor y de longitud

Para las partículas con forma de laja (aplanada)

Se toma de una en una las partículas que conforman la porción clasificada de la muestra y se verifica que cada pieza pase por la ranura correspondiente del calibrador de espesores, buscando la posición más adecuada de cada una de las partículas para esta operación.

Se reúnen todas las partículas que pasan por las ranuras del calibrador de espesores y se determina su masa, designándola como (W_p).

Las partículas deberán tener una relación entre su ancho y su espesor no menor de 0.60 veces.

Calibrador de espesores (Partículas planas)		
Malla	Retenido gr.	Pasan el calibrador gr.
3/4"	116.2	19.2
1/2"	274.5	38.5
3/8"	157.6	50.3
1/4"	137.5	41.2
Total	685.8	149.2

Para saber el contenido de partículas en forma de laja de la muestra se emplea la siguiente expresión:

$$C_p = \left(\frac{W_p}{W_i} \right) * 100$$

$C_p \Leftrightarrow$ Por ciento en masa de partículas en forma de laja (%)

$W_p \Leftrightarrow$ Masa de las partículas que pasan las ranuras del calibrador (gr.)

$W_i \Leftrightarrow$ Masa total del material retenido en la malla 1/4" (6.30 mm), (gr.)

En la prueba realizada el resultado obtenido fue el siguiente:

$$C_p = \left(\frac{149.2}{685.8} \right) * 100 = 21.76\%$$

Para las partículas con forma alargada

Se toma una muestra representativa y de la cual, las partículas retenidas en cada malla, se verifica que cada pieza pase por la ranura correspondiente del calibrador de longitudes, buscando la posición tal que su dimensión mayor sea paralela al eje del calibrador.

Se reúnen todas las partículas que hayan pasado por las ranuras del calibrador de longitudes y se determina su masa, designándola como (W_a).

Las partículas deberán tener una relación entre su largo y su ancho mayor de 1.8 veces.

Calibrador de Longitudes (Partículas alargadas)		
Malla	Retenido gr.	Pasan el calibrador gr.
¾"	116.2	102.4
½"	274.5	158.7
3/8"	157.6	99.4
¼"	137.5	70.4
Total	685.8	430.9

Para saber el contenido de partículas en forma alargada de la muestra se emplea la siguiente expresión:

$$Ca = \left(\frac{W_a}{W_i} \right) * 100$$

$Ca \Leftrightarrow$ Por ciento en masa de partículas con forma alargada (%)

$W_a \Leftrightarrow$ Masa de las partículas que pasan los claros del calibrador (gr.)

$W_i \Leftrightarrow$ Masa total del material retenido en la malla ¼" (6.30 mm), (gr.)

En la prueba realizada se obtuvo el siguiente resultado:

$$Ca = \left(\frac{430.9}{685.8} \right) * 100 = 62.83\%$$

1.9 DETERMINACIÓN DEL DESGASTE DEL MATERIAL PÉTREO POR MEDIO DE LA MÁQUINA DE ABRASIÓN “LOS ÁNGELES”

Estas pruebas dan una idea del grado de alteración sufrido por el material pétreo. A mayor grado de alteración corresponderá un desgaste más elevado. Tan bien indican planos de debilitamiento en las partículas del agregado.

En esta prueba se utilizará la maquina de abrasión Los Ángeles, que esta constituida por un cilindro de acero, hueco, cerrado en ambos extremos, con un diámetro interior de 71 cm. y una longitud de 50 cm., provisto de una tapa lateral con cierre hermético y que lleva en su interior una placa de acero de 1” de espesor que se proyecta radialmente 9 cm, sobre el cilindro en toda su longitud. El cilindro está montado sobre ejes fijos a las bases, pero que no se proyectan en su interior, de manera que pueda girar sobre su eje en posición horizontal con una velocidad angular de 30 a 33 r. p. m.

Para la prueba se utilizan esferas de acero como carga abrasiva, con un peso comprendido entre 390 a 445 gr. para cada esfera, y el número que se fija es de acuerdo a la graduación del material pétreo.

Procedimiento de la prueba

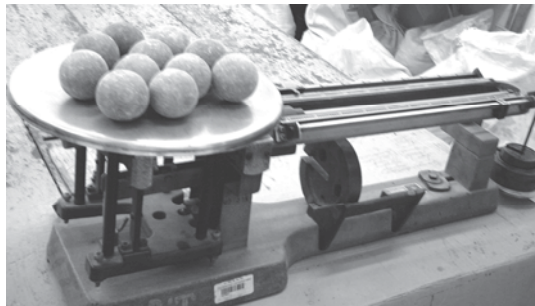
Primeramente se debe clasificar el material pétreo mediante la tabla 1.9.1. En base a la granulometría que se presenta en el Análisis Granulométrico.

Malla No.	Peso retenido parcial (gr)
3/4"	108,0
1/2"	225,6
3/8"	154,2
1/4"	173,1
No. 4	67,2
Pasa No. 4	768,7
SUMA	1496,8

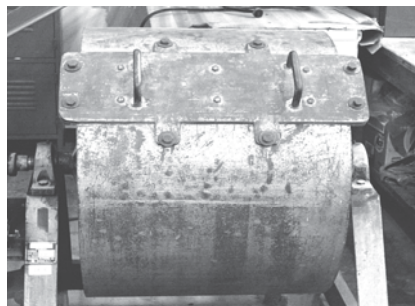
Como se puede observar en la tabla 1.9.1 existen varias clasificaciones de materiales pétreos por lo que al comparar nuestra granulometría, tenemos que nuestro material es de tipo “B”, puesto que el mayor porcentaje de partículas se retiene en la malla de 1/2” (12.50 mm).

Identificado el tipo de material, se toma la cantidad indicada en la tabla 1.9.1 de las partículas retenidas en las mallas No. 1/2” (12.50 mm) y No. 3/8 (9.50 mm), se lava para eliminar el polvo adherido y se mete en el horno para su secado a una temperatura de 100 a 110° C. Para aplicar la carga abrasiva se utilizarán 11 esferas de acero que deberán presentar un peso en gramos de 4584 ± 25 según indica la tabla 1.9.1.

Debido a que el peso de las 11 esferas es mayor al indicado; se utilizarán 10 esferas con un peso total de 4559 gramos. Este peso si cumple con la carga abrasiva.



Obtención del peso de 10 esferas



Máquina de abrasión Los Ángeles

Se registra el peso de la muestra como inicial, se coloca el material en la maquina “Los Ángeles” junto con las 10 esferas de acero, se pone en marcha la maquina hasta completar el total de 500 revoluciones especificadas en la tabla 1.9.1. Una vez concluida esta operación se procede a cribar el material a través de la malla No. 12 (1.70 mm), se pesa el material retenido en dicha malla y se registra el peso como final.



Cribado del material por la malla No. 12

El porcentaje de desgaste del material pétreo se obtiene con la siguiente expresión:

$$D = \left(\frac{W_i - W_f}{W_i} \right) * 100$$

$D \Leftrightarrow$ Desgaste del material pétreo (%)

$W_i \Leftrightarrow$ Peso inicial de la muestra (gr.)

$W_f \Leftrightarrow$ Peso final de la muestra (gr.)

En la prueba realizada el resultado obtenido fue el siguiente:

$$D = \left(\frac{5000 - 4043}{5000} \right) * 100 = 19.14\%$$

TIPO DE MUESTRA	GRANULOMETRÍA		PESO DE LA MUESTRA (gr.)	CARGA ABRASIVA		NÚMERO DE REVOLUCIONES
	PASA MALLA No.	RETIENE MALLA No.		No. DE ESFERAS	PESO TOTAL (gr.)	
A	1 1/2"	1"	1225 ± 25	12	5000 ± 25	500
	1"	3/4"	1225 ± 25			
	3/4"	1/2"	1225 ± 10			
	1/2"	3/8"	1225 ± 10			
TOTAL 5000 ± 10						
B	3/4"	1/2"	2500 ± 10	11	4584 ± 25	500
	1/2"	3/8"	2500 ± 10			
TOTAL 5000 ± 10						
C	3/8"	1/4"	2500 ± 10	8	3330 ± 20	500
	1/4"	No. 4	2500 ± 10			
TOTAL 5000 ± 10						
D	No. 4	No. 8	5000 ± 10	6	2500 ± 15	500
TOTAL 5000 ± 10						
E	3"	2 1/2"	2500 ± 50	12	5000 ± 25	1000
	2 1/2"	2"	2500±50			
	2"	1 1/2"	5000 ± 50			
TOTAL 10000 ± 100						
F	2"	1 1/2"	5000 ± 50	12	5000 ± 25	1000
	1 1/2"	1"	5000 ± 25			
TOTAL 10000 ± 75						
G	1 1/2"	1"	5000 ± 25	12	5000 ± 25	1000
	1"	3/4"	5000 ± 25			
TOTAL 10000 ± 50						

Tabla 1.9.1: Clasificación de los materiales según su granulometría.

1.10 DETERMINACIÓN DE LA AFINIDAD ENTRE EL MATERIAL PÉTREO Y EL CEMENTO ASFÁLTICO

La prueba de desprendimiento de la partícula, que tiene por objeto determinar el desprendimiento del asfalto en el agregado pétreo, cuando la mezcla de prueba se somete a un proceso de agitación en agua.

Se aplica a materiales pétreos y cementos asfálticos que se utilizan en la formación de capas de pavimentos o bien en materiales pétreos sobre los que se les aplica cualquier tipo de tratamientos asfálticos.

El procedimiento para cuantificar los resultados es mediante la inspección visual de las partículas del agregado, tomando en cuenta el porcentaje de partículas en las que hubo desprendimiento de asfalto después de haber sido sometidas a la acción del agua agitándolas para provocar el desprendimiento.

La maquina que se utiliza en esta prueba es una maquina de agitación, la cual consiste en un cilindro metálico hueco de 37 cm. de diámetro y 7 cm. de altura, tiene en la parte inferior de la superficie cilíndrica las bases para apoyo de los frascos, las cuales están alineadas en forma de cuadrantes, el cilindro gira sobre su eje, que esta colocado horizontalmente sobre un soporte metálico, accionado por un motor eléctrico provisto de un reductor para que gire a la velocidad de 45 a 50 r. p. m.

Procedimiento de la prueba

Preparación de la muestra.

De una porción de material pétreo se toma la fracción que pasa a través de la malla 3/8" (9.5 mm) y se retiene en la malla 1/4" (6.30 mm), así como el retenido en la malla No. 4 (4.75 mm); de dicho retenido se toman aproximadamente 250 grs. se procede a integrar muestras de 60 gramos, conformándolas según la granulometría del material. En esta prueba integraremos 4 muestras a ensayar para un total de 240 gramos de material graduado.

Se coloca el material pétreo, correspondiente a un ensaye, en una charola y se calienta a una temperatura de 135° C, también se fluidifican 200 gramos de asfalto. Posteriormente se vierte la cantidad necesaria de asfalto para cubrir la totalidad de las partículas del material pétreo, dicha cantidad se obtiene de la tabla 1.2.

TIPO DE SUPERFICIE DEL MATERIAL PÉTREO	ABSORCIÓN DEL MATERIAL (%)		
	0.0 A 2.5	2.6 A 5.0	MAYOR DE 5.0
LISA	3	4	5
SEMI-RUGOSA	4	5	6
RUGOSA	5	6	7

Tabla 1.2. Porcentaje aproximado, en peso respecto al material pétreo, de cemento asfáltico para lograr un buen cubrimiento de partículas



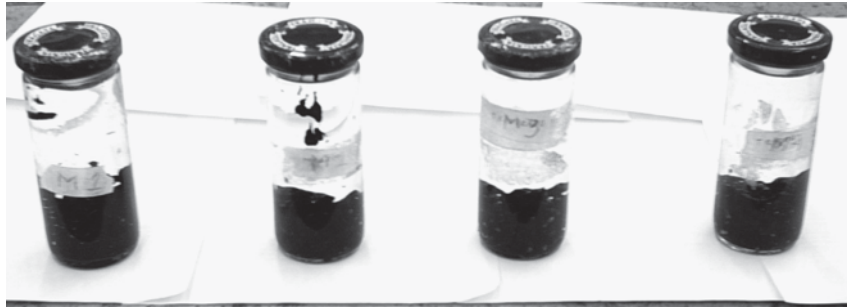
Retenido en 1/4" y No.4

Para el caso del material pétreo ensayado, que tiene una absorción del 4.2%, se toma un valor de 6% para la cantidad de asfalto que se utilizará; según la superficie del material.



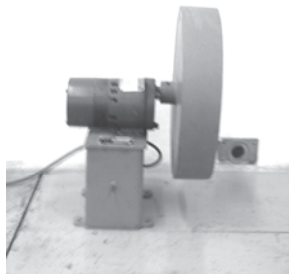
Vaciado del cemento asfáltico

A continuación se agrega la cantidad de asfalto requerido a la muestra de material pétreo y se mezcla con una espátula, hasta lograr que el asfalto cubra completa y uniformemente las partículas, se colocan las muestras en los frascos de vidrio y se agregan a cada una de las partículas, se colocan las muestras en los frascos de vidrio y se agregan a cada una la cantidad de 175 ml de agua destilada.



