

**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**“DISEÑO DE UNA BASE ESTABILIZADA CON  
EMULSIÓN ASFÁLTICA.”**

**TESIS**

**PRESENTA:**

**José Luis Figueroa Madrigal**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:**

*Ingeniero Civil*

**Asesor de tesis:**

**Ing. Alejandro Peralta Arnaud**

**Morelia Mich. Julio 2013.**



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO**

Morelia, Mich a 13 de Marzo de 2013

C. JOSE LUIS FIGUEROA MADRIGAL  
P R E S E N T E

Asunto: Carta de Aceptación  
de Inicio de Trabajo.

Por medio de la presente y en atención a su solicitud para iniciar el desarrollo de su trabajo relativo a la Licenciatura en Ingeniería Civil, una vez analizado el tema propuesto, se le comunica la aceptación a fin de que lleve a cabo el desarrollo del trabajo denominado "Diseño de una base estabilizada con emulsión asfáltica", mismo que será asesorado por el profesor Alejandro Peralta Arnaud.

Sin más por el momento, me despido enviándole un cordial saludo.

ATENTAMENTE

---

JOAQUIN CONTRERAS LOPEZ  
DIRECTOR  
Facultad de Ingeniería Civil



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

## RESUMEN

En este trabajo de tesis se describe el proceso y los pasos ó puntos a seguir en el diseño de una base estabilizada, tomando a consideración el material extraído del banco de materiales denominado la roka, localizado en el municipio de Tarímbaro en el estado de Michoacán, aun costado de la autopista Morelia hacia Uriangato, aproximadamente en el kilometro 20, desde la salida del libramiento de Morelia. Vecino de la capital del estado “Morelia”. El material extraído de este sitio cuenta con las características requeridas y necesarias para emplearse en este tipo de construcciones y otras más, acorde a las normas y requerimientos de la SCT. En el banco de trituración materia prima que se usa para su trituración es de tipo basalto, que proviene de roca volcánica este tipo de roca es la más abundante, Las metamórficas. Proceden de la transformación de otras rocas. El proceso que las genera se denomina metamorfismo.

Este proceso produce un aumento de la presión de la temperatura o de ambos factores.

En muchas rocas metamórficas los minerales están en planos paralelos esta característica se denomina foliación.



**Figura 1.1.** En la imagen se aprecia el basalto ya sometido a trituración, resultado de bloques de mayor espesor trituradas y cribadas.



**Figura 1.2.** En la imagen se aprecia material que es extraído de sitio para realizar las pruebas correspondientes, del banco la roka.

Los estudios o pruebas realizadas al material consisten en analizar básicamente desde la extracción de la muestra del material extraído, la granulometría presente en este material, es decir la cantidad de finos gruesos y la cantidad que retiene la charola según el juego de mallas o cribas, acorde a la norma de la SCT N-CMT-4-02-003/04. Por lo que se puede constatar que el material cumple según requerimientos. Estos puntos a seguir son requerimientos o requisitos de calidad de materiales para base de una mezcla asfáltica (base negra) proveniente de un banco acorde a la norma ya citada anteriormente en el párrafo F. página 6.

Siguiendo los requisitos de las normas, acorde SCT. Se abordan temas de esta misma norma que son los requisitos a cumplir de calidad de material pétreo para bases de mezcla asfáltica (base negra). El material deberán complementar los requisitos de las pruebas de límite líquido, índice plástico, contenido de agua, el mínimo de equivalencia de arenas, las partículas alargadas y lajeadas con la que cuenta el material y la norma establece como un máximo de esas partículas, desgaste de los Ángeles como un porcentaje de valor máximo.

En el capítulo 1 se hará un análisis de las características físicas del Material pétreo que será utilizado en la conformación de la mezcla asfáltica, dichas características son de suma importancia ya que de ello dependerá la resistencia estructural de nuestra carpeta asfáltica.

La constitución de los materiales pétreo debe ser la adecuada para formar la carpeta asfáltica, de ahí la necesidad de que conozcamos sus características físicas para saber si es apto o no. Para conocer las características físicas de los materiales pétreos es necesario llevar a cabo pruebas de laboratorio tales como el peso volumétrico seco suelto, densidad, absorción, desgaste, adherencia con el asfalto, etc. En general los materiales pétreos deben llenar las siguientes características:

- a).-No deben emplearse materiales pétreos que contengan materia orgánica en forma perjudicial o arcilla en forma de grumos.
- b).-Los agregados pétreos no deberán tener más del 20 % de fragmentos suaves.
- c).-El tamaño máximo del agregado pétreo no deberá ser mayor de las 2/3 partes del espesor de la carpeta proyectada.
- d).-Tener suficiente resistencia para soportar, sin romperse, las cargas aplicadas por los equipos de compactación.

En la construcción de carpetas asfálticas se utilizan materiales pétreos que se pueden clasificar en los siguientes grupos:

- a).-Materiales granulares naturales que no requieren ninguna preparación previa de trituración o cribado tales como las arenas o granitos desintegrados utilizados en la construcción de mezclas asfálticas.
- b).-Materiales granulares naturales que requieren un cribado o una trituración parcial para eliminar las partículas de tamaño mayor que el especificado, tales como las gravas y arenas de río que se utilizan en la elaboración de mezclas asfálticas.
- c).-Materiales naturales procedentes de la explotación de bancos de roca, o materiales de “pepena”, que deberán triturarse y clasificarse en diferentes tamaños por medio de una operación de cribado, y que se utilizan en la elaboración de carpetas de mezcla asfáltica o en tratamientos superficiales.
- d).-Los materiales de los grupos anteriores que requieran de un proceso de lavado.
- e).-Escorias de fundición que deberán triturarse y cribarse para obtener materiales de diversos tamaños que se utilizaran en la construcción de carpetas de mezcla asfáltica o en tratamientos superficiales.

En el capítulo 2 se determinaran las características primordiales de los Productos Asfálticos empleados para la elaboración de la mezcla asfáltica.

Hay diversos tipos de productos de diferentes características y cada uno de ellos tiene su campo de acción definido.

El betumen está constituido por mezclas de hidrocarburo de origen natural acompañado por sus derivados no metálicos, gaseosos, líquidos, semisólidos o sólidos, y que son solubles en bisulfuro de carbono. El asfalto es un material cementante de color café oscuro, de consistencia sólida o semisólida, que se licua gradualmente al ser calentado. Sus constituyentes predominantes son betumenes los cuales se presentan en forma sólida en la naturaleza o son obtenidos al refinar el petróleo.

La definición de asfalto agrupa no solo a los productos obtenidos directamente de la naturaleza, sino también los que se obtienen de la destilación del petróleo de base asfáltica.

Los asfaltos están constituidos por tres ingredientes esenciales: aceites, resinas y asfáltenos. Estos tres constituyentes se disuelven uno en otro. Los asfáltenos son solubles en las resinas y ambos se disuelven en los aceites. De estos constituyentes del asfalto los asfáltenos son los que le proporcionan la dureza y las resinas las propiedades cementantes. Los aceites proporcionan al asfalto la plasticidad.

La proporción en que entre cada uno de los ingredientes fija la consistencia del asfalto. Cuando predominan los asfáltenos y la proporción de resinas es baja se tiene un asfalto duro (gilsonita). Si en el asfalto predominan los asfáltenos y las resinas, y el contenido de aceites es bajo, se tienen los cementos asfálticos. Mientras menor sea la proporción de aceite, la dureza del asfalto es mayor y viceversa.

En el capítulo 3 se determinara la cantidad necesaria de cemento asfáltico para cubrir la totalidad de partículas de material pétreo y se realizarán las pruebas de resistencia a mezclas asfálticas por el método de Marshall.

**La emulsión asfáltica fue donada por el ingeniero René Guillen**, proporcionando una cantidad aproximada de 20 lts., mediante la cual se realizaron los estudios y/o pruebas correspondientes para ser utilizada como producto asfáltico en el proyecto, de diseño de una base estabilizada con emulsión.

El contenido mínimo de asfalto para cubrir totalmente las partículas de material pétreo es un cálculo necesario que va en función de las características físicas del agregado mineral.

Capitulo 4 se determinara el contenido optimo del asfalta dado que el principal aspecto a tomar en cuenta en el presente diseño, es obtener una mezcla asfáltica que se desempeñe adecuadamente y que además sea resistente a la deformación permanente (roderas).

## **DEDICATORIAS Y AGRADECIMIENTOS.**

*La dicha de la vida consiste en tener siempre algo que hacer, alguien a quien amar y alguna cosa que esperar.*

**A mis padres y abuelos.** Las personas importantes en cada etapa de mi vida, en quienes siempre encuentro un respaldo, un impulso y un hombro cuando lo necesito, gracias por siempre estar conmigo y dedicarme su tiempo. Francisco Madrigal A., Cristina Silva Z. Valentina Madrigal S. y José Luis Figueroa A.

**A mis hermanos.** A ustedes que siempre se encuentran presentes en cada paso que doy, gracias porque aparte de ser mis hermanos son parte de mí, con quienes vivo y viviré cada una de mis etapas de vida, con ellos que estuvieron siempre presentes en los triunfos y fracasos de mi vida. Gracias por todo. Yaneth Figueroa M., Yuliana Figueroa,. Salvador M.S.

**Ing. Alejandro Peralta Arnaud.** Gracias por ser mi maestro en la carrera, en el que encuentro la confianza, admiración y respeto, por su sencillez hacia mí, pero sobre todo, gracias por aceptar ser mi asesor de tesis en esta etapa tan importante en mi vida.