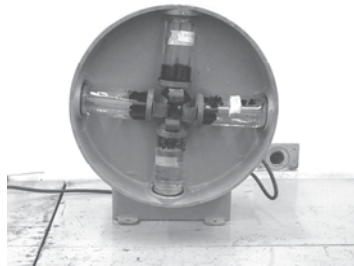
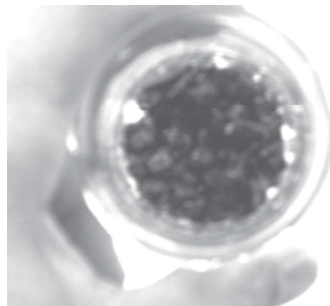
Muestras de material pétreo con agua destilada

Posteriormente se instalan en la maquina los frascos que contienen las mezclas y se agitan durante un periodo de 15 minutos, transcurrido este lapso de tiempo se sacan los frascos de la maquina, se escurre el agua contenida en ellos y se vacía el material sobre una hoja de papel blanca y se observa minuciosamente con una lupa para cuantificar de manera visual el porcentaje de desprendimiento de la película de asfalto de las partículas de material pétreo.



Agitador mecánico de lado (arriba), de frente (abajo)



*Muestras montadas en el equipo**Inspección visual*

En la prueba realizada el resultado obtenido fue el siguiente:

	Muestra No.1	Muestra No.2	Muestra No.3	Muestra No.4
% de cubrimiento antes de la prueba	100	100	100	100
% de cubrimiento después de la prueba	95	98	99	97
% de desprendimiento de asfalto	5	2	1	3

En la prueba realizada se pudo observar que el desprendimiento de la película de asfalto fue menor a 25% en las muestras.

1.11 RESUMEN DE RESULTADOS

PRUEBA	RESULTADO	ESPECIFICACIÓN
Peso volumétrico seco suelto	1380 kg/m ³	No existe norma
Análisis granulométrico	Se acepta la curva granulométrica entre los parámetros	Se tomo la gráfica del libro 6 de la SCT (figura 1.1)
Densidad relativa aparente	2.28	No existe norma
Absorción	4.22 %	Baja absorción < 2%, mediana absorción entre 2% y 4%, Alta absorción >4%
Equivalente de arena	89.34 %	55 % mín.
Contracción lineal	0.4 %	No existe norma
Forma de la partícula	21.76% Material de laja 62.83% Material alargado	35 % máx.
Desgaste de los ángeles	19.34 %	40 % máx.
Afinidad entre el material pétreo con el cemento asfáltico (desprendimiento de la película de asfalto)	Menor de 25%	25 % máx.

1.12 CONCLUSIONES

En el análisis granulométrico de nuestra mezcla asfáltica observamos que la curva se sale de los parámetros que marcan las especificaciones en las mallas No.10 y No.20 con valores fuera de tolerancia de 1.5 y 1.9 respectivamente. Debido a que otras proporciones quedaban fuera de rango y el utilizado en este diseño fue el que más se apego a las especificaciones utilizando los materiales de los bancos que se encuentran en el área donde se aplicará dicho diseño, se decide continuar con la mezcla 60-35-5.

En la absorción del material; tenemos que es de alta absorción, debido a que el material carpeta presenta gran cantidad de poros en su estructura, lo que provoca que se

dispare su absorción; aunque se utiliza en la mezcla en un 35 % es notorio su alta absorción y su baja densidad respecto al material triturado

En la prueba equivalente de arena el resultado del ensaye quedo sobrado respecto a la especificación; lo que nos indica que el material presenta poco material arcilloso que le pueda dar una consistencia plástica a la muestra.

En la prueba de forma de la partícula; vemos que en el ensaye cumplimos con las partículas con forma de laja o aplanada; en cambio las partículas con forma alargada o de aguja, exceden el por ciento contemplado como máximo; esto significa que se corre el riesgo de que se fracturen las partículas dañando la estructura y estabilidad de la superficie de rodamiento debido a la carga de vehículos.

Se presento el caso de tener en exceso la carga abrasiva para determinar el desgaste del material tipo “B”; al que le corresponde 11 esferas con carga abrasiva de 4584 ± 25 gr y un total de 500 revoluciones. Por lo que se utilizarán 10 esferas incluyendo algunas huecas para bajar la carga abrasiva con un peso de 4559 gr.

El material asfáltico presenta buena adherencia con el material pétreo; ya que requiere mayor temperatura para sufra mayor desprendimiento.

CAPÍTULO: II

CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO

2.1 INTRODUCCIÓN

El asfalto es un material bituminoso de color negro, constituido principalmente por asfaltenos, resinas y aceites, elementos que proporcionan características de consistencia, aglutinación y ductilidad; es sólido o semisólido y tiene propiedades cementantes a temperaturas ambientales normales. Al calentarse se ablanda gradualmente hasta alcanzar una consistencia líquida.

Los materiales asfálticos se emplean en la elaboración de carpetas, morteros, riegos y estabilizaciones, ya sea para aglutinar los materiales pétreos utilizados, para ligar o unir diferentes capas del pavimento; o construir, fabricar o impermeabilizar otras estructuras, tales como algunas obras complementarias de drenaje, entre otras.

Los materiales asfálticos se clasifican en cementos asfálticos, emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados, dependiendo del vehículo que se emplee para su incorporación o aplicación, como se indica en la tabla 2.1.1.

Material asfáltico	Vehículo para su aplicación	Usos más comunes
Cemento asfáltico	Calor	Se utiliza en la elaboración en caliente de carpetas, morteros y estabilizaciones, así como elementos base para la fabricación de emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados.
Emulsión asfáltica	Agua	Se utiliza en la elaboración en frío de carpetas, morteros, riegos y estabilizaciones.
Asfalto rebajado	Solventes	Se utiliza en la elaboración en frío de carpetas y para la impregnación de subbases y bases hidráulicas.

Tabla 2.1.1.- Clasificación de los materiales asfálticos

Los cementos asfálticos son asfaltos obtenidos del proceso de destilación del petróleo para eliminar solventes volátiles y parte de sus aceites. Su viscosidad varía con la temperatura y entre sus componentes, las resinas le producen adherencia con los materiales pétreos, siendo excelentes ligantes, pues al ser calentados se licúan, lo que les permite cubrir totalmente las partículas del material pétreo.

Según su viscosidad dinámica a sesenta (60) grados Celsius, los cementos asfálticos se clasifican como se indica en la tabla 2.1.2, donde se señalan los usos más comunes de cada uno.

Clasificación	Viscosidad a 60°C	Usos más comunes
AC-5	50 ± 10	* En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como zona 1 en la figura 2.1.1. * En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen para riegos de impregnación, de liga y poreo con arena, así como en estabilizaciones.
AC-10	100 ± 20	* En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como zona 2. * En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos, dentro de las regiones indicadas como zona 1.
AC-20	200 ± 40	* En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como zona 3. * En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos, dentro de las regiones indicadas como zona 2.
AC-30	300 ± 60	* En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como zona 4. * En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos, dentro de las regiones indicadas como zonas 3 y 4. * En la elaboración de asfaltos rebajados en general, para utilizarse en carpetas de mezcla en frío, así como en riegos de impregnación.

Tabla 2.1.2.- Clasificación de los cementos asfálticos según su viscosidad dinámica a 60°C

Para conocer la calidad de un cemento asfáltico es necesario efectuar cierto número de pruebas en las cuales existen normas reguladoras por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y por la ASTM, que son las más utilizadas en nuestro país.

Otro resultado que nos puede arrojar los resultados de estas pruebas es el tipo de cemento asfáltico que se está trabajando, este es otro aspecto muy importante de un cemento asfáltico, cada tipo de cemento asfáltico tiene cierto dominio en determinadas zonas de nuestro país, dependiendo del clima que predomina en la región, como se muestra en la figura 2.1.1.

En nuestro ensaye utilizaremos cemento asfáltico del tipo AC-20 que es el más común y el que puede utilizarse en gran parte del territorio nacional; solo que será del tipo modificado; por sus características, también se puede trabajar con cemento asfáltico AC-5, AC-10 los cuales son más duros y se recomiendan para zonas muy calurosas, y AC-30 que es más blando.

Para el caso del cemento asfáltico AC-20 se puede concluir que es el aglutinante que más demanda tiene en la región central del país. Por el tipo de clima que predomina

Nota: Dentro de una misma zona, las condiciones de clima y topografía en un área determinada pueden variar, lo que se debe tomar en cuenta para elegir el material adecuado.



Figura 2.1.1.- Regiones geográficas para la utilización de asfaltos clasificados según su viscosidad dinámica a 60° C.

2.2 DEFINICIÓN, CLASIFICACIÓN Y PROPIEDADES DEL CEMENTO ASFÁLTICO AC-20 MODIFICADO CON POLIMERO SBS

Los materiales bituminosos se encuentran entre los más antiguos del mundo y entre los materiales de construcción más comunes, se emplea para pavimentar calles y caminos, y como revestimiento impermeable en construcciones.

Definición y clasificación:

Los materiales asfálticos modificados son el producto de la disolución o incorporación en el asfalto, de un polímero o de hule molido de neumáticos, que son sustancias estables en el tiempo y a cambios de temperatura, que se le añaden al material asfáltico para modificar sus propiedades físicas y reológicas, y disminuir su susceptibilidad a la temperatura y a la humedad, así como a la oxidación. Los modificadores producen una actividad superficial iónica, que incrementa la adherencia en la interfase entre el material pétreo y el material asfáltico, conservándola aun en presencia del agua. También aumenta la resistencia de las mezclas asfálticas a la deformación y a los esfuerzos de tensión repetidos y por lo tanto a la fatiga y reducen el agrietamiento, así como la susceptibilidad de las capas asfálticas a las variaciones de temperatura. Estos modificadores por lo general se aplican directamente al material asfáltico, antes de mezclarlo con el material pétreo. Los principales modificadores utilizados en los materiales asfálticos son:

Polímero tipo I

Es un modificador de asfaltos que mejora el comportamiento de mezclas asfálticas tanto a altas como a bajas temperaturas. Es fabricado con base en bloques de estireno, en polímeros alastoméricos radiales de tipo bibloque o tribloque, mediante configuraciones como Estireno-Butareno-Estireno (SBS) o Estireno-Butareno (SB), entre otras. Se utiliza en mezclas asfálticas para carpetas delgadas y carpetas estructurales de pavimentos con elevados índices de tránsito y de vehículos pesados, en climas fríos y cálidos, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.

Polímero tipo II

Es un modificador de asfaltos que mejora el comportamiento de mezclas asfálticas a bajas temperaturas. Es fabricado con base en polímeros elastoméricos lineales, mediante una configuración de caucho de Estireno, Butadieno-Látex o Neopreno-Látex. Se utiliza en todo tipo de mezclas asfálticas para pavimentos en los que se requiera mejorar su

comportamiento de servicio, en climas fríos y templados, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.

Polímero tipo III

Es un modificador de asfaltos que mejora la resistencia al ahuellamiento de las mezclas asfálticas, disminuye la susceptibilidad del cemento asfáltico a la temperatura y mejora su comportamiento a altas temperaturas. Es fabricado con base en un polímero de tipo elastómero, mediante configuraciones como Etil-Vinil-Acetato (EVA) o polietileno de alta o baja densidad (HDPE, LDPE), entre otras. Se utiliza en climas calientes, en mezclas asfálticas para carpetas estructurales de pavimentación con elevados índices de tránsito, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.

Hule molido de neumáticos

Es un modificador de asfaltos que mejoran la flexibilidad y la resistencia a la tensión de las mezclas asfálticas, reduciendo la aparición de grietas por fatiga o por cambios de temperatura. Es fabricado con base en el producto de la molienda de neumáticos. Se utiliza en carpetas delgadas de granulometría abierta, tratamientos superficiales.

Es importante tomar en cuenta algunas propiedades del cemento asfáltico, para su identificación, las cuales son mencionadas a continuación:

- DENSIDAD O PESO ESPECÍFICO RELATIVO
- VISCOCIDAD SAYBOLT-FUROL
- PENETRACIÓN
- PUNTO DE IGNICIÓN
- DUCTILIDAD
- PUNTO DE REBLANDECIMIENTO
- PERDIDA POR CALENTAMIENTO Y PENETRACIÓN RETENIDA
- RECUPERACIÓN ELÁSTICA POR TORSIÓN

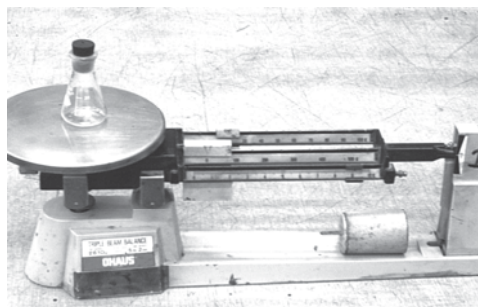
2.3 PRUEBA DE DENSIDAD O PESO ESPECÍFICO RELATIVO

Esta prueba consiste, en determinar la relación que existe entre el peso de un volumen dado del material a 25° C, y el peso de un volumen igual de agua a la misma temperatura

El conocimiento del peso específico es útil en dos aspectos. Es necesario conocer la relación entre peso y volumen; las especificaciones de materiales bituminosos para pavimentación se expresan en porcentaje por peso. En las mezclas en caliente es necesario conocer el coeficiente de dilatación del producto asfáltico de forma que pueda calcularse el peso específico a cualquier temperatura; no siendo así debe determinarse el peso específico a la temperatura de trabajo.

Procedimiento de la prueba

El método utilizado es el del picnómetro. El frasco vacío, se seca, se pesa, registrándolo como (W_f), y se llena con agua destilada recientemente hervida, para eliminar el aire y se pesa; obteniéndose así (W_{fw}).

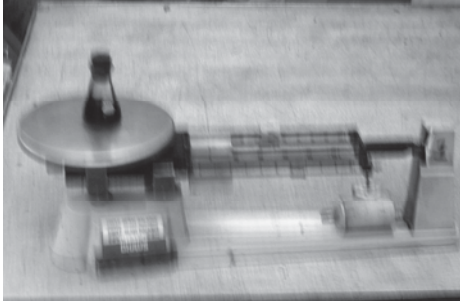


Peso del picnómetro con tapón

Se fluidifican 100gramos de cemento asfáltico en un vaso de precipitado; también se calienta ligeramente el picnómetro y se introduce en el una cantidad de cemento asfáltico para llenarlo hasta la mitad aproximadamente, manteniéndolo fluido durante un tiempo lo suficientemente largo para que no queden atrapadas burbujas de aire, se deja enfriar y se pesa; obteniéndose (W_{fa}).

Después de pesar, se vierte agua destilada hasta el borde del picnómetro para llenarlo, enseguida se tapa firmemente con el tapón, se elimina la humedad de la superficie exterior del picnómetro e inmediatamente se pesa; registrándolo como (W_{faw}). Deben

establecerse las temperaturas del material a 25° C y el agua a la misma temperatura antes de cada pesada.



Peso del picnómetro con cemento asfáltico y agua destilada

El cálculo de la densidad se determina con la siguiente expresión:

$$Sca = \frac{Wfa - Wf}{(Wfw - Wf) - (Wfaw - Wfa)} = \frac{Wa}{Ww}$$

Sca ⇔ Peso específico relativo o densidad del cemento asfáltico (adimensional).

Wf ⇔ Peso del picnómetro (gr.)

Wfw ⇔ Peso del picnómetro lleno de agua (gr.)

Wfa ⇔ Peso del picnómetro con asfalto (gr.)

Wfaw ⇔ Peso del picnómetro con asfalto y agua (gr.)

Wfa ⇔ Peso del cemento asfáltico contenido en el picnómetro (gr.)

Ww ⇔ Peso del agua destilada in gramos correspondiente a un volumen igual al del cemento asfáltico.

En la prueba realizada el resultado obtenido fue el siguiente:

Wf =29.1 gr.

Wfw =56.0 gr.

Wfa =40.0 gr.

Wfaw =55.9 gr.

$$Sca = \frac{40.0 - 29.1}{(56.0 - 29.1) - (55.9 - 40.0)} = \frac{10.9}{11.0} = 0.99$$

2.4 PRUEBA DE VISCOSIDAD SAYBOLT-FUROL

La viscosidad de un cemento asfáltico es una medida de sus características de fluencia y afecta en un grado considerable al comportamiento del pavimento en que se utilice este producto. Por ello puede considerarse la viscosidad como la propiedad física más importante de un cemento asfáltico. Durante el mezclado, las viscosidades bajas facilitan una envuelta más fácil y rápida del agregado pétreo y pueden mantenerse más bajas las temperaturas de mezclado.

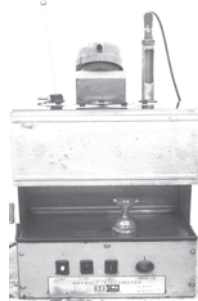
La viscosidad es un índice de la manejabilidad del producto, y sirve como guía para hacer la selección del producto adecuado para las condiciones particulares de cada obra. La trabajabilidad de una mezcla esta íntimamente ligada a la viscosidad del producto asfáltico, la granulometría del agregado y la temperatura ambiente al momento de hacer la mezcla.

Para nuestra prueba de viscosidad utilizaremos el viscosímetro Saybolt-Furol que se utiliza para medir la viscosidad en los tipos americanos de asfalto fluidificados.

Procedimiento de la prueba

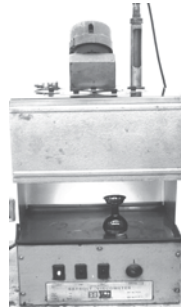
Se calienta el baño del viscosímetro a una temperatura de 135° C, se inserta un corcho en la cámara de aire por debajo del orificio y se vierte el aglomerante, previamente calentado, en el recipiente hasta que rebosa y llena el rebosadero.

Cuando las temperaturas del baño y del recipiente se han estabilizado a una temperatura de 135° C se saca el termómetro del recipiente y se extrae del vertedero el exceso de aglomerante.



Viscosímetro Saybolt-Furol

Se quita el corcho y se deja caer, en un matraz receptor graduado, 60ml de aglomerante.



Matraz receptor lleno

El tiempo transcurrido desde que se inicia el llenado del recipiente del viscosímetro y el llenado del matraz no será mayor de 15 minutos.

En la prueba realizada el resultado obtenido fue el siguiente:

Tiempo transcurrido = 422 segundos

2.5 PRUEBA DE PENETRACIÓN

La prueba de penetración consiste en medir la distancia que penetra una aguja de acero de dimensiones estándar, provista de un vástago y un contrapeso que en total pesan 100 gramos, en masa de asfalto que se mantiene a la temperatura de 25° C.

La penetración debe efectuarse en un tiempo de 5 segundos, que se cuentan a partir del momento en que la aguja de penetración es puesta en contacto con la superficie de asfalto, se deja caer libremente y se mide en décimos de milímetro, que se denomina grados de penetración.

A menor penetración corresponde a una mayor dureza del asfalto.

Procedimiento de la prueba

Se toma una muestra de cemento asfáltico y se vierte en una capsula, la muestra no se debe calentar a más de 130° C ni por más de 30 minutos, se deja reposar hasta que se enfríe. Posteriormente se introduce en baño maría a una temperatura de 25° C por espacio de una hora y media a dos horas, esto con la finalidad de uniformizar la temperatura del mismo.



Baño maría para las pruebas de penetración y recuperación elástica por torsión

Después se saca la capsula y se pone en el penetrómetro, se coloca la aguja hasta que toque la superficie del aglutinante y se deja caer libremente durante 5 segundos. La lectura en el micrómetro, convertida a décimas de milímetro, serán los grados de penetración del asfalto.

*Muestra en el penetrómetro**Se lleva a cabo una penetración*

Se realiza el mismo procedimiento al menos en cuatro puntos diferentes del ensaye y se obtiene un promedio de las mismos desechando la lectura mas alta y la mas baja.

En la prueba realizada el resultado obtenido fue el siguiente:

Ensaye	Grados de penetración
1	90
2	73
3	78
4	80
5	86
6	81
Promedio	81.25

2.6 PUNTO DE IGNICIÓN DE UN CEMENTO ASFÁLTICO

El punto de ignición de un producto asfáltico representa la temperatura crítica a la que puede calentarse el producto asfáltico sin que éste presente el peligro de incendio.

Lo anterior no significa que el producto no pueda o no deba calentarse a una temperatura superior a la de su punto de ignición, sino simplemente en estos casos deberán extremarse las precauciones para evitar el riesgo de incendio.

La determinación del punto de ignición se hace incrementando paulatinamente la temperatura de una muestra de asfalto en la copa abierta de Cleveland, que es un recipiente cilíndrico de metal, provisto de un labio plano y un brazo con extremo de madera.

Se incrementa la temperatura hasta lograr que al pasar horizontalmente una flama por la superficie de la muestra cerca de los bordes de la copa, se presenten flamas instantáneas sobre el producto; la temperatura correspondiente se denomina punto de ignición o inflamación. Si se continúa elevando la temperatura de la muestra se llega al punto en que se inicia la combustión del material, la temperatura correspondiente se denomina punto de combustión.

La temperatura a la que se producen flamas instantáneas es el punto de ignición o inflamación.

Procedimiento de la prueba

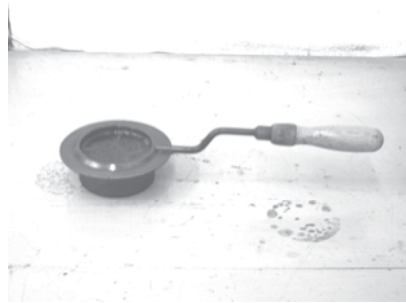
Se fluidifica cemento asfáltico y se vierte en la copa de abierta de Cleveland la cantidad necesaria, hasta la línea de aforo procurando no sobrepasarla, posteriormente se coloca la muestra en la placa de apoyo sobre el soporte a una altura apropiada para colocar el mechero, enseguida el termómetro en el centro de la copa y que la parte inferior del bulbo quede a 6.4 mm del fondo y por ultimo se coloca el mechero; cuidando que el eje del mechero, el centro de la copa y el eje del termómetro queden en el mismo plano vertical

Se enciende el mechero, se ajusta la flama y se le aplica calor a la muestra de manera que su temperatura aumente a razón de 14 a 17° C/min, hasta que alcance una temperatura aproximada de 60° C abajo del punto de ignición probable. A continuación, se reduce gradualmente el calor aplicado a la copa de manera que al llegar la muestra a 30° C abajo del punto de ignición probable, el incremento de temperatura sea de 5 a 6° C/min.

Cuando la temperatura de la muestra de prueba sea de 30° C abajo del punto de ignición probable, se inicia la aplicación de la flama pasándola de lado a lado de la copa, sobre el centro de la misma y con movimiento circular uniforme de manera que la duración

del paso de la flama sobre la copa sea de 1seg aproximadamente; se disminuirá el incremento de temperatura hasta obtener 1.5° C por minuto.

Se continúa incrementando la temperatura de la muestra a razón de 1.5° C/min, pasando el aplicador de la flama cada incremento de 2° C, hasta que se produzcan flamas sobre la superficie de la muestra.



Copa abierta de Cleveland conteniendo la muestra



Montaje del equipo; ejes alineados verticalmente

A intervalos de 2° C se pasa una pequeña flama por el borde de la copa y en el momento en que aparezca una pequeña flama, en cualquier parte de la superficie de la muestra, se toma la temperatura, la cual será el punto de inflamación.

En la prueba realizada el resultado obtenido fue el siguiente:

La aparición de la primera flama se registro a los 318° C.

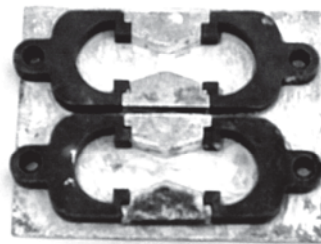
2.7 PRUEBA DE DUCTILIDAD

La ductilidad de un asfalto se define como la distancia en centímetros que puede alargarse una probeta normalizada antes de que el hilo así formado se rompa en las condiciones especificadas.

Un cemento asfáltico debe tener cierta ductilidad porque los pavimentos bituminosos están sometidos a cambios de temperatura que producen dilataciones y contracciones. Además los esfuerzos producidos por la carga de los vehículos producen movimientos en el pavimento.

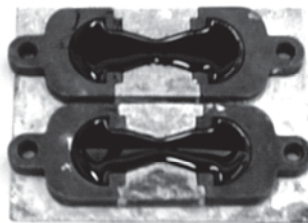
Procedimiento de la prueba

Se amalgaman el molde y la placa de cobre, para evitar que se adhiera el asfalto. Para ello se colocará un poco de talco en la placa base y los laterales que conformarán la briqueta. Se colocará el molde encima de la placa, en posición horizontal.



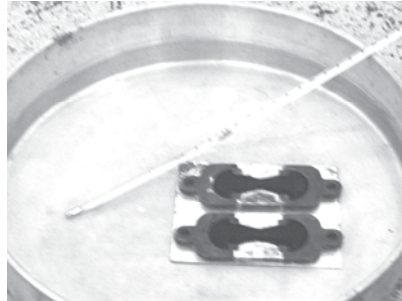
Briquetas con talco

Se vierte el asfalto en estado líquido en dos moldes, superando ligeramente la línea de enrase y evitando la formación de burbujas.



Muestras adquiriendo temperatura ambiente

Se dejan enfriar las muestras a una temperatura ambiente durante 30 minutos para después sumergir la briqueta y la placa en baño maría a una temperatura de 25°C y se mantendrá en el durante 30 minutos.



Muestras en baño maría para ser enrasadas

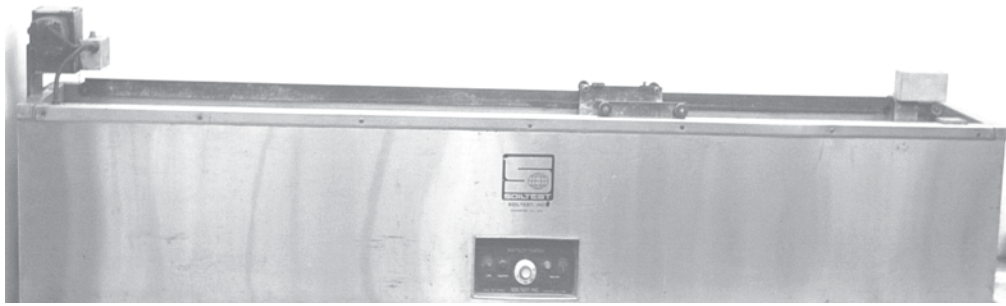
Se sacarán las muestras del baño maría y se retirará el exceso de asfalto con una espátula previamente calentada. Enrasado el molde se colocará de nuevo en el baño de agua a temperatura de 25°C, manteniéndolo por un lapso de hora y media (90 minutos).