**Encargados de laboratorio.** Gracias por apoyarme en lo relacionado con el laboratorio, por orientarme y asesorarme con los equipos que necesite para las pruebas. Técnico Jorge García Y., compañero y amigo Ing. Isaid Campa D., así como al Dr., Mario Salazar.

# INDICE

RESUMEN.....	I
DEDICATORIAS Y AGRADECIMIENTOS.....	II
ÍNDICE.....	III

Capítulo I. INTRODUCCIÓN.....	1
Capítulo II. Propiedades físicas del material pétreo.....	4
2.1 Localización y muestreo del banco de material. ....	5
2.2 Identificación, muestreo, transporte y preparación de la muestra.....	8
2.3 Peso volumétrico seco suelto del material pétreo. ....	9
2.4 Análisis granulométrico. ....	11
2.5 Pruebas de densidad relativa aparente y absorción de material pétreo retenido en la malla 3/8". ....	16
2.6 Determinación del equivalente de arena.....	19
2.7 Determinación de la contracción lineal. ....	22
2.8 Determinación de la forma de la partícula. ....	24
2.9 Determinación del desgaste del material pétreo por medio de la máquina de abrasión “Los Ángeles”. ....	27
2.10. Resumen de resultados. ....	30
2.11. Conclusión. ....	32
Capítulo III. Propiedades mecánicas del material pétreo.....	33
3.0 Introducción. ....	34
3.1 Definición y propiedades del material bituminoso.....	35
3.2 Prueba de viscosidad Saybolt-furol. ....	38
3.3 Prueba de penetración. ....	40

3.4. Asentamiento de emulsiones asfálticas. ....	44
3.5 Carga eléctrica de las partículas de emulsiones asfálticas. ....	49
3.6 Retenido en las mallas No. 60 y No. 20 en emulsionas asfálticas. ....	53
3.7 Destilación de emulsiones asfálticas. ....	58
3.8 Prueba de ductilidad. ....	66
3.9 Tabla de resultados. ....	71
Capítulo IV. Calculo del contenido mínimo del asfalto. ....	72
Capítulo V. Calculo del contenido óptimo del asfalto.....	80
Conclusiones y recomendaciones. ....	94
BIBLIOGRAFIA. ....	96

# Capítulo I



INTRODUCCIÓN.

## INTRODUCCIÓN.

El desarrollo de este tema de tesis tiene como intención básica sobre el tema “Diseño de una base estabilizada con emulsión asfáltica”, la finalidad de establecer un parámetro a considerar por los constructores de vías terrestres tengan una idea más clara sobre los materiales a utilizar y los beneficios que se obtienen al estabilizar una base con una emulsión. En especial en este estudio se consideraron materiales del banco la roca, y en determinado momento en base a las condiciones reales de este banco. Considerar si el material triturado obtenido es susceptible de utilizarse, o en su defecto, considerarle algún tratamiento previo.

Actualmente es necesario para el crecimiento y desarrollo de nuestro país, vías de comunicación seguras y de calidad. Debido a que la mayor parte de transporte dentro de nuestro país se realiza mediante carreteras intercomunicando nuestros estados, actualmente se cuenta con una gran cantidad de carreteras que permite desplazarse de manera rápida. Algunas de las carreteras o autopistas fueron construidas con la finalidad solo de intercomunicar a los estados, pero la necesidad transportar productos, mercancías y maquinaria, han deteriorado dichas vías. Debido a que muchas de estas no tuvieron un control de calidad ó una proyección para las necesidades de transporte pesado. Por lo que en la conservación, proyección o ejecución de una obra deben y tienen que considerarse todos estos puntos.

A nivel regional se cuenta con una importante red de caminos vecinales, los cuales se encuentran exclusivamente a nivel de terracerías, sin embargo basados en el crecimiento económico, cabe pensar que en un futuro muy próximo, todos estos caminos tendrán que ser revestidos con carpetas asfálticas, y de esta manera hacer reciproca la economía en crecimiento y producción, ya que la agricultura y el comercio son otros aspectos esenciales en el desarrollo regional.

Los ingenieros civiles, como embajadores de la construcción, ante el desarrollo de México no podemos quedarnos con las manos cruzadas por el contrario debemos dar la pauta a seguir y crear las condiciones necesarias para que el área de la construcción empiece a caminar sobre firmes cimentaciones.

En especial con el uso de una base estabilizada se le está dando la capacidad de recuperación a la parte de la carpeta, evitar anomalías y mejorar la capacidad de carga de la misma, con ello garantizar que una carretera tendrá un comportamiento similar durante la vida útil de proyección que se le dé a la misma. Siempre y cuando durante la construcción o la ejecución cumplan con requisitos que manejan las normas y los puntos especificados en la proyección.



El hombre en cuanto a una célula social elemental, siente la necesidad de de las comunicaciones, para buscar los medios de sustento y entrar en relación con sus semejantes y, cuando las agrupaciones humanas van madurando y llegan a adquirir cierta importancia social, a estas necesidades de la sociedad se une la aspiración colectiva de la expansión exterior, comercial y cultural.

México se encuentra actualmente construyendo toda una extensa red de caminos, desde los de cuota, de altas especificaciones, hasta los más modestos caminos vecinales.

Este formidable impulso constructor, que constituye uno de los factores básicos en el desarrollo económico de un país, se inicio en el periodo posterior a la revolución mexicana.

Es interesante recorrer, aunque sea someramente, la evolución de los caminos en México, desde la época precortesiana, hasta nuestros días; se puede a través de ello tener una idea de cada uno de estos momentos de nuestra historia y nos servirá además para comprender mejor el esfuerzo creador enorme que hace la nación, destinando una buena parte de sus recursos a la construcción de caminos.



## Historia

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 otros 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, si nos hemos de atener a cifras históricas, 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 República el Lic. Benito Juárez, creó un impuesto dedicado a la conservación de caminos, sustituyendo al de “peaje”.

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



## Capítulo II



# PROPIEDADES FÍSICAS DEL MATERIAL PÉTREO.



## 2.1 Localización y muestreo del banco de materiales.

El banco de materiales denominado “La roka” que se uso para este estudio se encuentra localizado en la carretera Morelia Uriangato ó Salamanca, en el Municipio de Tarímbaro en Estado de Michoacán, a 20 Km. De la ciudad de Morelia. A continuación muestro una imagen para apreciar su localización.



Figura 1.3 muestra la localización del banco en estudio “la roka” localizado a 20km. De la ciudad de Morelia.

Los materiales utilizados en este diseño tienen como objeto cumplir con los requisitos de las pruebas y manuales que describe la SCT, (Secretaría de comunicaciones y transportes). El material en estudio es proveniente de un banco de materiales triturados, por lo que a continuación se muestra una tabla de los requisitos que deben cumplir los materiales para ser utilizados en una estabilizada con emulsión asfáltica, (base negra). Acorde a la norma N-CTM-4-002-003/04.

### Requisitos de granulometría del material pétreo para bases de mezcla asfáltica (bases negras)

Malla		Porcentaje que pasa	
Abertura mm	Designación	$\Sigma L \leq 10^6$ [1]	$\Sigma L > 10^6$ [1]
37,5	1½"	100	100
25	1"	90 - 100	90 - 100
19	¾"	76 - 100	76 - 100
9,5	¾"	42 - 100	42 - 100
4,75	Nº4	24 - 100	24 - 70
2	Nº10	10 - 90	10 - 27
0,85	Nº20	5 - 65	5 - 14
0,425	Nº40	4 - 47	4 - 10
0,25	Nº60	2 - 35	2 - 8
0,15	Nº100	1 - 25	1 - 7
0,075	Nº200	0 - 15	0 - 6

[1]  $\Sigma L$  = Número de ejes equivalentes acumulados, de 8,2 t, esperado durante la vida útil del pavimento.

Tabla 1. En la tabla se muestra el juego de mallas a utilizar así como el porcentaje de material permitido de acuerdo al número de ejes equivalentes en el diseño.

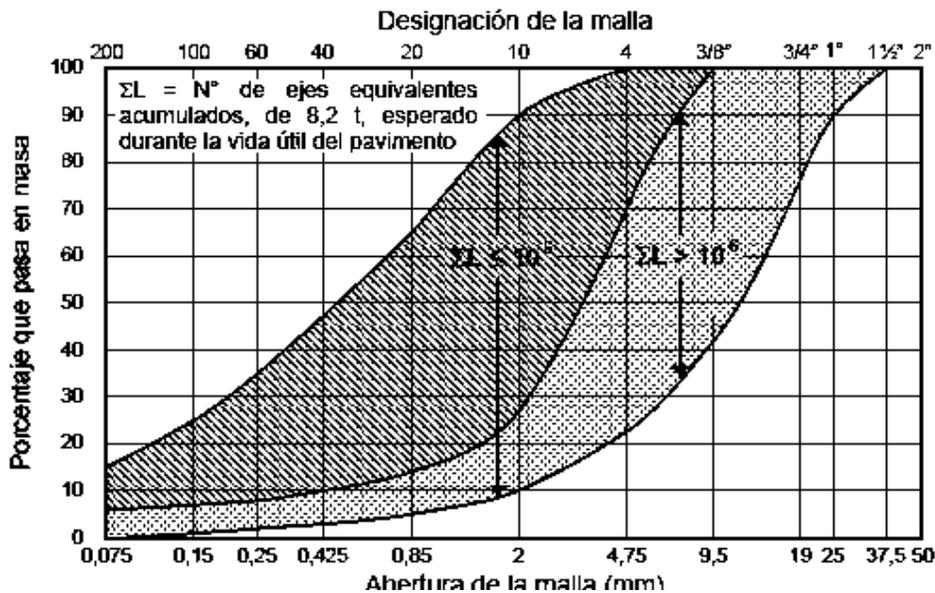


Tabla 2. La gráfica muestra el área que deberá cumplir el material empleado acorde al número de ejes equivalentes acumulados, esperado en el diseño. Se utilizará en el diseño mayor a  $> 10^6$



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, dichas pruebas son las siguientes:

- ⇒ IDENTIFICACIÓN, MUESTREO Y TRANSPORTE 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.
- ⇒ FORMA DE LA PARTÍCULA.
- ⇒ DESGASTE DE LOS ÁNGELES.