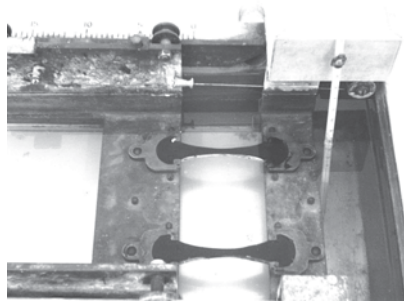
Retirando el exceso de asfalto con una espátula

Transcurrido este tiempo, se procede a desmontar las piezas laterales de los moldes, también se retira la placa y las probetas se montan en el ductilómetro, el cual esta previamente llenado con agua a una temperatura de 25° C, el nivel de agua deberá estar 2.5 centímetros por encima de la probeta.

Teniendo todo listo se pone en marcha el mecanismo del ductilómetro el cual nos proporciona una velocidad de estiramiento en nuestra probeta de 5 centímetros por minuto. En el momento en que los hilos de asfalto lleguen a la ruptura, se anota la distancia recorrida por la briqueta, en centímetros, y esta será la ductilidad del asfalto.



Ductilómetro con regulador de temperatura



Estirando las muestras a razón de 5cm / min.

En la prueba realizada el resultado obtenido fue el siguiente:

Probeta No.	Distancia de ruptura cm.
1	46.5
2	50.0
Promedio	48.3

2.8 PUNTO DE REBLANDECIMIENTO

El punto de reblandecimiento de un aglomerante es la temperatura a la cual se reblandece lo suficiente para dejar que una esfera de acero situada inicialmente en la superficie caiga a través del disco hasta llegar a una distancia de 25 milímetros, que se calienta gradualmente dentro de un baño de agua. El punto de reblandecimiento se emplea para caracterizar los asfaltos duros.

Los materiales bituminosos no pasan de sólidos a líquidos en una temperatura determinada, sino que se reblandecen gradualmente a medida que la temperatura se incrementa.

Procedimiento de la prueba

De la muestra se toma una porción de volumen ligeramente mayor al necesario para llenar los anillos y se calienta en un recipiente apropiado, agitándola en forma continua para distribuir la temperatura uniformemente, hasta que adquiera la fluidez que permita su vaciado en los anillos, cuidando que durante su calentamiento y vaciado no se formen burbujas de aire, que la temperatura alcanzada no exceda de 130° C y que esta operación se realice en un lapso menor a 60 minutos.

Se calientan los anillos a una temperatura aproximadamente igual a la de la muestra y se colocan sobre la placa de apoyo, la que se amalgama previamente para que no se le adhiera la muestra de cemento asfáltico.

A continuación se vierte en dos anillos de latón una muestra de aglomerante, se cubren del polvo y se deja enfriar durante aproximadamente 30 minutos para que recobre su consistencia sólida, debiendo alcanzar una temperatura de cuando menos 10° C debajo de la que corresponda al punto de reblandecimiento estimado. Después el exceso del producto se elimina enrasando la parte superior de los anillos con una espátula calentada previamente para facilitar el corte.

Se ensambla el sistema de soporte colocando en su lugar los anillos con la muestra de prueba, las guías y el termómetro de manera que la parte inferior de su bulbo quede al mismo nivel que la parte inferior de los anillos. Se montan los anillos en un matraz llenándolo hasta una altura de 5 cm por encima de la cara superior de los anillos con agua destilada recientemente hervida a una temperatura de 5° C; se dejan reposar las muestras 15 minutos manteniendo la temperatura indicada.

Se colocan las esferas encima de las muestras mediante unas pinzas y se coloca el mechero para elevar la temperatura a razón de 5° C por minuto.



Muestra en anillos de latón reposando 30 mín.

Se anota la temperatura a la que la muestra, rodeando a la esfera de acero, llega a una profundidad de 2.5 centímetros, dándola como punto de reblandecimiento por el método del anillo y la esfera.



Muestras contenidas en agua a temperatura inicial de 5° C sobre la fuente de calor

En la prueba realizada el resultado obtenido fue el siguiente:

MUESTRA	TEMPERATURA ° C
1	53
2	55
Promedio	54

La temperatura a la que la esfera llego a una profundidad de 2.5 cm. fue a 54° C

2.9 DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA POR CALENTAMIENTO Y PENETRACIÓN RETENIDA

El ensayo de pérdida por calentamiento de los asfaltos determina el porcentaje perdido cuando el material se calienta a 163°C durante cinco horas en un horno ventilado.

Por consiguiente, es una forma de ensayo de destilación y se utiliza como medida de las volatilidades relativas a las temperaturas normalmente utilizadas para la preparación de mezclas asfálticas.

Los asfaltos de penetración utilizados para la construcción de carreteras pierden normalmente menos del 1% en este ensayo; los tipos de asfaltos más duros utilizados en mezclas asfálticas pierden frecuentemente menos del 0.25%. Cuando es necesario, pueden llevarse a cabo ensayos de penetración o de punto de reblandecimiento sobre el residuo del ensayo de pérdida por calentamiento.

Procedimiento de la prueba

Se calienta una muestra de cemento asfáltico cuidando que no sobrepase una temperatura de 130°C , se vierten 50 gramos de cemento asfáltico en dos charolas previamente pesadas. Se deja enfriar a temperatura ambiente y se pesan.



Muestras en el horno

El horno está provisto de un orificio que permite una ventilación y regular la temperatura.

Se calienta el horno a una temperatura uniforme y estable de 163°C . Se colocan las muestras en el estante y se dejan por espacio de 5 horas.

Transcurridas las 5 horas se sacan los ensayos y se dejan enfriar a temperatura ambiente y se pesan.

La pérdida por calentamiento se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$W_c = \left(\frac{W_i - W_f}{W_i} \right) * 100$$

$W_c \Leftrightarrow$ Pérdida por calentamiento del cemento asfáltico (%)

$W_i \Leftrightarrow$ Peso inicial de la muestra (gr.)

$W_f \Leftrightarrow$ Peso final de la muestra (gr.)

En la prueba realizada el resultado obtenido fue el siguiente:

Ensaye	W_i	W_f	W_c
1	81.8	81.3	0.61
2	69.2	69.0	0.29
Promedio			0.45

Pérdida por calentamiento del cemento asfáltico 0.45 %

Penetración retenida

A continuación se colocan los ensayos nuevamente en el horno durante 15 minutos con la finalidad de que los mismos se fluidifiquen y mezclarlos para así tener una probeta para la prueba de penetración.

La prueba de penetración realizada en este estudio se llama penetración retenida y esta se expresa como un porcentaje de la penetración original de nuestro asfalto.

La penetración retenida se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$Pr = \left(\frac{Pf}{Pi} \right) * 100$$

Pr ⇔ Penetración retenida por la muestra de cemento asfáltico (%)

Pi ⇔ Penetración de la muestra original (grados de penetración)

Pf ⇔ Penetración de la muestra después de haber sido sometida a calentamiento (grados de penetración)



Penetración al residuo de la pérdida por calentamiento

Penetración retenida:

Ensayo No. 1	Grados de penetración
1	50
2	45
3	41
4	44
5	43
Promedio	44

$$Pr = \left(\frac{44.00}{81.25} \right) * 100 = 54.15\%$$

2.10 RECUPERACIÓN ELÁSTICA POR TORSIÓN

Esta prueba permite determinar la capacidad de recuperación elástica de los materiales asfálticos modificados. La prueba consiste en inducir una deformación angular mediante un cilindro de acero de dimensiones específicas, embebido en una muestra de cemento asfáltico modificado, con el objeto de observar su capacidad de recuperación.

Procedimiento de la prueba

De la muestra de cemento asfáltico modificado, se le aplica calor suficiente para hacerlo más fluido; procurando que la temperatura no exceda de 130° C en ningún momento. Se toma en un recipiente una porción de volumen ligeramente mayor al necesario para llenar el molde para la muestra del aparato de torsión y se calienta, agitándola en forma continua con el objeto de distribuir la temperatura uniformemente, hasta que adquiera la fluidez suficiente para facilitar su vaciado en dicho molde. Esta operación deberá realizarse en un lapso menor de 30 minutos.

Se centra el molde y se fija para la muestra dentro del baño. Antes de agregar el agua.

Se ajusta el cilindro metálico de tal forma que su base inferior quede a una distancia de 20 milímetros del fondo del molde, previamente al vertido de la muestra.

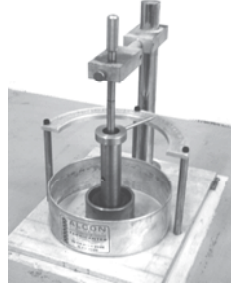
Una vez preparado el equipo y fluida la muestra se procede a vaciarla en el molde, evitando la formación de burbujas de aire y en cantidad suficiente que permita el enrasamiento de dicho molde usando como referencia la marca grabada sobre el cilindro metálico a 10 milímetros de su base inferior; es decir, que el cilindro metálico que de sumergido dentro de la muestra precisamente estos 10 milímetros.

Se deja enfriar el conjunto formado por el molde, la muestra y el cilindro metálico, durante 1 hora como mínimo, hasta alcanzar la temperatura ambiente.

Se hace circular agua por el baño a una temperatura de $25 \pm 0.1^{\circ}$ C durante al menos 90 minutos, con el fin de equilibrar la temperatura del agua y de la muestra de prueba. El nivel del líquido en el baño estará por encima del recipiente con la muestra.

Posterior al tiempo de espera, se introduce el pasador en el espacio que para tal efecto tiene el cilindro metálico y con su ayuda se hace girar dicho cilindro 180° C en el sentido de las manecillas del reloj, es decir, se lleva la barra indicadora de 180° a 0°, en un tiempo comprendido entre 3 y 5 segundos. Hecho esto, se retira inmediatamente el pasador para que no interfiera con el desarrollo posterior de la prueba.

Se le permite a la muestra recuperarse en un tiempo de 30 minutos $\pm$ 15 segundos, al cabo de los cuales, se registra la lectura indicada por la barra sobre la semicorona graduada, como el valor del ángulo recuperado (L).



Recuperación de la muestra en 30 mín.

Se reporta como resultado de la prueba, el porcentaje de recuperación con respecto al ángulo inicial de 180°, utilizando la siguiente expresión:

$$Re = \left(\frac{L}{180} \right) * 100$$

Re $\Leftrightarrow$ Recuperación elástica por torsión, (%)

L $\Leftrightarrow$ Ángulo recuperado, (°)

En la prueba realizada el resultado fue el siguiente:

$$Re = \left(\frac{70}{180} \right) * 100 = 38.9\%$$

La recuperación elástica por torsión es de 38.9 %

2.11 RESUMEN DE RESULTADOS

PRUEBA	RESULTADO	ESPECIFICACIÓN
Densidad	0.99	No existe norma
Viscosidad Saybolt-Furol a 135°C	422 seg.	1000 seg. máx.
Penetración (25°C, 100gr., 5seg.)	81.25°	40° mín.
Punto de Ignición	318° C	230° C mín.
Ductilidad a 25° C	48.3 cm.	50 cm. mín.
Punto de reblandecimiento	54° C	55° C
Pérdida por calentamiento	0.45 %	1.0 % max.
Penetración retenida	54.15 %	54% mín.
Recuperación elástica por torsión	38.9 %	30 % mín.

2.12 CONCLUSIONES

A manera de conclusión se pueden enumerar una serie de ventajas y desventajas de los asfaltos modificados con polímeros.

Ventajas

- Disminuye la susceptibilidad térmica
 - Se obtienen mezclas más rígidas a altas temperaturas de servicio reduciendo el ahuellamiento.
 - Se obtienen mezclas más flexibles a bajas temperaturas de servicio reduciendo el fisuramiento.
- Disminuye la exudación del asfalto: por la mayor viscosidad de la mezcla, su menor tendencia a fluir y su mayor elasticidad.
- Mayor elasticidad: debido a los polímeros de cadenas largas.

3. Mayor adherencia: debido a los polímeros de cadenas cortas.
4. Mayor cohesión: el polímero refuerza la cohesión de la mezcla.
5. Mejora la trabajabilidad y la compactación: por la acción lubricante del polímero o de los aditivos incorporados para el mezclado.
6. Mejor impermeabilización: en los sellados bituminosos, pues absorbe mejor los esfuerzos tangenciales, evitando la propagación de las fisuras.
7. Mayor resistencia al envejecimiento: mantiene las propiedades del ligante, pues los sitios más activos del asfalto son ocupados por el polímero.
8. Mayor durabilidad: los ensayos de envejecimiento acelerado en laboratorio, demuestran su excelente resistencia al cambio de sus propiedades características.
9. Mejora la vida útil de las mezclas: menos trabajos de conservación.
10. Fácilmente disponible en el mercado.
11. Permiten mayor espesor de la película de asfalto sobre el agregado.
12. Mayor resistencia al derrame de combustibles.
13. Reduce el costo de mantenimiento.
14. Disminuye el nivel de ruidos: sobre todo en mezclas abiertas.
15. Aumenta el módulo de la mezcla.
16. Permite la reducción de hasta el 20% de los espesores por su mayor módulo.
17. Mayor resistencia a la flexión en la cara inferior de las capas de mezclas asfálticas.
18. Permite un mejor sellado de las fisuras.
19. Buenas condiciones de almacenamiento a temperaturas moderadas.
20. No requieren equipos especiales.

Desventajas

1. Alto costo del polímero.
2. Dificultades del mezclado: no todos los polímeros son compatibles con el asfalto base (existen aditivos correctores).
3. Deben extremarse los cuidados en el momento de la elaboración de la mezcla.
4. Los agregados no deben estar húmedos ni sucios.
5. La temperatura mínima de distribución es de 145° C por su rápido endurecimiento

Evidente que la mayor desventaja de estos es el alto costo inicial del asfalto modificado, sin embargo, si hacemos un análisis del costo a largo plazo (es decir, la vida útil del pavimento); podemos concluir que el elevado costo inicial queda sobradamente compensado por la reducción del mantenimiento futuro y el alargamiento de la vida de servicio del pavimento.

Una vez concluidas todas las pruebas de laboratorio necesarias para conocer las propiedades del cemento asfáltico AC-20 modificado con polímero SBS; las cuales marca

la SCT; podemos comparar en la tabla anterior los resultados obtenidos con las especificaciones que rige la SCT para cementos asfálticos modificados.

Como se puede observar; la densidad del cemento asfáltico tiende a igualar a la densidad del agua; esto quiere decir, que la relación del peso de un volumen de cemento asfáltico es casi igual al volumen de agua a la temperatura de 25°C.

La viscosidad es un índice de manejabilidad del producto y en nuestro ensaye tenemos que el vertido de 60ml de cemento asfáltico a 135°C de temperatura ocurrió en un tiempo inferior al señalado por las especificaciones.

Recordando que a menor grado de penetración corresponde una mayor dureza del asfalto; y los grados de penetración que arrojo la muestra están muy por encima del mínimo, lo cual nos indica que la resistencia a la penetración no es alta.

El punto de ignición o punto crítico en el que aparece la primera flama sobre la superficie del producto asfáltico, se encuentra a una temperatura muy elevada por lo que el peligro de que ocurra un incendio al estar en contacto el producto con el fuego es bajo; lo cual nos puede indicar que el cemento asfáltico no esta contaminado con sustancias dañinas para su comportamiento; pero de incrementarse la temperatura a partir del punto crítico deberán tomarse precauciones para eliminar el peligro de incendio.

Tomando en cuenta que se prepararon dos muestras; y una de las cuales, cumple con la ductilidad mínima; la ductilidad de la segunda muestra esta por de bajo de la mínima y se opta por seguir con las pruebas, con el fin de caracterizar el cemento asfáltico para éste tema de tesis.

En el punto de reblandecimiento es otra de las pruebas que tampoco cumplen con las especificaciones estando ligeramente por debajo de la temperatura mínima; es decir que la esfera avanza 2.5cm un poco antes que se presente la temperatura mínima de reblandecimiento.

En las dos pruebas anteriores los resultados de los ensayos no cumplen con las especificaciones que marca la SCT. Pero tomando en cuenta que en cada una de las pruebas se realizaron dos muestras, en ambas una de las dos cumple con el mínimo que marca la SCT; por consiguiente se procede a seguir con la caracterización del asfalto.

Las siguientes pruebas que son: perdida por calentamiento, penetración retenida y recuperación elástica por torsión vemos que los resultados de los ensayos practicados cumplen satisfactoriamente con las especificaciones que marca la SCT; por lo que se considera al cemento asfáltico modificado con polímero S. B. S. apto para realizar el diseño de la mezcla asfáltica.

CAPÍTULO: III

CALCULO DEL CONTENIDO MÍNIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO

3.1 INTRODUCCIÓN

La cantidad mínima de cemento asfáltico necesario para cubrir la totalidad de las partículas se expresa como el porcentaje del peso total del agregado pétreo y va en función de las características físicas del mismo, de su graduación y del tipo de producto asfáltico que se va aplicar.

Para el cálculo del contenido mínimo de cemento asfáltico existen dos métodos:

1. Superficie Específica
2. Formula Analítica de la S.C.T.

Tomando en cuenta la granulometría del material pétreo, se opta por usar el Método de Superficie Específica.

Éste método se basa en la estimación aproximada de la superficie total de las partículas del material pétreo, por lo que la granulometría del material es indispensable.

3.2 CÁLCULO DEL CONTENIDO MÍNIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO

Para calcular la superficie total del agregado pétreo se utilizan constantes de área las cuales se obtienen de la tabla 3.1, dichas constantes están expresadas en metros cuadrados por cada kilogramo de material.

TAMAÑO DEL MATERIAL		CONSTANTES DE ÁREA (M ² /KG)
PASA MALLA	RETIENE MALLA	
1 ½"	¾"	0.27
¾"	No. 4	0.41
No. 4	No. 40	2.05
No. 40	No. 200	15.38
No. 200		53.3

Tabla 3.1 Constantes de área

Para determinar la superficie total de la muestra se multiplica cada una de las constantes de área por el porcentaje retenido por las mallas indicadas en la tabla 3.1, teniendo la superficie total de la muestra se multiplica por un índice asfáltico, el cual está en función de la angulosidad de las partículas y de la absorción de las mismas, el índice asfáltico se toma de la tabla 3.2, de acuerdo a las características que tiene nuestro material pétreo.

TIPO DE MATERIAL	ÍNDICE ASFÁLTICO
Gravas o arenas de río o materiales redondeados de baja absorción.	0,0053
Gravas angulosas o redondeadas, trituradas de baja absorción.	0,0060
Gravas angulosas o redondeadas, de alta absorción y rocas trituradas de media absorción	0,0070
Rocas trituradas de alta absorción	0,0080

Tabla 3.2 Índice asfáltico

La granulometría del material pétreo se muestra en la siguiente tabla:

MALLA	% QUE PASA
1"	100
3/4"	92,8
1/2"	77,7
3/8"	67,4
1/4"	55,8
No. 4	51,4
No. 10	28,5
No. 20	15,9
No. 40	9,2
No. 60	6,5
No. 100	4,6
No. 200	2,2

Como puede observarse en la tabla 3.2, para el tipo de material que tenemos le corresponde un índice asfáltico de 0.0070 por tratarse de material de alta absorción y del tipo redondeado.

Para el caso de los cementos asfálticos el valor obtenido como contenido mínimo se deberá multiplicar por un factor de 1.25, éste factor se aplica cuando se utilizan cementos asfálticos sólidos por tener un menor poder de cubrimiento.

Además, las especificaciones nos dicen que hay que incrementar en un 0.1% el contenido mínimo ya multiplicado por el factor anterior.

El cálculo del contenido mínimo de asfalto se realiza en la siguiente tabla:

TAMAÑO DE MATERIAL		% EN PESO	CONSTANTE DE ÁREA (M ² /KG)	SUPERFICIE PARCIAL	ÍNDICE ASFÁLTICO	CONTENIDO DE ASFALTO
PASA MALLA	RETIENE MALLA					
1 ½"	¾"	7.2	0.27	0.0194	0.0070	0.0001361
¾"	No. 4	41.4	0.41	0.1697	0.0070	0.0011882
No. 4	No. 40	42.2	2.05	0.8651	0.0070	0.0060557
No. 40	No. 200	7.0	15.38	1.0766	0.0070	0.0075362
No. 200	Charola	2.2	53.30	1.1726	0.0070	0.0082082
TOTAL		100		3.3035		0.0231244

$$0.0231244 * 1.25 = 0.0289 * 100 = 2.9\%$$

A éste resultado se le agrega el 0.1% por especificación, por lo tanto el contenido mínimo de cemento asfáltico es de 3%.

Para los ensayos de la prueba del Método Marshall es necesario hacer la preparación de especímenes con un contenido de asfalto de:

Contenido calculado -1.0 %
 Contenido calculado Neto
 Contenido calculado +0.5 %
 Contenido calculado +1.0 %
 Contenido calculado +1.5 %
 Contenido calculado +2.0 %

Características	Uso de la mezcla asfáltica elaborada con cemento asfáltico	Para carreteras con tránsito diario en ambos sentidos		Para Aeropistas
		Hasta 2000 vehículos pesados*	Más de 2000 vehículos pesados*	
Numero de golpes por cara		50	75	75
Estabilidad mínima (kg)	Para carpetas, capas de renivelación, bases asfálticas y bacheo	450	700	700
Flujo (mm)	Para carpetas, capas de renivelación, bases asfálticas y bacheo	2 – 4.5	2 - 4	2 – 4
Por ciento de vacíos en la mezcla respecto al volumen del espécimen	Para carpetas y mezclas de renivelación	3 - 5	3 - 5	3 - 5
	Para bases asfálticas	3 - 8	3 - 8	3 – 8
Por ciento de vacíos en el agregado mineral (VAM), respecto al volumen del espécimen de mezcla, con respecto al tamaño máximo del agregado pétreo, mínimo	Para carpetas de capas de renivelación, bases asfálticas y bacheo			
	4.75 mm (No.4)	18	18	18
	6.35 mm (1/4")	17	17	17
	9.51 mm (3/8")	16	16	16
	12.7 mm (1/2")	15	15	15
	19.0 mm (3/4")	14	14	14
	25.4 mm (1")	13	13	13

(*) Se considera como vehículos pesados los camiones en todos sus tipos y los autobuses.

Tabla 3.3.- Especificaciones para mezclas con cemento asfáltico, prueba Marshall

3.3 CONCLUSIONES

Al calcular el contenido mínimo de cemento asfáltico se obtuvo el 3% neto en peso respecto al material pétreo.

Dicho porcentaje resulta insuficiente para cubrir las partículas del material pétreo; es decir, se aprecia el color natural del material pétreo, así como algunas gravas con manchas de cemento asfáltico.

Con éste porcentaje de cemento asfáltico se preparan 3 especímenes; de los cuales en el momento de girar el molde para aplicar los 75 golpes con el pistón a la segunda cara del espécimen; el material pétreo se disgrega, perdiendo gran porcentaje de partículas, volumen y adquiriendo una mal formación.

Se opta por incrementar gradualmente el contenido de cemento asfáltico en un 0.5% hasta encontrar el óptimo y partiendo como base de un 5.0% de cemento asfáltico.

El cálculo del contenido óptimo de cemento asfáltico se verá en el siguiente capítulo por el Método Marshall.

CAPÍTULO: IV

OBTENCIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO (MÉTODO MARSHALL)

4.1 INTRODUCCIÓN

El contenido óptimo de asfalto es aquel que produce la mejor combinación de resistencia estructural y durabilidad de la carpeta. Dentro de los límites prácticos se considera que a mayor película de asfalto corresponde una mayor resistencia al intemperismo y a la abrasión producida por los vehículos. Por lo que se refiere a la resistencia estructural, consideramos que para un agregado pétreo, al ir aumentando la película de asfalto, encontramos 3 condiciones:

- a. El asfalto actúa como aglutinante y dentro de esta condición, se presenta la máxima resistencia estructural pero durabilidad mínima.
- b. La película de asfalto actúa con menor poder adhesivo y comienza a observarse un cierto grado de lubricación entre las partículas del material pétreo, disminuyendo por ésta causa, la resistencia estructural y aumenta la durabilidad. Dentro de ésta condición se localiza el espesor de la película de asfalto que proporciona la mejor combinación de resistencia estructural y durabilidad que corresponde al contenido óptimo de asfalto.
- c. La película de asfalto, al ir aumentando de espesor, actúa principalmente como lubricante, perdiendo considerablemente su poder adhesivo. En ésta condición se va perdiendo resistencia de la carpeta y se provocan grandes deformaciones con el paso de los vehículos.

La determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico se hace mediante dos métodos que son los más utilizados en nuestro país, los cuales se mencionan a continuación:

➤ Método Marshall

➤ Método de la prueba de Compresión Axial No Confinada

Para el caso de nuestra mezcla asfáltica se opta por utilizar el Método Marshall para obtener el contenido óptimo de cemento asfáltico.

El método Marshall se emplea para el proyecto y control de mezclas elaboradas con un tamaño máximo de agregado pétreo de 1” (25.4 mm) y cemento asfáltico en plantas estacionarias en caliente.

4.2 MÉTODO MARSHALL

El procedimiento consiste fundamentalmente en elaborar especímenes cilíndricos a los cuales se les determina su peso volumétrico, relación de vacíos, estabilidad en sentido de su diámetro y deformación al alcanzar su mayor resistencia (flujo).

La estabilidad es un valor de índice de resistencia estructural de la mezcla asfáltica compactada, los factores que pueden afectar la estabilidad de una carpeta asfáltica son la granulometría y el tipo de agregado pétreo, así como el contenido de cemento asfáltico en la mezcla.

Cabe mencionar que el material pétreo juega un papel muy importante en la estabilidad de una carpeta asfáltica puesto que si éste es de mala calidad presentará poca resistencia a la acción de las cargas aplicadas por los vehículos.