## 2.2 IDENTIFICACIÓN, MUESTREO, TRANSPORTE Y PREPARACIÓN DEL MUESTRA.

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

- a) Directamente de los bancos de material
- b) En los camiones que estén suministrando el material para la obra
- c) Del material que se tenga en la obra

La obtención de la muestra de agregado pétreo se realizó en el banco de material denominado “LA ROKA”, como lo marca el inciso a), el cual está ubicado en el Km. 20+000 de la carretera Morelia Uriangato ó Salamanca, el cual es proveedor de agregados de origen triturado.

Para nuestro estudio se deberá obtener una muestra representativa del material que se utilizará para la elaboración de base estabilizada con emulsión.

Para su transporte se deberá contar con costales de textura cerrada, para evitar la pérdida de finos; para la elaboración de nuestras mezclas asfálticas utilizaremos 120 kilos aproximadamente de material pétreo el cual trasportaremos en tres costales, ello para evitar el regreso al sitio del banco en caso de necesitar material triturado, con esto garantizamos que obtenido como muestra será suficiente.

Posteriormente en el laboratorio se pone a secar el material al sol, extendiéndolo sobre una superficie lisa para su posterior cuarteo. Expulsando la cantidad de humedad que contenga el material.

El procedimiento de cuarteo del material consiste en revolver el material con una pala pasándolo de un extremo a otro, repitiendo este procedimiento tres veces, se apila el material en forma cónica y se aplana 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 sí, para realizar el análisis granulométrico, peso volumétrico seco suelto y todas las pruebas arriba mencionadas.



## 2.3 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 este esté completamente seco.

### Procedimiento de la prueba

Se toma por cuarteos una cantidad determinada de la muestra representativa que se pretende ensayar y se seca y se disgrega para luego llenar un recipiente de volumen 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 este 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.



Figura 2. Para el estudio del pvss se realizaron tres muestras para tomar el promedio de sus pesos.



**fig. 3,** en esta figura se muestra el material en el recipiente para su respectiva prueba PVSS, así como el cuarteo del material y se toman dos extremos para el llenado del recipiente.

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

$$PVSS = \frac{W1 - W2}{V} * 1000$$

Donde:

PVSS → Peso Volumétrico Seco Suelto (Kg/m<sup>3</sup>)

W1 → Peso del material seco (Kg)

W2 → Peso del recipiente (Kg)

V → Volumen del recipiente (Lt)

En la prueba realizada el resultado fue el siguiente:

$$PVSS = \frac{20.02 - 2.905}{10.800} * 1000 = 1,584.72 \text{ Kg/m}^3$$

Acorde a los manuales de la SCT.



## 2.4 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.

La granulometría nos permite también, conocer de manera tentativa la estabilidad que puede llegar a tener una carpeta asfáltica ó en nuestro caso el material que debe tener una base, 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.

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 por cada una de estas mallas y así tener un porcentaje representativo, el cual nos servirá para hacer un grafica. Con estos datos observar y juzgar si nuestro material está 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 base, es de 1 1/2" (37.5 mm), hasta un tamaño mínimo correspondiente a 0.075 mm que es el de la malla No. 200.

En la grafica de la granulometría existen dos parámetros (figura 3) que nos restringen los porcentajes mínimos y máximos que debe tener un material pétreo bien graduado, esto nos lo marcan las normas de *SCT*. Acorde a la norma N-CMT-4-02-003/04.



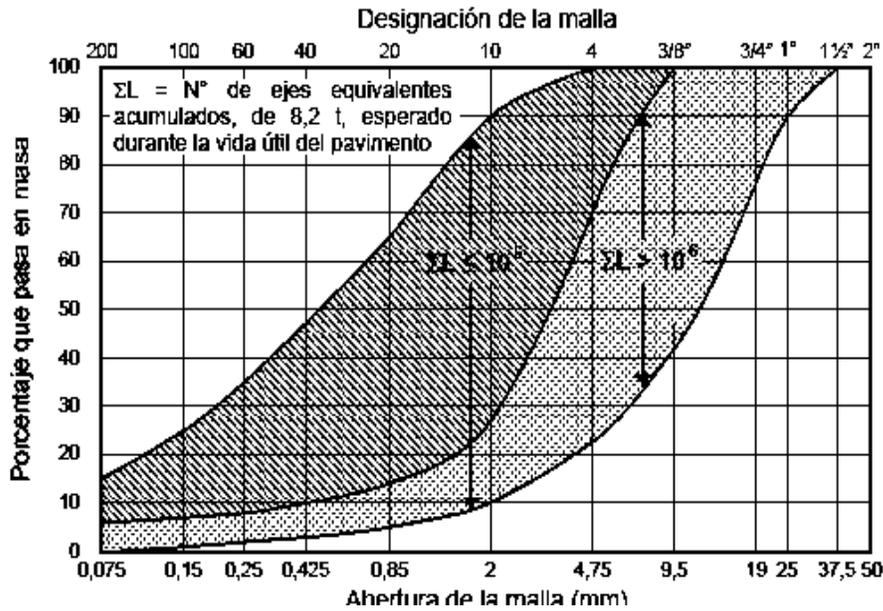


Figura 4. Zonas granulométricas recomendables de material pétreo para bases de mezcla asfáltica.

### Procedimiento de la prueba

#### Análisis que se debe realizar a la porción gruesa de material

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



Fig.5 como se muestra en la figura el material mostrado es el material retenido en cada una de las mallas para obtener los diferentes tamaños de las partículas acorde a las normas de la SCT.

Después de que se cribó 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**

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 siguiente manera:

Malla No.	No. 10	No. 20	No. 40	No. 60	No. 100	No. 200	Charola
Abertura de la malla (mm)	2.00	0.85	0.425	0.250	0.150	0.075	

**Tabla 3.** En la tabla se muestra el juego de mallas para la separación de material fino, y la respectiva abertura en mm. Finalizando con los finos depositados en la charola.



**Fig. 6.** En la imagen se muestra el material retenido por los diferentes tipos de mallas para finos, así como una báscula con aproximación al decimo de gr. Y al gramo. Así como la maquina agitadora.

Cuando ya se tiene colocado el material en las mallas, estas se colocan en un aparato especial que agita la muestra y permite un mejor cribado, la muestra debe estar durante 15 minutos en el aparato.

Enseguida se pesa el retenido por las mallas teniendo cuidado de no tirar la porción más fina del material, puesto que este es muy volátil.

El resultado del cribado del material es el siguiente:

peso charola=	399 grs.
peso muestra =	6389 grs.

<b>PORCIÓN GRUESA DE LA MUESTRA</b>				
<b>MALLA No.</b>	<b>Peso retenido parcial (gr.)</b>	<b>% retenido parcial</b>	<b>% retenido acumulado</b>	<b>% que pasa la malla</b>
1 1/2"				100
1"	45	1	1	99
3/4"	707	15	16	84
3/8"	1,554	34	50	50
No. 4	1,103	24	74	26
Pasa No. 4	1,203	26	100	
<b>SUMA</b>	<b>4,612</b>	<b>100</b>		

Tabla 4. En la tabla se muestran los porcentajes retenidos por las mallas y acumulados acorde a la norma y manuales de las SCT. N-CTN-4-02-003/04, M-MMP-4-01-003



<b>PORCIÓN FINA DE LA MUESTRA</b>				
<b>MALLA No.</b>	<b>Peso retenido parcial (gr.)</b>	<b>% retenido parcial</b>	<b>% retenido acumulado</b>	<b>% que pasa la malla</b>
10	225.4	12	12	14
20	125.8	6	18	8
40	53.5	3	21	5
60	28.1	1	22	4
100	12.7	1	23	3
200	14.1	1	24	2
Pasa No. 200	40.1	2	26	0
SUMA	500.0	26		

Tabla 5. En la tabla se muestran los porcentajes retenidos por las mallas y acumulados acorde a la norma y manuales de las SCT. N-CTN-4-02-003/04, M-MMP-4-01-003

La grafica correspondiente a estos resultados es la siguiente:

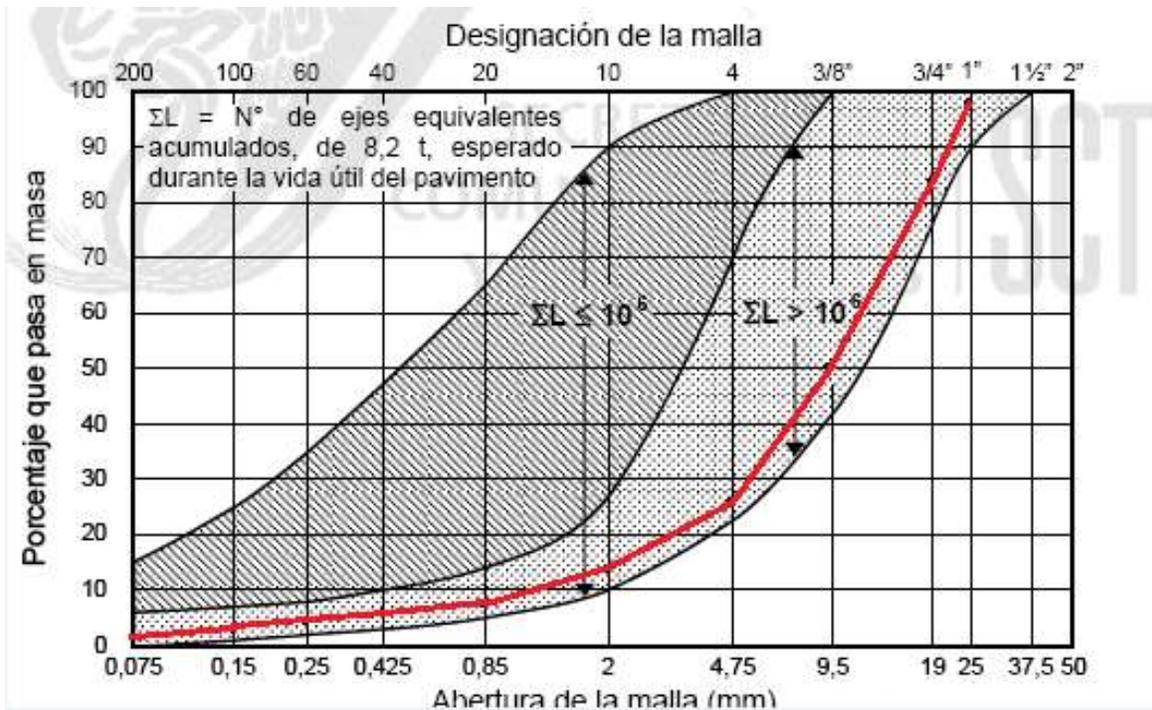


Fig. 7. En la figura se muestra la granulometría obtenida con los diferentes taños que contiene la muestra, en la grafica se tomen los valores de los % que pasan.



Como se puede observar en la grafica anterior la curva granulométrica queda dentro de los márgenes indicados por las especificaciones, por lo tanto la granulometría de este material es buena para el diseño de la base asfáltica (base negra), acorde a las normas establecidas por la SCT.

## **2.5. 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 un disminución en 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 de 3/8” (9.50 mm).

### **Procedimiento de la prueba**

Para ejecutar las pruebas de densidad y absorción de los materiales pétreos que se emplearan 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 e inmediatamente 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 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.



**Fig. 8.** En la siguiente imagen se muestra el material retenido en la malla 3/8 y se procede a saturar 24hrs. Para respectivo estudio de densidad del material.

Con las siguientes expresiones se calcula la densidad y la absorción, respectivamente:

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

D → Densidad relativa aparente

P<sub>s</sub> → Peso seco del material (gr.)

V → volumen desalojado de agua (cm<sup>3</sup>)

$$\% \text{ de absorción} = \frac{Ph - Ps}{Ps} * 100$$

Ph → Peso húmedo del material (gr.)

Ps → Peso seco del material (gr.)

En la prueba realizada el resultado obtenido fue el siguiente:

DATOS:

Peso seco de la muestra. Ps = 297.8 grs.

Peso de la muestra húmedo p h= 301 grs.

Volumen inicial = 500

Volumen final = 610

SUSTITUYENDO:

$$D = \frac{297.8}{110} = 2.71 \text{ grs, / cm}^3$$

Y en la prueba de absorción se cuenta con los siguientes datos y la siguiente sustitución en la formula arriba proporcionada.

$$\% \text{ de absorción} = \frac{301 - 297.8}{297.8} * 100 = 1.00\%$$

Acorde a los requisitos de calidad del material pétreo, *N-CTM-4-02-003/04*. El material debe contener un % máximo del 1, el material en estudio se encuentra en el nivel máximo.1.0%



## 2.6. DETERMINACIÓN DEL EQUIVALENTE DE ARENA

Esta prueba se refiere a la cantidad de arcillas o limos que tiene el material pétreo, los cuales dan una consistencia plástica a la muestra, esta prueba se realiza a materiales pétreos para base, sub-base, carpeta asfáltica y concreta hidráulica.

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	<u>597.4 gr.</u>	<u>59.74 %</u>
Total	1,000.0 gr.	100.00 %

El cloruro de calcio se disuelve en 300 ml 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 1,000 gr. de solución.

La solución de trabajo se prepara diluyendo 23.10 ml 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.

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 descansa ligeramente sobre la arena. Se gira 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).



**Figura 9.** Se muestra el material depositado en las probetas con la solución para el respectivo estudio



**Fig. 10** después de agitar el material 90 ciclos, y transcurrido el tiempo de reposo se introduce el pistón y se toma la lectura de los diferentes niveles para la sust. En la formula.

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

$$\% \text{ equivalente de arena} = \frac{\text{Lectura de arena } (h)}{\text{Lectura de arcilla } (H)} * 100$$

En la prueba realizada el resultado obtenido fue el siguiente:

$$\% \text{ equivalente de arena} = \frac{2.7}{5.3} * 100 = 50.94\%$$

Acorde a la norma de la SCT. El material cumple con lo requerido que como mínimo su valor tendrá que ser de un 50% mínimo.

## 2.7 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 una dimensión 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, 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.

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.

Cuando el peso sea constante entonces nos indicara que el material está en su límite de contracción por lo que estará completamente seco. Se saca de su molde y se mide, anotando esta distancia como final. La relación que existe entre la longitud inicial y final multiplicado por cien, da el porcentaje de contracción lineal del suelo.



La siguiente expresión nos indica la contracción lineal del material:

$$Cl = \frac{l_i - l_f}{l_i} * 100$$

Cl → contracción lineal del material pétreo (%)

$l_i$  → longitud inicial del material húmedo (mm)

$l_f$  → longitud final del material seco (mm)

En la prueba realizada el resultado obtenido fue el siguiente:

$$Cl = \frac{19.98 - 19.92}{19.98} * 100 = 0.3 \%$$



## 2.8 DETERMINACIÓN DE LA FORMA DE LA PARTÍCULA.

El objetivo de esta prueba es determinar la relación entre dimensiones de las partículas del material pétreo, a fin de clasificarlas con respecto a su forma alargada o de laja, y conocer el porcentaje de partículas que contiene la muestra utilizada para la mezcla asfáltica.

Esta prueba se realiza a las partículas de material pétreo que pasan la malla 1/4" (6.30 mm), y dichas partículas deberán tener una relación entre su y espesor y su ancho no menor a 0.60 veces.

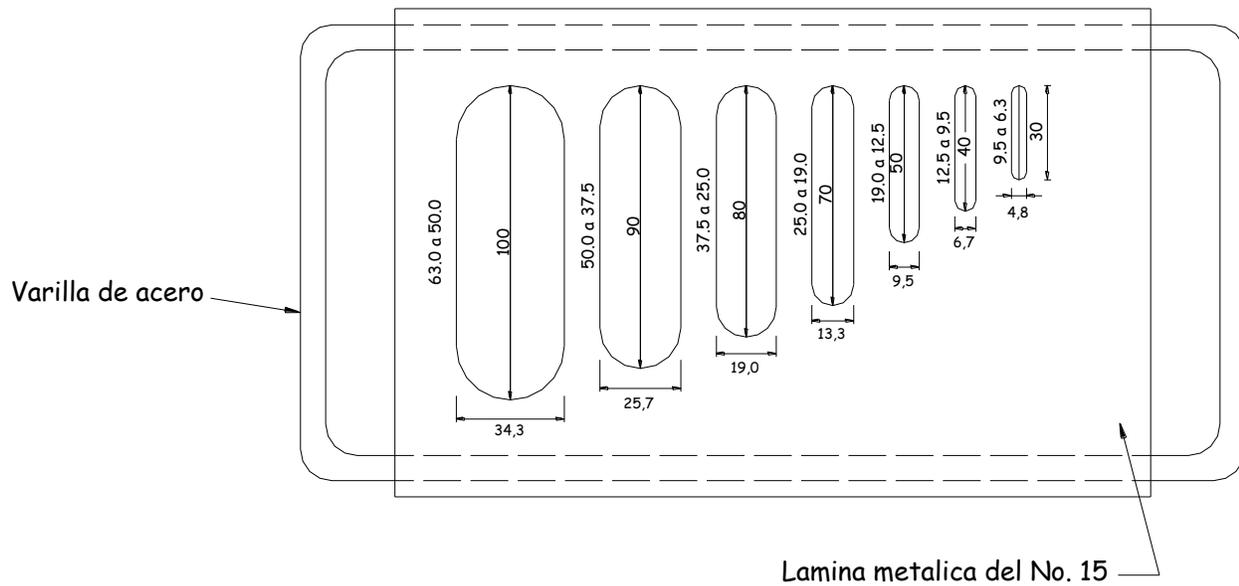
### Procedimiento de la prueba

De una muestra representativa de material pétreo se toma, por cuarteo, una porción suficiente para obtener como mínimo 200 partículas retenidas en la malla 1/4" (6.30 mm), se pesa el material retenido por dicha malla y se registra como ( $W_i$ ).