El flujo o deformación de una carpeta asfáltica en la prueba Marshall, está medida en sentido transversal o diametral, éste valor es un indicador de flexibilidad y pérdida de resistencia a la deformación, puesto que al llegar al punto de máxima resistencia estructural la carpeta asfáltica entra en un estado plástico produciendo la falla de la misma.

Las pastillas Marshall antes de ser sometidas a una carga deben estar a una temperatura de 60° C durante 30 minutos, para esto se utiliza un baño de agua o tanque de saturación con control de temperatura.

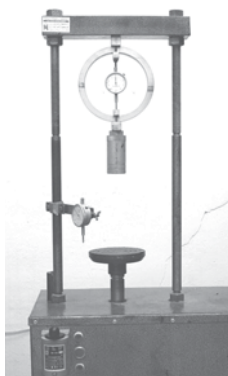


Baño de agua con temperatura controlable

Para la elaboración de las pastillas se utilizará un pedestal de compactación que consiste en un bloque de madera llevando sujeta en la parte superior una placa metálica donde está el sujetador metálico para los moldes de compactación, que permitan mantener firmemente en posición sobre el centro del pedestal, los cilindros montados con su base y collarín, para compactar la mezcla asfáltica.

La compactación de la mezcla asfáltica se realiza con un pistón especial con superficie circular de contacto de 98.4 mm de diámetro, teniendo una pesa deslizante de 4.536 gr. y una altura de caída de 457.2 mm.

Para la realización de la prueba se utilizará la maquina de compresión Marshall, con capacidad de 3000 Kg. Accionada con un motor eléctrico, equipada con mordazas semicirculares para aplicar cargas a los especímenes de prueba a una velocidad de 2 Pulg./min. Y provista de un dinamómetro de anillo calibrado para cargas. Un extensómetro para medir la deformación vertical o flujo del espécimen.



Máquina de compresión Marshall

También utilizaremos termómetros con graduación de 10 a 200° C, balanza con capacidad de 20 Kg., y sensibilidad de 1 gr., balanza con capacidad de 2 Kg. Y sensibilidad de 0.1 gr., cuchara de albañil, espátula, parrilla eléctrica o de gas, charolas para el material pétreo, pinzas para vasos y guantes.

Para cada contenido de asfalto se hacen tres pastillas, cada pastilla requiere de 950 gr. de material pétreo, la distribución de las partículas se hace conforme a la distribución de su granulometría, dicha distribución se muestra en la tabla 4.2.1.

MALLA No.		% PARCIAL RETENIDO	PESO TOTAL DE LA MUETRA (gr.)	PESO DEL MATERIAL (gr.)
PASA	RETIENE			
3/4"	1/2"	22,3	950,00	211,85
1/2"	3/8"	10,3	950,00	97,85
3/8"	1/4"	11,6	950,00	110,20
1/4"	No. 4	4,4	950,00	41,80
No. 4	No. 10	22,9	950,00	217,55
No. 10	No. 40	19,3	950,00	183,35
No. 40		9,2	950,00	87,40
TOTAL		100		950,00

Tabla 4.2.1 Composición granulométrica que deberá tener el material pétreo en cada espécimen o pastilla

Procedimiento de la prueba

Se calienta el material pétreo a una temperatura de 170° C y el cemento asfáltico a 150° C para realizar la mezcla asfáltica y obtener un mejor cubrimiento de partículas. Se vierte el cemento asfáltico en la proporción deseada de acuerdo a la tabla 4.2.2, y se mezclan hasta lograr cubrir todas las partículas de material pétreo.

Los porcentajes que se emplearan para el cálculo del Contenido Óptimo de Cemento Asfáltico por el Método Marshall serán:

Contenido de prueba	= 5.0 %
Contenido de prueba	= 5.5 %
Contenido de prueba	= 6.0 %
Contenido de prueba	= 6.5 %
Contenido de prueba	= 7.0 %
Contenido de prueba	= 7.5 %

CONTENIDO DE CEMENTO ASFÁLTICO	PESO DEL MATERIAL PÉTREO (gr.)	PESO DE CEMENTO ASFÁLTICO (gr.)
5.00%	950	47.50
5.50%	950	52.25
6.00%	950	57.00
6.50%	950	61.75
7.00%	950	66.50
7.50%	950	71.25

Tabla 4.2.2 Contenido en peso de cemento asfáltico por cada espécimen

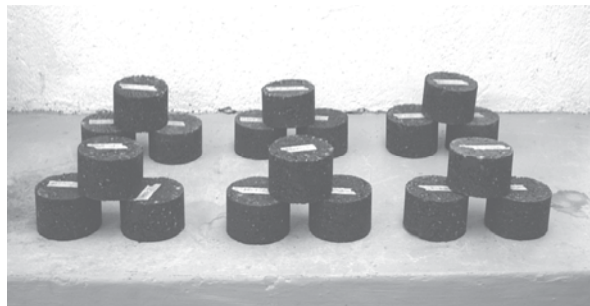
Se calienta el molde de compactación, que consiste de placa base y collarín, en el horno a una temperatura de 100° C.

Estando el equipo caliente se vierte la mezcla realizada anteriormente, se coloca el molde en el pedestal y se apoya el pistón dentro del molde sobre la muestra y se aplican 75 golpes. Posteriormente se quita el collarín y se da vuelta al molde, se fija firmemente sobre el pedestal y se le aplican otros 75 golpes con el pistón. De esta manera se obtendrá una carga de compactación de 14 Kg/cm². Todo este procedimiento no debe hacerse a una temperatura inferior a los 140° C y en ningún caso se recalentará la muestra.

Se separa el molde que contiene el espécimen, la placa de base y el collarín y se deja enfriar el tiempo necesario para que al ser extraído no sufra deformaciones, se pone en una superficie plana y horizontal, en donde permanecerá en reposo a temperatura ambiente, antes de ser probado, durante un periodo de 12 a 24 horas a partir de su elaboración.

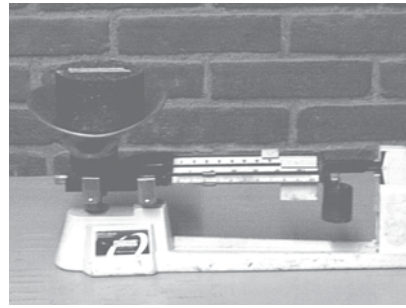
Los especímenes deben tener una altura promedio de 63.5 mm con una tolerancia de 3.2 mm. En caso de no tener la altura especificada se aplica un factor de corrección, los cuales están enumerados en la tabla 4.2.3.

El procedimiento descrito anteriormente se aplica para la realización de todos los especímenes faltantes; es decir, para cada contenido de cemento asfáltico se elaborarán tres muestras, lo que nos da un total de 18 muestras o pastillas.

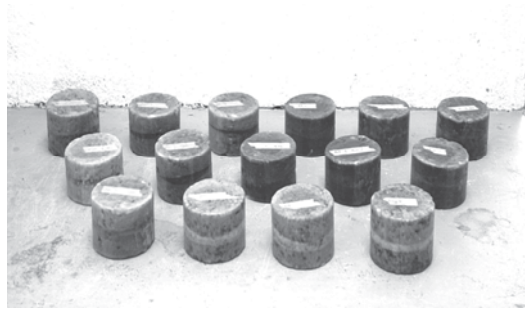


Especímenes sin parafina

Teniendo todos los especímenes, tres para cada contenido de asfalto, se procede a registrar su altura promedio, su peso en aire, su peso impermeabilizado y su peso impermeabilizado sumergido en agua para cada pastilla.

*Medición de la altura de la pastilla**Peso en aire*

Para el peso sumergido en agua, el espécimen se tiene que impermeabilizar, con el fin de que el agua no penetre en su interior. Para este proceso se utilizará parafina de la cual debemos tener su peso específico relativo.

*Especímenes con parafina*

Se toma la cantidad de parafina necesaria para cubrir todos los especímenes y se calienta hasta que esté totalmente líquida, se toma uno por uno los especímenes y se sumergen en la parafina por no más de 5 segundos para evitar que el calor afecte el espécimen; se deberá observar a simple vista que la parafina cubrió la totalidad del espécimen, posteriormente se deja en reposo hasta que se solidifique totalmente la parafina y se pesan en el aire, después de esto se vuelven a pesar pero sumergidos en agua.

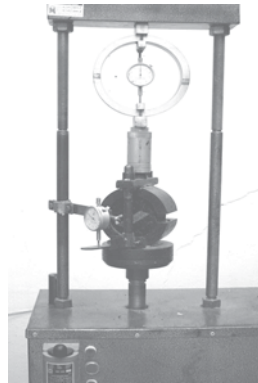
Una vez registrados todos los datos anteriores, se sumergen todos los especímenes en el baño de agua, a una temperatura de 60° C durante un lapso de 30 a 42 minutos.

Transcurrido éste lapso de tiempo se sacan de uno en uno los especímenes, se secan superficialmente y se colocan sobre el cabezal inferior y se centra en el mismo, se monta el cabezal superior y en esta forma se lleva el conjunto a la máquina de compresión Marshall, en donde se coloca y se centra. Se instala sobre la varilla guía el extensómetro para medir

el flujo, se ajusta a cero (0) su carátula y durante la prueba se sujeta con el casquillo, oprimiendo contra el cabezal.



Espécimen montado entre los cabezales listo para determinar su capacidad



Espécimen montado en la máquina Marshall con todos los aditamentos necesarios para accionar la máquina

Se acciona la máquina a una velocidad de deformación constante de 2 pulg./min., hasta que se presenta la carga máxima que es cuando se produce la falla del espécimen a la temperatura de prueba. El valor de la estabilidad Marshall será la carga máxima y el flujo será la deformación sufrida por dicha carga, en milímetros.

Se determinan sucesivamente la estabilidad y el flujo de cada uno de los especímenes restantes, con el mismo procedimiento indicado anteriormente.

Altura del espécimen (mm)	Factor de corrección
55,0	1,27
56,0	1,23
57,0	1,20
58,0	1,16
59,0	1,13
60,0	1,10
61,0	1,07
62,0	1,04
63,0	1,01
63,5	1,00
64,0	0,98
65,0	0,96
66,0	0,94
67,0	0,92
68,0	0,90
69,0	0,88
70,0	0,86
71,0	0,84

Tabla 4.2.3 Factores de corrección para la altura de los especímenes

Para la obtención del Contenido Óptimo de Asfalto se toma el criterio siguiente:

- Se determina el peso específico teórico máximo de cada una de las mezclas asfálticas consideradas en el estudio, de acuerdo al contenido de cemento asfáltico.
- Se calcula el porcentaje de vacíos del material pétreo, VAM, de cada uno de los especímenes elaborados.
- Se calcula el porcentaje de vacíos de la mezcla compactada, que forma cada uno de los especímenes.
- Se corrigen los valores de estabilidad de los especímenes, con la tabla 4.2.3.
- Se determina para cada serie de especímenes correspondiente a un mismo porcentaje, la proporción de cemento asfáltico, el peso volumétrico, porcentaje de vacíos del material pétreo, porcentaje de vacíos de la mezcla compactada, estabilidad y flujo.

f) Los especímenes deberán cumplir con las siguientes tolerancias:

- ± 5.0 % de contenido de asfalto
- ± 2.0 % del peso volumétrico
- ± 10.0 % de la estabilidad
- ± 20.0 % del flujo

g) Utilizando el promedio de los valores y que estos no excedan las tolerancias indicadas en el punto anterior, se dibujarán las gráficas que a continuación se indican:

- Peso Volumétrico vs. Contenido de Asfalto
- Por ciento de vacíos del material pétreo vs. Contenido de Asfalto
- Por ciento de vacíos de la muestra compactada vs. Contenido de Asfalto
- Estabilidad vs. Contenido de Asfalto
- Flujo vs. Contenido de Asfalto