Se toma de una en una las partículas que conforman la porción clasificada de la muestra y se verifica si pasan por la ranura correspondiente del calibrador de espesores que se muestra en la figura 1.2, buscando la posición más adecuada de cada una de las partículas para esta operación.

De todas las partículas que pasaron por las ranuras del calibrador, se obtiene su peso y este se registra como ( $W_p$ ).





**Figura 11.: Calibrador de espesores**

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

$$C_p = \frac{W_p}{W_i} * 100$$

$C_p$  → contenido de partículas en forma de laja, (%)

$W_p$  → peso que pasan las ranuras correspondientes del calibrador, (gr.)

$W_i$  → peso del material retenido en la malla 1/4" (6.30 mm), (gr.)

En la prueba realizada el resultado obtenido fue el siguiente:

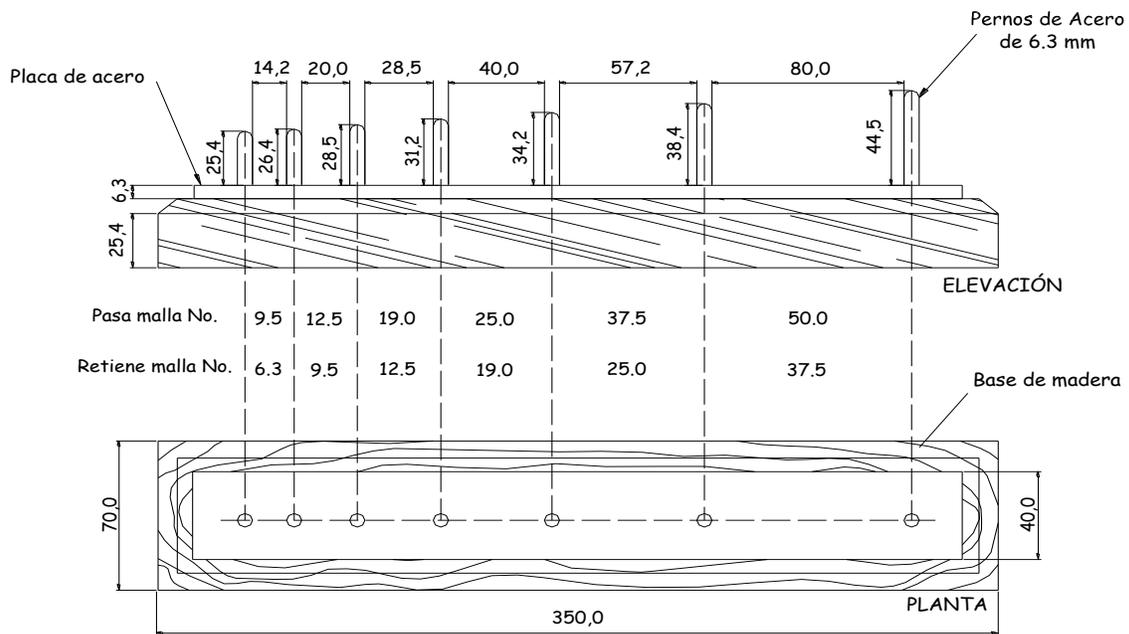
$$C_p = \frac{30.5}{502.4} * 100 = 6.07\%$$



Para determinar las partículas de forma alargada, que son las que tienen una relación entre su largo y su ancho mayor de 1.8 veces, se utilizará la porción retenida en la malla 1/4" (6.30 mm).

Se toma una muestra representativa tal y como se hizo para la prueba anterior, en esta prueba se utilizará el calibrador de longitudes (figura 1.3.) haciendo pasar de una en una las partículas de tal manera que su mayor dimensión sea paralela al eje longitudinal del calibrador.

**Figura 12.: Calibrador de longitudes**



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

$$Ca = \frac{Wa}{Wi} * 100$$

Ca → contenido de partículas alargadas, (%)

Wa → peso de las partículas que no pasan por los claros del calibrador, (gr.)

Wi → peso total del material retenido en la malla 1/4" (6.30 mm), (gr.)

En la prueba realizada el resultado obtenido fue el siguiente:

$$Ca = \frac{43.6}{498.4} * 100 = 8.75\%$$

## 2.9 DETERMINACIÓN DEL DESGASTE DEL MATERIAL PÉTREO POR MEDIO DE LA MAQUINA 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. También indican planos de debilitamiento en las partículas del agregado.

En esta prueba se utiliza la máquina de abrasión Los Ángeles, que está 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 un 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 fierro fundido o de acero como carga abrasiva, con un peso comprendido entre 390 a 445 gr. para cada esfera, y en número que se fija de acuerdo a la graduación del material pétreo.

### Procedimiento de la prueba

Primeramente se debe clasificar el material pétreo mediante la siguiente tabla:



TIPO	TAMAÑO		cantidad de muestra en grs.	Carga abrasiva (# esferas)	peso en grs.	# de revolucione
	Peso	retiene				
A	1 1/2 "	1"	1250	12	5000+/-25	500
	1"	3/4"	1250			
	3/4"	1/2"	1250			
	1/2"	3/8"	1250			
B	3/4"	1/2"	2500	11	4584+/-25	500
	1/2"	3/8"	2500			
C	3/8"	1/4"	2500	8	3330+/-20	500
	1/4"	No. 4	2500			
D	No.4	No. 8	5000	6	2500+/-25	500

**TABLA 6: Clasificación de los materiales según su granulometría.**

Como se puede observar en la tabla anterior existen varias clasificaciones de materiales pétreos por lo que al comparar nuestra granulometría, tenemos que nuestro material es de **tipo c**, puesto que el mayor porcentaje de partículas se retiene en la malla 3/8" (9.5 mm).

Identificado el tipo de material, se toma la cantidad indicada en la tabla de las partículas retenidas en las mallas 3/8" (9.5 mm) y No. 4 (4.75 mm), se lava para eliminar el polvo adherido y se seca en el horno a una temperatura de 100 a 110° C. También se utilizarán 8 esferas de acero según indica la tabla 1.

Se registra el peso de la muestra como inicial, se coloca el material en la maquina "Los Ángeles" junto con las 8 esferas de acero, se pone en marcha la máquina hasta completar el total de revoluciones especificadas en la tabla 1, que es de 500 revoluciones. Una vez concluida esta operación se procede a cribar el material a través de la malla No. 12 (1.70 mm), se pesa la porción retenida en dicha malla y se registra el peso como final.





**Fig. 13** en la imagen se muestra tanto la máquina de desgaste, como la misma pero esta ya encendida para completar sus ciclos según los requerimientos de la tabla 4. Acorde a las normas de la SCT.

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

$$D = \frac{W_i - W_f}{W_i} * 100$$

D → Desgaste del material pétreo, (%)

W<sub>i</sub> → Peso inicial de la muestra, (gr.)

W<sub>f</sub> → Peso final de la muestra, (gr.)

En la prueba realizada el resultado obtenido fue el siguiente:

$$D = \frac{5000 - 4264}{5000} * 100 = 14.74 \%$$

## 2.10. RESUMEN DE RESULTADOS

Tabla 7. De resultados y comparaciones con los requisitos establecidos con las especificaciones de la SCT.

PRUEBA	RESULTADO	ESPECIFICACIÓN
PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO	1,584.72 kg/m <sup>3</sup>	No existe norma
GRANULOMETRÍA	La curva granulométrica está situada entre los límites $\sum L > 10^6$ Para bases negras	Se tomo la grafica del la norma N-CMT-4-02-003/03 (figura 1.), pagina 7 de 21.
DENSIDAD RELATIVA APARENTE	2.71	No existe norma
ABSORCIÓN	1.0 %	Menor a 2%, de baja absorción; entre 2% y 4% de mediana absorción y mayor a 4% de alta absorción. Acorde a N-CMT-4-02-003/03
EQUIVALENTE DE ARENA	50.94 %	50% min. Acorde a especificaciones de la SCT.
CONTRACCIÓN LINEAL	0.3%	No existe norma
FORMA DE LA PARTÍCULA	<b>6.07 %</b> (partículas en forma de laja), <b>8.75 %</b> (partículas en forma alargada)	40% max. Acorde a especificaciones de la SCT.
DESGASTE DE LOS ÁNGELES	24.44 %	30% máx. Acorde a especificaciones de la SCT.
LÍMITE LÍQUIDO, MÁXIMO.	10 %	25% máx. Acorde a especificaciones de la SCT.
INDICE PLASTICO, MÁXIMO.	2 %	Dictaminados Acorde a especificaciones de la SCT.
PERDIDA DE ESTABILIDAD POR INMERSIÓN EN AGUA; MÁXIMO.	22	25% MX. Dictaminados Acorde a especificaciones de la SCT.



En la imagen siguiente muestro los requerimientos que necesita el material empleado para poder utilizarse en la elaboración de este tipo de construcción ó estabilidad de una base. Acorde a las normas y requisitos de la SCT, N-CMT-4-02-03/04.