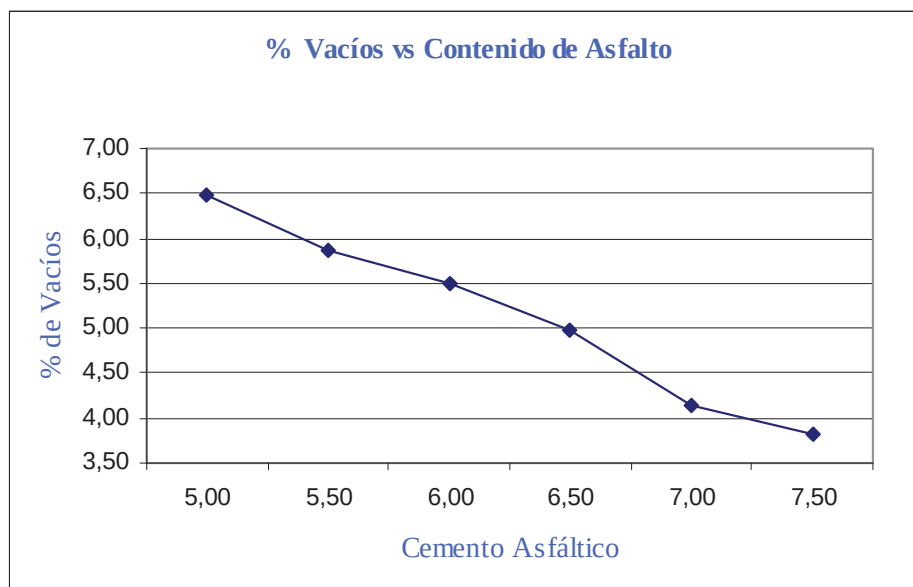
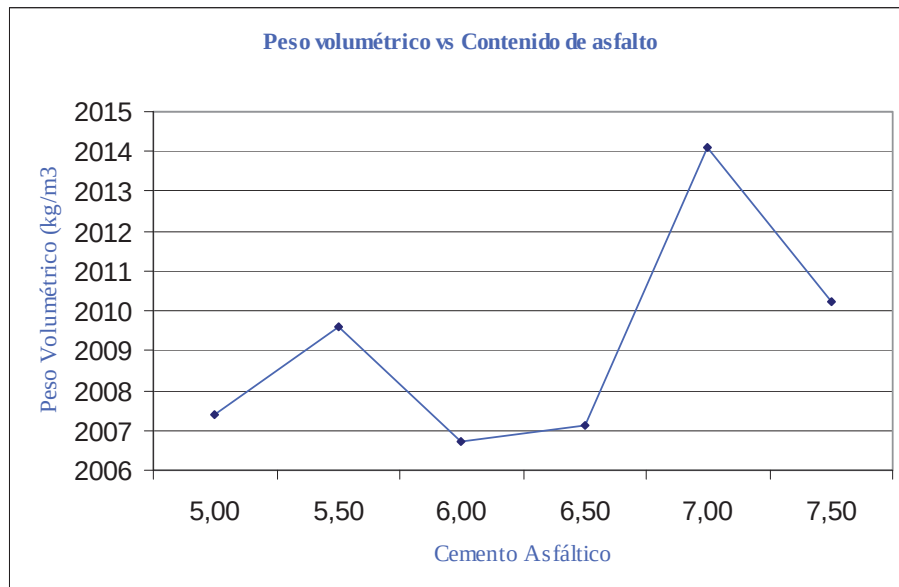
CALCULO DE LA PRUEBA MARSHALL

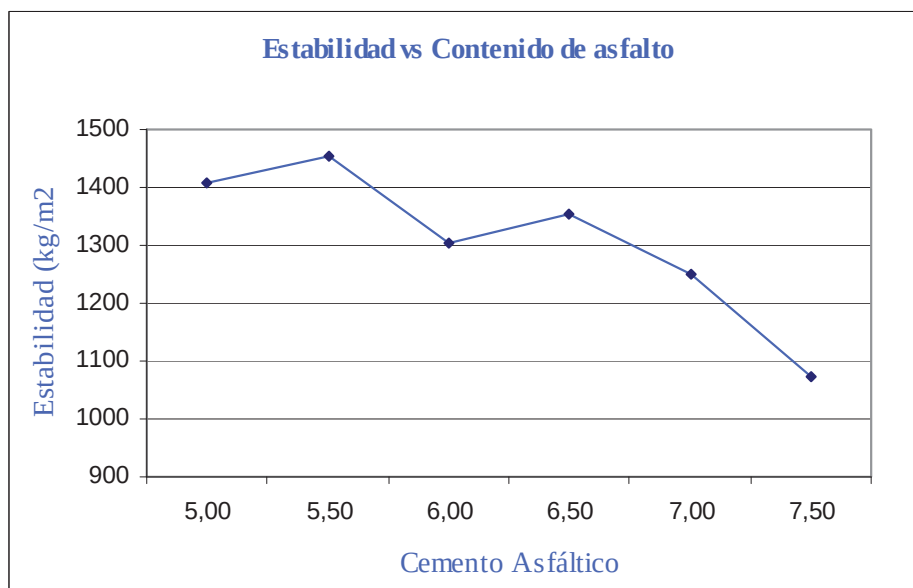
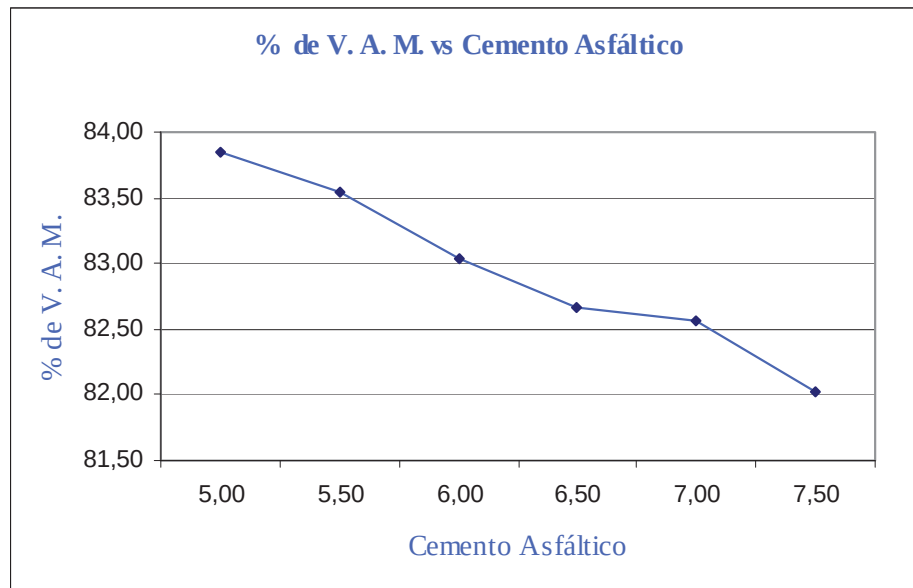
DATOS DE LA MEZCLA									
Ensaye	Probeta	% C.A.	Espécimen + parafina en aire	Espécimen sin parafina en aire	Espécimen + parafina en agua	Lectura Micrómetro (q)	Altura del Espécimen (mm)	Factor de Corrección	Flujo en mm
1	1	5,00	1.013,10	985,50	496,50	55,00	61,00	1,07	200,00
	2	5,00	1.024,10	991,30	493,00	55,00	62,00	1,04	210,00
	3	5,00	1.004,20	983,50	496,00	45,00	60,00	1,10	190,00
2 cont.min.	1	5,50	1.014,20	994,50	501,50	55,00	61,00	1,07	230,00
	2	5,50	1.006,50	987,50	490,00	53,00	62,00	1,04	210,00
	3	5,50	1.005,10	987,00	500,00	55,00	62,00	1,04	240,00
3	1	6,00	1.009,70	994,00	499,00	50,00	63,00	1,01	260,00
	2	6,00	1.010,00	996,00	500,00	56,00	63,00	1,01	280,00
	3	6,00	1.007,30	994,00	498,00	46,00	63,00	1,01	250,00
4	1	6,50	993,60	976,00	487,50	54,00	61,00	1,07	290,00
	2	6,50	1.014,20	999,70	503,80	49,00	60,00	1,10	300,00
	3	6,50	1.015,20	995,50	499,60	47,00	63,00	1,01	320,00
5	1	7,00	1.025,50	1.004,00	507,00	46,00	61,00	1,07	350,00
	2	7,00	1.015,80	997,00	502,00	48,00	62,00	1,04	320,00
	3	7,00	1.026,10	1.004,00	504,00	46,00	62,00	1,04	360,00
6	1	7,50	1.023,30	1.000,50	495,00	42,00	63,00	1,01	410,00
	2	7,50	1.033,00	1.009,50	513,00	38,00	61,00	1,07	400,00
	3	7,50	1.009,80	1.000,00	504,50	40,00	61,00	1,07	390,00

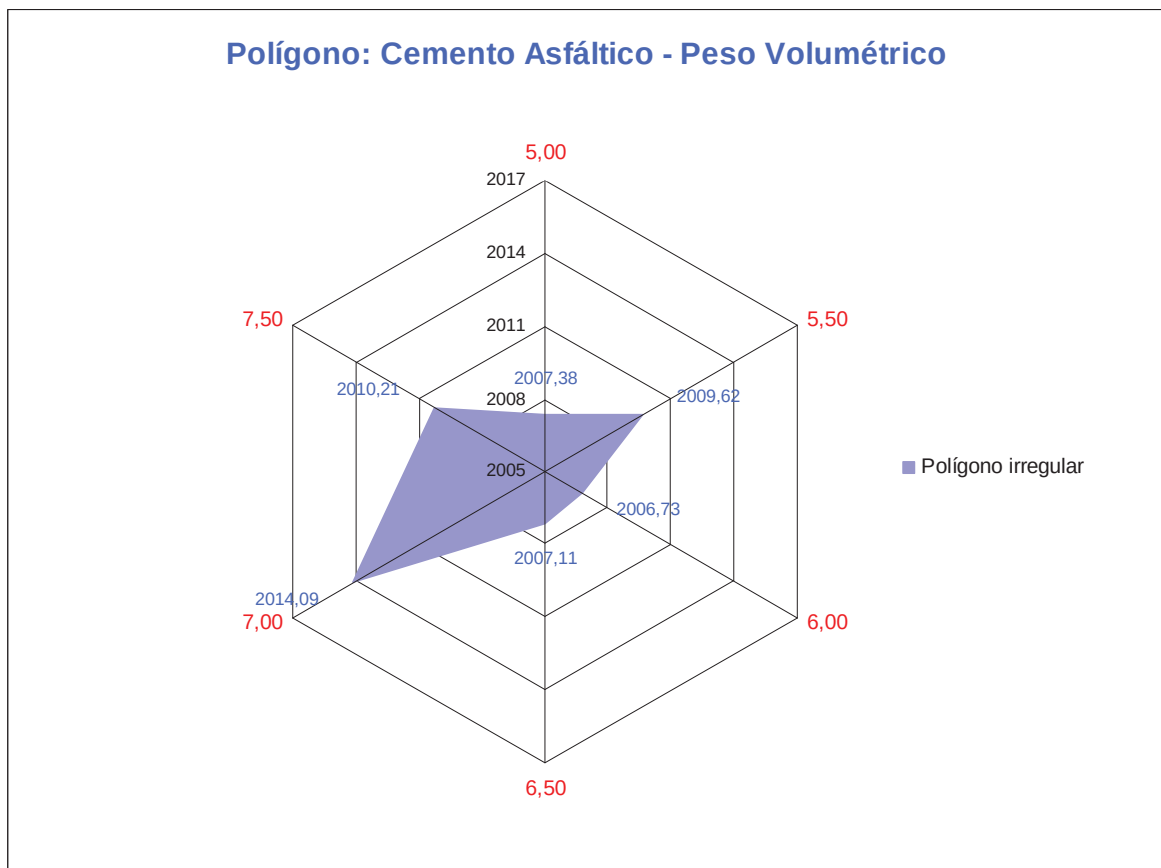
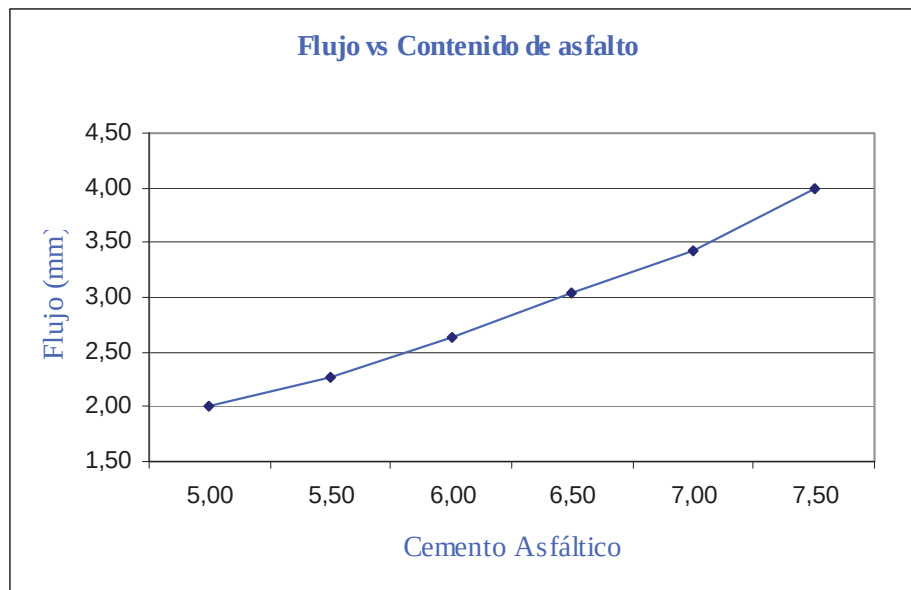
“Diseño de una mezcla asfáltica modificada con polímero SBS”