Característica	Valor %	
	$\Sigma L \leq 10^6$ [1]	$\Sigma L > 10^6$ [1]
Límite líquido <sup>[2]</sup> , máximo	30	25
Índice plástico <sup>[2]</sup> , máximo	6	6
Contenido de agua <sup>[2]</sup> , máximo	1	1
Equivalente de arena <sup>[2]</sup> , mínimo	40	50
Partículas alargadas y lajeadas <sup>[2]</sup> , máximo	50	40
Desgaste Los Ángeles <sup>[2]</sup> , máximo	30	30

[1]  $\Sigma L$  = Número de ejes equivalentes acumulados, de 8,2 t, esperado durante la vida útil del pavimento.

[2] Determinado mediante el procedimientos de prueba que corresponda, de los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma.

**TABLA 8. Requisitos de calidad del material pétreo para base de mezcla asfáltica (base negra)**



## 2.11. CONCLUSIONES

Como se pudo observar en las pruebas anteriormente realizadas el material pétreo es de buena calidad debido a que el material extraído es de origen triturado de roca sana.

Primeramente se puede observar que el Peso Volumétrico Seco Suelto de este material es alto, lo cual nos indica que su volumen y densidad son muy buenos, siendo esta última de 2.736, y como dato ideal, la densidad de un material pétreo para pavimentos asfálticos es del orden de 2.50. Por lo que doy como conclusión que es un buen material para emplear en este tipo de construcción.

La granulometría que se tiene en este material se puede considerar como buena para la realización de una base estabilizada o base negra, puesto que su curva granulométrica se encuentra dentro del rango indicado por las especificaciones.

Puesto que es un material de densidad alta o buena y no presenta poros ó son muy bajos en este tipo de material, la absorción es baja, de 1.07 % aproximado al 1.0% que nos indican los requerimientos, esto nos implica la utilización de menos producto asfáltico. Por lo que se puede decir que este material utilizara al máximo la cantidad en porcentaje de emulsión aplicada.

En cuanto a la prueba de equivalente de arena, podemos observar que se tiene una cantidad de arcilla mínima, por lo que tenemos una mejor adherencia entre el material pétreo y el cemento asfáltico.

En la forma de la partícula, tenemos un porcentaje bajo, esto se debe a que es un material de origen triturado. Por lo mencionado anteriormente, utilizaremos este material pétreo para la mezcla asfáltica, del proyecto de trabajo que es el diseño de una base estabilizada con emulsión, (base negra), acorde a lo especificado por la SCT.



## Capítulo III



# PROPIEDADES MECANICAS DEL MATERIAL PÉOTREO.



### **3.0. INTRODUCCIÓN**

Para conocer la calidad de un cemento asfáltico es necesario efectuar cierto número de pruebas, en las cuales existen normas reguladas 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 de la región.

En nuestro ensaye utilizaremos emulsión asfáltica de rompimiento de tipo medio, que es el más común y el que puede utilizarse en gran parte del territorio nacional.

El ensaye nos arrojará las características requeridas y por las normas establecidas, por la secretaría de Comunicaciones y Transportes, SCT. Así como los manuales establecidos en las mismas normas, con ello para determinar las características del la emulsión que se utiliza y cumplir los puntos de las normas para determinar el diseño una base estabilizada tanto en la emulsión como en el material pétreo como ya se demostró anteriormente.



### 3.1. DEFINICIÓN Y PROPIEDADES DEL MATERIAL BITUMINOSO.

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:**

#### **EMULSIONES ASFÁLTICAS.**

Se llama emulsión al líquido en el que se mantienen en suspensión pequeñas gotas o partículas de una sustancia insoluble con él.

- ✓ Emulsiones para recubrimientos impermeabilizantes. Se utilizan para la construcción en el lugar de la obra de recubrimientos protectores contra humedades. Pueden utilizarse como protectores o regeneradores otras capas impermeabilizantes.
  
- ✓ Emulsiones para imprimación y preparación de superficies. Son aquellas que se utilizan para dar una primera capa en las impermeabilizaciones que exigen su empleo.

Los productos asfálticos deberán reunir los requisitos establecidos por las especificaciones de petróleos mexicanos.

- Contenido de asfalto. El contenido óptimo de asfalto para las mezclas será fijado por el laboratorio en cada caso.
  
- Temperatura de mezclado. La temperatura del apagado pétreo no deberá exceder de 120 grados centígrados y la del asfalto no deberá ser mayor del 60% del punto de inflamación del producto empleado.
  
- Grado de compactación en la carpeta. El grado de compactación no deberá ser menor del 95% del peso volumétrico máximo de la mezcla compacta.



- Permeabilidad de la carpeta. La permeabilidad de la carpeta, tomada después de 5 a 10 días de hecha, no deberá ser mayor de 10%.

El asfalto es un material de color oscuro, sólido o semisólido, cementante que se compone principalmente de betúmenes obtenidos de forma natural o en la refinación del petróleo. En esencia es un material polimérico que se ablanda al calentarse (como un termoplástico) en los límites aproximados de 160 a 210 ° F (71 a 99 ° C).

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

En nuestro caso según las pruebas realizadas a la emulsión, se demostró que es de tipo catiónica por lo que deberá de cumplir con las siguientes características para poder utilizar este tipo de emulsión en este ensaye en el diseño de una base estabilizada para nuestro caso con emulsión asfáltica.

## NORMAS

N-CMT-4-05-001/00

**TABLA 7.- Requisitos de calidad para emulsiones asfálticas catiónicas**

Características	Clasificación						
	ECR-60	ECR-65	ECR-70	ECM-65	ECL-65	ECL-45	ECS-60
<b>De la emulsión:</b>							
Contenido de cemento asfáltico en masa, %, mínimo	60	65	68	65	65	60	60
Viscosidad Saybolt-Furol a 25°C; s, mínimo	—	—	—	—	25	5	25
Viscosidad Saybolt-Furol a 50°C; s, mínimo	5	40	50	25	—	—	—
Asentamiento en 5 días; diferencia en %, máximo	5	5	5	5	5	10	5
Retenido en malla N° 20 en la prueba del tamiz, %, máx	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Pasa malla N° 20 y se retiene en malla N° 60 en la prueba del tamiz, %, máximo	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Carga eléctrica de las partículas	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
Disolvente en volumen; %, máximo	—	3	3	5	—	15	—
Índice de ruptura, %	< 100	< 100	< 100	80 – 140	> 120	—	> 120
<b>Del residuo de la destilación:</b>							
Penetración [2] a 25°C, en 100 g y 5 s; 10 <sup>-1</sup> mm	110–250	110–250	110–250	100-250	100-250	100-400	100-250
Solubilidad; %, mínimo	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	—
Ductilidad a 25°C; cm, mínimo	40	40	40	40	40	40	—

[1] Poises

[2] En climas que alcancen temperaturas iguales o mayores de 40°C, la penetración en el residuo de la destilación de las emulsiones ECR-65, ECR-70, ECM-65 y ECL-65, en el proyecto se puede considerar de 50 a 90 × 10<sup>-1</sup> mm.

Tabla 9. En la tabla anterior se muestran los requisitos que se deben de cumplir con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas. Acorde a la norma N-CTM-4-05-001/00.



- ↪ VISCOSIDAD SAYBOLT-FUROL.
- ↪ PENETRACIÓN.
- ↪ DUCTILIDAD.
- ↪ ASENTAMIENTO A CINCO DÍAS.
- ↪ Entre otras, mencionadas anteriormente.

Entre algunas otras pruebas que se le realizaran a la emulsión asfáltica, así como las pruebas que marca la norma establecida al residuo de la destilación de la emulsión. Una vez que se cumplan los requisitos citados por la norma se procede a realizar el cálculo del porcentaje de emulsión que se le aplicara al material pétreo para poder cubrir los requerimientos que nos marca como lo es: la compactación que se le dará a cada cara de la muestra, observar la estabilidad que arroja, el flujo y los vacíos que se presentan.



### 3.2 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 está 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 asfaltos fluidificados.



**FIGURA 14.** En la imagen se muestra la maquina que sirve para realizar la prueba de viscosidad saybolt-furol. Así como se puede apreciar como la emulsión ya calentada a los grados establecidos fluye de la maquina hacia el depósito de la misma.

## Procedimiento de la prueba

Se calienta el baño del viscosímetro a una temperatura de 25° 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 25° C se saca el termómetro del recipiente y se extrae del vertedero el exceso de aglomerante.

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

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

En la prueba realizada el resultado obtenido fue el siguiente:

Tiempo transcurrido = 150 seg. A los 25 °C  
126 seg a 50 °C

Lo cual es permisible o cumple con lo establecido que marca la norma de la SCT, la cual establece que lo mínimo que debe de tener es de 25 segundos, por lo que se concluye que cumple satisfactoriamente.

La tabla de requerimientos nos indica que esta prueba tiene que realizarse a dos temperaturas diferentes, una es marcada a los 25 °C y 50 °C, solo a la temperatura marca como mínimo que tendrá de 25 segundos, a temperatura de 50 °C no aplica como limite

El porcentaje de cemento asfáltico según la prueba realizada y la emulsión que me fue proporcionada es de 65 % la cual cumple con los requerimientos que establece la norma N-CTM-4-05-001/00. Donde marca como máximo el 65%, al final de las pruebas presentare una tabla donde se apreciara lo que las normas marcan como limites ya sea en máximo o en mínimo, y los resultados que arrojan cada una de las pruebas, además se hará mención de si estos resultados cumplen o no con lo establecido por la secretaría de comunicaciones y transportes SCT.



### 3.3. PRUEBA DE PENETRACIÓN

La prueba 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 gr., en una 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 e contacto con la superficie del asfalto, se deja caer libremente y se mide en décimos de milímetro, que se denominada grados de penetración.

A menor penetración corresponde a una mayor dureza del asfalto.

#### Procedimiento de la prueba

#### MUESTRA DEL RESIDUO POR DESTILACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA.

Inmediatamente después de obtener el residuo por destilación de la emulsión asfáltica mediante el procedimiento de prueba indicado en el manual M-MMP-4-05-012, *destilación de emulsiones asfáltica*, se destapa el alambique utilizado en esta prueba, se homogeneiza su contenido con la espátula y se llena la cápsula de penetración vertiendo el residuo a través de la malla No. 50, se cubre adecuadamente para protegerla del polvo y se deja enfriar hasta que alcance la temperatura ambiente.

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

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





Figura 15. En la imagen se muestra el aparato para realizar la prueba de penetración así como la muestra en la capsula, la cual está en un recipiente con agua, sin que el agua afecte la muestra para mantenerse a 25<sup>0</sup> C.



Figura 16. En las imágenes se aprecia al igual la máquina para realizar esta prueba así como la aguja que realiza la penetración en un lapso no mayor a 5 seg.

En la prueba realizada el resultado obtenido fue el siguiente:

<b>ENSAYE No. 1</b>	<b>Grados de penetración</b>
1	48
2	50
3	53
4	55
5	53
<b>Promedio =</b>	<b>51.8</b>

**Tabla 10, se muestran los grados de penetración en el residuo.**

En las tablas se muestran el numero de ensayos que se realizaron, que entes caso fueron 5, pero acorde las normas de la SCT. Indica que se tiene que eliminar el valor más bajo y el más alto, que en este caso son los ensayos numero 1 y 5, que da de promedio con los tres restantes un valor de 51.8. las temperaturas a las que se realizaron las penetraciones se tiene especial cuidado que permanezca a los 25<sup>0</sup>C.

Como lo indica el manual, los resultados se reportan como el promedio de las penetraciones, que marca que las penetraciones tienen que ser por lo menos 3, que en esta prueba se realizaron 5 y se obtiene el promedio de las mismas 5 penetraciones.



**TABLA 1.- Diferencias permisibles entre los valores de penetración considerados para el cálculo de resultados**

Unidades en  $1 \times 10^{-1}$  mm  
(Grados de penetración)

Valor de la penetración	Diferencias permisibles
0 - 49	2
50 - 149	4
150 - 249	6
250 ó más	8

- H.4. Verificar que la aguja esté en contacto con la superficie de la muestra de prueba al iniciar la penetración.
- H.5. Cuidar que la aguja no toque el fondo del recipiente antes de finalizar el tiempo especificado.

**Tabla 11. En esta tabla se muestra la tabla 1 del manual M-MMP-4-05-006/00**

Acorde al manual M-MMP-4-05-006/00, el valor de penetración obtenido fue de valor de 51.8, en promedio a los ensayos que se realizaron. Que cumple con lo estipulado en la norma de la SCT. N-CTM-4-05-001/00, que indica que el valor de penetración deberá de encontrarse entre los valores de 50 y 90, y como se indica en las tablas anteriores su valor es de 51.8.

Acorde al manual M-MMP-4-05-006/00, los cálculos y resultados se reportan de la prueba, el promedio de las profundidades a las que haya entrado la aguja en por lo menos tres penetraciones, expresadas en decimo de mm y con aproximación a la unidad



### 3.4 ASENTAMIENTO DE EMULSIONES ASFALTICAS

Esta prueba permite determinar el grado de homogeneidad que conservan las emulsiones asfálticas catiónicas o aniónicas, después de haber sido almacenadas durante periodos prolongados. La prueba consiste en dejar reposar muestras de emulsión asfáltica durante un tiempo especificado y posteriormente, especificar la diferencia de concentración de asfalto a diferentes niveles de la muestra.

El ensaye de sedimentación indica la tendencia de las partículas de asfalto a perder la estabilidad, durante el almacenamiento de la emulsión. Detecta la propensión de los glóbulos de asfalto a sedimentar durante el almacenamiento. Este ensaye sirve también como indicador de calidad de las emulsiones aun cuando no sea almacenada. Una falla en el ensaye de sedimentación indica que algo anda mal en el proceso de emulsificación.

Este manual se complementa con la norma N-CTM-4-05-001, calidad de materiales asfálticos y el manual M-MMP-4-05-001, muestreo de materiales asfálticos.

Equipo:

Probetas de vidrio.

Pipetas de vidrio.

Vaso de precipitado.

Agitadores.

Balanza.



**Procedimiento:**

Se colocan dos muestras de 500 ml. En las probetas de vidrio graduadas y se dejan reposar sin moverlos de lugar durante un periodo de 5 días. Transcurrido ese tiempo se toman muestras de la parte inferior y superior de cada probeta respectiva para realizar el estudio, se coloca cada muestra en un recipiente y después se pesan. La muestra se calienta hasta que se evapore el agua o los aditivos presentes y después, se pesa el residuo.

Los pesos obtenidos se usan para encontrar la diferencia entre el contenido de cemento asfáltico entre las proporciones superior e inferior del cilindro. Esto da una medida de la sedimentación.



**Figura 17.** En la figura se muestra el tipo de probetas que se tienen que utilizar en esta prueba.



**Figura 18.** Se muestra el llenado de las probetas para dejarlas en reposo por un periodo de 5 días.



**Figura 19.** En la imagen se muestra que las probetas tienen que taparse ya sea con tapón de vidrio o corcho, y dejarlas reposar un periodo de 5 días sin que estas sufran un movimiento. Ni se cambien de lugar.

### Formulas y calculo para el asentamiento de emulsiones asfálticas en 5 días.

Se calcula el contenido de residuo asfáltico de la emulsión, correspondiente a cada una de las muestras de prueba, expresándolo como porcentaje de la masa inicial de las mismas, de acuerdo con las siguientes formulas.

$$R_{sn} = \frac{W_{fsn} - W_{tsn}}{W_{on}} * 100$$

$$R_{in} = \frac{W_{fin} - W_{tin}}{W_{on}} * 100$$

Donde:

$R_{sn}$  = contenido de residuo asfáltico en la parte superior de la probeta (%).

$R_{in}$  = contenido de residuo asfáltico en la parte inferior de la probeta (%).

$W_{fsn}$  = Masa del vaso con el residuo asfáltico de la parte superior de la probeta y su respectiva varilla, (grs.).

$W_{fin}$  = Masa del vaso con el residuo asfáltico de la parte inferior de la probeta y su respectiva varilla, (grs.).

$W_{tsn}$  = masa del vaso y su respectiva varilla, para el residuo asfáltico de la parte superior de la probeta (grs.).

$W_{tin}$  = masa del vaso y su respectiva varilla, para el residuo asfáltico de la parte inferior de la probeta (grs.).

$W_{on}$  = masa original de cada muestra (  $50 \pm 1$  g.), (grs.).

### Sustitución y cálculo de los niveles de asentamiento de emulsión.

#### Muestra 1

$$R_{sn} = \frac{86 - 54}{50} * 100 = 64\%$$

$$R_{in} = \frac{80 - 47}{50} * 100 = 66\%$$

#### muestra 2

$$R_{sn} = \frac{81 - 49}{50} * 100 = 64\% \text{ superior.}$$

$$R_{in} = \frac{83 - 51}{50} * 100 = 64\% \text{ inferior.}$$



Se obtiene el promedio de los contenidos de residuo asfáltico por evaporación correspondiente a la parte superior y a la inferior de las respectivas muestras.

**Promedio del contenido de la parte superior.**

$$R_s = \frac{64 + 64}{2} = 64\%$$

**Promedio del contenido de la parte inferior.**

$$R_i = \frac{66 + 64}{2} = 65\%$$

Se calcula  $s$ , donde  $s$  = asentamiento de la emulsión, (%). Con la formula siguiente:

$$S = R_i - R_s$$

$$S = 65 - 64 = 1\%$$

$$S = 1\%$$

Con los resultados obtenidos se muestra que el residuo de la emulsión se encuentra dentro de los requisitos establecidos en las normas de la SCT. Donde nos marca que las emulsiones catiónicas tienen un rango máximo de 5%, acorde a los procedimientos que marca el manual que se encuentra establecido en las mismas normas antes mencionados.



### 3.5 CARGA ELÉCTRICA DE LAS PARTÍCULAS DE EMULSIONES ASFÁLTICAS

Esta prueba permite determinar la polaridad eléctrica de los glóbulos de asfalto en las emulsiones, con el propósito de identificarlas como aniónicas cuando las partículas tienen una carga eléctrica negativa y como catiónicas cuando su carga es positiva. El proceso consiste en inducir una corriente eléctrica a través de la emulsión, mediante dos electrodos y observar a cuál de ellos son atraídos los glóbulos de asfalto.

Este manual se complementa con las últimas versiones de la norma N-CTM-4-05-001 Calidad de materiales asfálticos y del manual M-MMP-4-05-001 muestreo de materiales asfálticos.

#### EQUIPO:

Fuente de poder.

Electrodos.

Vaso de precipitado.

Cronometro.