TABLA DE CÁLCULO DEL MÉTODO MARSHALL

ENSAYE	PROBETA	%DE C.A. POR PESO DE AGREGADO	% DE ASFALTO POR PESO DE MEZCLA	PESO (gr.)				VOLUMEN (cm.)				DENSIDAD TEORICA MAXIMA	VOLUMEN % TOTAL				% VACIOS		ESTABILIDAD (Kg.)					FLUJO EN (0.01")	FLUJO EN (M.M.)
				ESPECIMEN + PARAFINA EN AIRE	ESPECIMEN SIN PARAFINA EN AIRE	ESPECIMEN + PARAFINA EN AGUA	PARAFINA	ESPECIMEN + PARAFINA	PARAFINA	f/DP	g-h		i	j	k	l	m	n	o	p	LECTURA MICROMETRO	ALTURA ESPECIMEN (cm)	ESTABILIDAD (Kg.)		
1	1	5.00	4.76	1013.10	985.50	496.50	27.60	516.60	27.60	489.00	2.02	0.972	9.69	84.18	6.12	15.82	61.29	55.00	61.00	1400.53	1.07	1498.57	0.079	2.00	
	2	5.00	4.76	1024.10	991.30	493.00	32.80	531.10	32.80	498.30	1.99	0.972	9.57	83.10	7.33	16.90	56.61	55.00	62.00	1400.53	1.04	1456.55	0.082	2.10	
	3	5.00	4.76	1004.20	983.50	496.00	20.70	508.20	20.70	487.50	2.02	0.972	9.70	84.27	6.03	15.73	61.69	45.00	60.00	1149.16	1.10	1264.08	0.075	1.90	
2 (cont min.)	1	5.50	5.21	1014.20	994.50	501.50	19.70	512.70	19.70	493.00	2.02	0.967	9.66	83.85	6.49	16.15	59.96	55.00	61.00	1400.53	1.07	1498.57	0.091	2.30	
	2	5.50	5.21	1006.50	987.50	490.00	19.00	516.50	19.00	497.50	1.98	0.967	10.45	82.52	7.03	17.48	59.80	53.00	62.00	1350.26	1.04	1404.27	0.082	2.10	
	3	5.50	5.21	1005.10	987.00	500.00	18.10	505.10	18.10	487.00	2.03	0.967	10.67	84.26	5.07	15.74	67.79	55.00	62.00	1400.53	1.04	1456.55	0.094	2.40	
3	1	6.00	5.66	1009.70	994.00	499.00	15.70	510.70	15.70	495.00	2.01	0.963	11.48	83.09	5.43	16.91	67.89	50.00	63.00	1274.85	1.01	1287.59	0.102	2.60	
	2	6.00	5.66	1010.00	996.00	500.00	14.00	510.00	14.00	496.00	2.01	0.963	11.48	83.09	5.43	16.91	67.89	56.00	63.00	1425.67	1.01	1439.93	0.110	2.80	
	3	6.00	5.66	1007.30	994.00	498.00	13.30	509.30	13.30	496.00	2.00	0.963	11.46	82.92	5.62	17.08	67.09	46.00	63.00	1174.30	1.01	1186.04	0.098	2.50	
4	1	6.50	6.10	993.60	976.00	487.50	17.60	506.10	17.60	488.50	2.00	0.958	12.32	82.28	5.40	17.72	69.52	54.00	61.00	1375.40	1.07	1471.67	0.114	2.90	
	2	6.50	6.10	1014.20	999.70	503.80	14.50	510.40	14.50	495.90	2.02	0.958	12.43	83.02	4.55	16.98	73.20	49.00	60.00	1249.71	1.10	1374.68	0.118	3.00	
	3	6.50	6.10	1015.20	995.50	499.60	19.70	515.60	19.70	495.90	2.01	0.958	12.38	82.67	4.95	17.33	71.42	47.00	63.00	1199.43	1.01	1211.43	0.126	3.20	
5	1	7.00	6.54	1025.50	1004.00	507.00	21.50	518.50	21.50	497.00	2.02	0.953	13.35	82.81	3.85	17.79	77.64	46.00	61.00	1174.30	1.07	1256.50	0.138	3.50	
	2	7.00	6.54	1015.80	997.00	502.00	18.80	513.80	18.80	495.00	2.01	0.953	13.31	82.56	4.13	17.44	76.32	48.00	62.00	1224.57	1.04	1273.55	0.126	3.20	
	3	7.00	6.54	1026.10	1004.00	504.00	22.10	522.10	22.10	500.00	2.01	0.953	13.27	82.31	4.42	17.69	75.00	46.00	62.00	1174.30	1.04	1221.27	0.142	3.60	
6	1	7.50	6.98	1023.30	1000.50	495.00	22.80	528.30	22.80	505.50	1.98	0.949	13.95	80.75	5.30	19.25	72.46	42.00	63.00	1073.75	1.01	1084.49	0.161	4.10	
	2	7.50	6.98	1033.00	1009.50	513.00	23.50	520.00	23.50	496.50	2.03	0.949	14.33	82.96	2.72	17.04	84.06	38.00	61.00	973.20	1.07	1041.32	0.157	4.00	
	3	7.50	6.98	1009.80	1000.00	504.50	9.80	505.30	9.80	495.50	2.02	0.949	14.22	82.34	3.44	17.66	80.54	40.00	61.00	1023.47	1.07	1095.12	0.153	3.90	
											2010.21		14.17	82.02	3.82	17.96	79.02						1073.64	0.157	4.00







4.3 RESUMEN DE RESULTADOS

La mezcla asfáltica 60-35-5 cumple satisfactoriamente con los requisitos de calidad siguientes para un contenido óptimo de cemento asfáltico de 6.50 %.

CONCEPTO	NORMA SCT	ENSAYE
Estabilidad	800 kg. min.	1352.59 kg.
Flujo	2.0 a 3.5 mm.	3.03 mm.
% Vacíos	3.0 a 5.0 %	4.97 %
% V A M	14 % min.	17.34 %
P V M	Sin norma	2007.11 kg/m ³

4.4 CONCLUSIONES

Tomando en cuenta que en toda mezcla asfáltica, mientras mayor estabilidad, mayor peso específico y menor flujo presente es mucho mejor.

En el caso de la estabilidad de los especímenes se puede notar que cumplen sobradamente con las especificaciones de 800kg mínimo; para el caso de 6.50% de contenido de cemento asfáltico, se tiene la mayor estabilidad, de 1352.59 kg/cm³. Lo cual nos indica que para un contenido de cemento asfáltico se tiene una resistencia estructural adecuada, conforme a las especificaciones para este tipo de carpeta asfáltica.

Las deformaciones presentadas en los especímenes están dentro del rango que marcan las especificaciones; esto se debe entre otras cosas al balance de las partículas que presenta la granulometría de proyecto. También podemos decir que el material carpeta que presenta una absorción muy elevada no afectó a la mezcla por su gran contenido de poros; obteniendo un completo cubrimiento de partículas de material pétreo, presentando mayor adherencia entre las mismas.

Se presenta en el ensaye un peso volumétrico alto debido a la alta densidad del material pétreo triturado y su baja absorción; que también son causa del bajo porcentaje de vacíos; tanto en el material pétreo del espécimen como los de la muestra.

Podemos concluir con lo anterior y tomando en cuenta las gráficas de resultados, que el contenido óptimo de cemento asfáltico es de 6.50%; ya que tenemos la mayor estabilidad, la menor deformación, un peso volumétrico bueno; y considerando que es un promedio de los tres especímenes que incluyen un mismo contenido de asfalto.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el estudio realizado a los materiales pétreos se obtuvo la curva granulométrica quedando dentro de los parámetros especificados por la SCT; pero con un ligero porcentaje de 1.5 y 1.9 % que sobresale en las mallas No.10 y No.20 respectivamente; debido a que con otras proporciones de material la curva granulométrica se alejaba de las especificaciones; se optó por utilizar éste proporcionamiento de 60% triturado, 35% carpeta volcánica y 5% filler, éste último para ajustar la parte fina. El material volcánico por su naturaleza nos arroja a presentar una alta absorción en la mezcla de 4.22%. Parte importante de este material es su resistencia, obteniendo un valor de desgaste del 19.14%, inferior al especificado de 40% máximo. Otra característica importante de este material y más aún del material triturado ya que presenta un gran porcentaje de partículas con forma alargada o de aguja, producto de la misma trituración, lo ideal es utilizar partículas con forma cúbica, por presentar caras mejor formadas. En general éste material presenta buenas características para el diseño de mezclas asfálticas elaboradas en caliente.

Aunque en una mezcla asfáltica, el asfalto sea minoritario en proporción, sus propiedades pueden influir de manera significativa en su comportamiento. El tipo de mezcla será el que, en gran medida, determine la contribución hecha por el ligante sobre todo el conjunto.

A altas temperaturas de servicio, puede que el ligante llegue a reblandecerse, facilitando la deformación de la mezcla (ahuellamiento). El riesgo de aparición de estas deformaciones es aún mayor en pavimentos sometidos a la circulación de vehículos pesados. De manera generalizada y sin tener en cuenta otros factores que pueden influir, se puede disminuir la probabilidad de aparición de estas deformaciones aumentando la rigidez del ligante mediante el empleo de un asfalto más duro.

Por otro lado a temperaturas de servicios bajas, el ligante se vuelve relativamente rígido y va perdiendo poder de resistencia a las tensiones, volviéndose frágil y siendo susceptible de fisuraciones. El grado de susceptibilidad a la fisuración está relacionado con la dureza del asfalto y su capacidad para absorber las sollicitaciones inducidas por el tráfico. Disminuyendo la dureza del asfalto, se minimizará el riesgo de fallo por fragilidad.

Entonces, debido a lo dicho precedentemente a la hora de buscar comportamientos globales satisfactorios de la mezclas bituminosas, la elección del asfalto adecuado para cada tipo de mezclas se vuelve un compromiso entre ambos extremos; ahuellamiento a altas temperaturas y fisuramiento por fragilidad térmica a bajas temperaturas. Donde mejorando el comportamiento a altas temperaturas, se influye negativamente en el comportamiento a bajas temperaturas.

Por otra parte respecto a las pruebas realizadas al cemento asfáltico, se observa que se trata de un producto asfáltico del tipo AC-20 modificado con polímero SBS de buena

calidad, en cuanto a las pruebas de ductilidad y punto de reblandecimiento cumplen en una de dos muestras realizadas, con las especificaciones mínimas que marca la SCT para asfaltos modificado del tipo 1. Podemos decir que se trata de un producto asfáltico que tiene pocos solventes, puesto que en la prueba de punto de ignición se tuvo una temperatura superior a la supuesta de 230° C que marca la especificación; por lo que se deduce que no se trata de un cemento asfáltico rebajado con algún tipo de solvente.

En la obtención del Contenido Óptimo de cemento asfáltico se optó por utilizar el Método Marshall, éste método de prueba se caracteriza por utilizar las condiciones más desfavorables, tales como probar los especímenes a una temperatura de 60° C y en sentido diametral. De estos resultados se obtuvo una resistencia estructural o estabilidad Marshall y una deformación o flujo aceptables, estos valores son los más representativos en la obtención del contenido óptimo de cemento asfáltico; el cual resultó de 6.5 % por presentar la mayor resistencia o estabilidad y una deformación promedio de todos los resultados obtenidos.

No está por demás la recomendación de la ejecución de un control de calidad durante la construcción de la obra.

El control de calidad durante la construcción de la obra: es el conjunto de actividades que permiten evaluar las propiedades inherentes a un concepto de obra y sus acabados, así como a los materiales y equipos de instalación permanente que se utilicen en su ejecución, comparándolas con las especificadas en el proyecto, para decidir la aceptación, rechazo o corrección del concepto y determinar oportunamente si el procedimiento de construcción se está realizando correctamente o debe ser corregido. Dichas actividades comprenden principalmente el muestreo, las pruebas de campo y laboratorio, así como los análisis estadísticos de sus resultados, entre otras. Si la construcción se ejecuta por contrato, el control de calidad es responsabilidad exclusiva del Contratista de Obra; si se ejecuta por administración directa, del residente.

La verificación de calidad durante la construcción: es el conjunto de actividades que permiten corroborar que los conceptos de obra cumplan con las especificaciones del proyecto, ratificar la aceptación, rechazo o corrección de cada uno, y comprobar el cumplimiento del programa detallado de control de calidad. Si la construcción se ejecuta por contrato, la verificación de calidad es responsabilidad del Residente o, en su caso, del Contratista de Supervisión. Cuando la obra se ejecute por administración directa, estas actividades las realizará una organización independiente de la que ejecute el control de calidad, dentro de la propia Secretaría.

Concluimos con el tema de tesis **“Diseño de una mezcla asfáltica modificada con polímero S.B.S.”**, con el proporcionamiento de agregado 60-35-5 con un contenido óptimo de cemento asfáltico de 6.5 %; para la obra: Conservación periódica mediante carpeta asfáltica de 10cm de espesor, con mezcla en caliente de la carretera La Piedad-Jiquilpan, en tramo Pátty-Vista hermosa, del subtramo 0+000 al 42+000.

BIBLIOGRAFÍA

- **Normas Para Muestreo y Pruebas de Materiales, Equipos y Sistemas, Carreteras y Aeropistas. Pavimentos (II)** – Libro 6, Tomo I y tomo II – Secretaria de Comunicaciones y Transportes.
- **Vías de Comunicación, Caminos, Ferrocarriles, Aeropuertos, Puentes y Puertos** – Ing. Carlos Crespo Villalaz – Editorial Limusa.
- **Emulsiones Asfálticas** – Ing. Gustavo Rivera E. – Editorial Alfaomega, 4ª edición.
- **Manual del Asfalto** – The Asphalt Institute
- **Introducción a la Ingeniería de Caminos** – José Alonso Mier Suárez – U.M.S.N.H. 1ª Edición.
- **Apuntes de Pavimentos Flexibles** – J. Luís Becerra Magaña – Editorial Luysil de Mexico, S.A.
- **Caminos 5ª Edición Tomo I: Estudio y Construcción de la Explanación** – J. Luís Escario, Ventura Escario, Enrique Balaguer – Editorial Publicaciones de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y puertos, Madrid.