#### Preparación de la muestra.

De la muestra de emulsión asfáltica, obtenida según establece el manual M-MMP-4-05-001, previamente homogenizados mediante en un envase mediante una agitación moderada con varilla de vidrio limpia, evitando el rompimiento de la emulsión, se toma en el vaso de precipitado una muestra de prueba suficiente para que los electrodos puedan sumergirse aproximadamente 25 mm, sin que estos toquen el fondo del recipiente.

Se conecta a la fuente de poder los electrodos limpios y secos, que se introducen en la emulsión hasta que queden sumergidos 25 mm, sin tocar las paredes ni el fondo del vaso.



Se conecta la fuente de poder a la corriente eléctrica y se ajusta para lograr una intensidad de 8, mA accionando en ese momento el cronometro.

Cuando hayan transcurrido 30 minutos en la aplicación de la corriente, o bien cuando se reduzca la intensidad a 2 mA, lo que ocurra primero, se acciona el interruptor, se anota el tiempo transcurrido entre el tiempo de inicio de la prueba hasta que ocurra dicha acción de intensidad, se desconectan los electrodos y se lavan con agua. Y se observa la película de glóbulos que se adhirieron a los electrodos, y se observa a cuál de ellos se encuentran incrustados.



**Figura 20.** En la imagen se aprecia la muestra, la fuente de poder y los electrodos positivo y negativo.



Figura 21. En la imagen se aprecia que los electrodos son sumergidos 25 mm en la emulsión sin que estos toquen las paredes o el fondo del recipiente.



Figura 22. En la imagen se muestra como los glóbulos de la emulsión son atraídos por la carga negativa por lo que se puede concluir que es una emulsión catiónica, por tener las partículas carga positiva.

Mediante la realización y la observación de los tiempos en que la muestra presenta su carga, se demostró que la emulsión tiene partículas con carga positiva por lo que se concluye acorde a las normas de la SCT, que es una emulsión de tipo catiónica. Como se puede observar en las imágenes anteriores y es muy apreciable la película que se adhiere a los electrodos. Esta prueba más que otra cosa se trata de inspección visual, y dejar transcurrir un tiempo aproximado de 30 min u observar el cambio de intensidad de la corriente que tiende a disminuir de 8 a 2 ma.



### 3.6 RETENIDO EN LAS MALLAS No. 20 Y No. 60 EN EMULSIONES ASFÁLTICAS.

Se describe el procedimiento de prueba para determinar el retenido en las mallas No. 20 y No.60 de las emulsiones asfálticas a que se refiere la norma N-CTM-4-05-001, *calidad de materiales asfálticos*, en muestras tomadas conforme al manual M-MMP-4-05-001, *muestreo de materiales asfálticos*.

Esta prueba permite cuantificar el asfalto de una emulsión que se refiere en las mallas No.20 y No.60, cuando contiene glóbulos de asfalto relativamente grandes, para estimar la uniformidad de la emulsión. La prueba consiste en hacer pasar a través de las mallas No.20 y No.60 una cantidad de emulsión y calcular los porcentajes que se retienen en ellas.

Referencias.

Este manual se complementa con la norma N-CTM-4-05-001, *calidad de materiales asfáltico* y el manual M-MMP-4-05-001, *muestreo de materiales asfálticos*.

#### EQUIPO Y MATERIALES.

El equipo para la ejecución de la prueba estará en condiciones de operación. Todos los materiales por emplear serán de alta calidad, considerando siempre la fecha de su caducidad.

- **Vaso de precipitado.**

De vidrio o aluminio con capacidad de 1000 cm<sup>3</sup>.

- **Balanza.**

De 2000 grs., de capacidad y aproximación a 0.1 grs.

- **Mala No.20.**

De 850 mm de abertura.



- **Malla No. 60.**

De 250mm de abertura.

- **Fondos para malla.**

Dos fondos uno para cada malla.

- **Horno.**

Provisto de termostato que mantenga una temperatura de hasta 175<sup>0</sup>C, con aproximación de 2<sup>0</sup>C.

### **Solución de oleato de sodio al 2%.**

Que se prepare disolviendo 2 gramos de oleato de sodio puro en 100cm<sup>3</sup> de agua destilada.

### **Preparación de la muestra.**

De la muestra de mezcla asfáltica cuidadosamente homogenizada, obtenida según establece en el manual M-MMP-4-05-001, *muestreo de materiales asfálticos*, se toma una muestra ligeramente mayor a 1000grs.

### **Procedimiento de la prueba.**

- Se obtiene la masa de la malla No. 20 con su respectivo fondo y se registra en grs, como *Wt20*.
- Se obtiene la masa de la malla No. 60 con su respectivo fondo y se registra en grs, como *Wt60*.
- Se humedecen las mallas aplicándole una capa delgada de la solución.
- De la muestra de prueba, se vierte en el vaso de precipitado 1000 g. esta cantidad se hace pasar por la malla No.20 y luego por la No.60, estando ambas acopladas desechando lo que pasen por las mallas.
- Enseguida se lavan el caso y las mallas con la solución de oleato de sodio desechando la solución hasta que esta salga limpia por la malla No. 60.



- Se separan las dos mallas y se lava nuevamente la malla No. 60 con oleato de sodio, hasta que dicha solución salga limpia.
- Se insertan los dos fondos en las mallas correspondientes. Las mallas con glóbulos retenidos se secan en el horno durante 2 hrs a una temperatura de  $105^{\circ}\text{C}$ . se sacan del horno, se dejan enfriar a temperatura ambiente y se obtienen sus masas, en grs, registrándolas como  $Wr_{20}$  y  $Wr_{60}$ , respectivamente.



Figura 23. En la imagen se muestra la emulsión y las mallas No. 20 y No 60, para realizar el respectivo retenido de las mallas mencionadas.



Figura 24. Colocación de las mallas con el retenido para secado.



Figura 225. En las figuras 25 y 26, se muestra la colocación de las mallas en el horno a una temperatura de  $105^{\circ}\text{C}$ , para su secado durante dos hrs, acorde a las normas y manuales de la SCT.

## CÁLCULOS Y RESULTADOS.

Se calculan y se reportan como retenido en la malla No. 20, el resultado de la siguiente formula.

$$R_{20} = \frac{W_{r20} - W_{f20}}{10}$$

**Donde:**

$R_{20}$  = material asfáltico retenido en la malla No. 20, (%).

$W_{r20}$  = masa de la malla No.20 con su retenido y fondo, después de secarse en el horno, (grs.).

$W_{f20}$  = masa de la malla No. 20 y su fondo, sin retenido, (grs.).

Se calcula y se reporta como el residuo que pasa la malla No.20 y se retiene en la malla No. 60, el resultado de la siguiente formula.



$$R_{60} = \frac{W_{r60} - W_{t60}}{10}$$

**Donde:**

**R<sub>60</sub>** = material asfáltico que pasa la malla No. 20 y retiene la No. 60 en (%)

**W<sub>r60</sub>** = masa de la malla No.60 con su retenido y fondo, después de secarse en el horno, (grs.).

**W<sub>t60</sub>** = masa de la malla No. 60 y su fondo, sin retenido, (grs).

Sustitución de las formulas.

Retenido No.20

0

retenido No. 60

$$R_{60} = \frac{202.2 - 200.8}{10} = 0.14 \%$$

$$R_{20} = \frac{201.9 - 200.9}{10} = 0.1\%$$

Como se muestra en los resultados obtenidos mediante las formulas que indica el manual M-MMP4-05-001/02, de las normas de la SCT. Los límites máximos en el retenido expresados en %, indican que el retenido de la malla No.20 es de 0.1% y el retenido de la malla No. 60, su retenido máximo es de 0.25%. Por lo que se puede observar que los resultados cumplen con lo establecido.



### 3.7 DESTILACIÓN DE EMULSIONES ASFÁLTICAS.

Este ensayo cubre la determinación cuantitativa del residuo por destilación en emulsiones asfálticas, compuestas principalmente de una base asfáltica líquida o semisólida, agua y un agente emulsificador.

Consiste en destilar la emulsión asfáltica a una temperatura máxima de 260<sup>0</sup>C, para separarla en residuo asfáltico se realizan otras pruebas que ayudan a identificar la emulsión, cuando se requieren también identificar los disolventes.

#### EQUIPO Y MATERIALES:

El equipo para la ejecución de la prueba debe estar en condiciones óptimas para su uso, calibrado, limpio, completo en todas sus partes y sin desgaste. Todos los materiales deben de ser de calidad y emplearse dentro de la fecha de caducidad.

- Alambique cilíndrico. De aleación de aluminio con la forma y dimensiones que propone la SCT.
- Quemador anular de gas. De 127 mm de diámetro interior, como indica la norma correspondiente y manual de la SCT.
- Unidad de condensación. Integrada por un adaptador, un tubo de conexión con camisa de lamina y refrigerante recto provisto de camisa metálica, todos ellos adaptados para comunicarse, acorde al manual de la SCT, para realizar esta prueba.
- Probeta. De virio, de 100 cm<sup>3</sup> de capacidad y con graduaciones a cada 1 cm<sup>3</sup>.
- Termómetro de inmersión total. Dos termómetros con rango de -2 a 300<sup>0</sup>C y aproximación de 1<sup>0</sup>C.
- Mechero de gas. Del tipo bunsen.
- Malla No. 50. De 300 mm de abertura.



- Balanza. Con capacidad mínima de 3500 g y aproximación 0,1 grs.
- Espátula. De níquel y de 20 cm de longitud.
- Empaque. De papel impregnado con aceite.

**MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES**

M-MMP-4-05-012/01

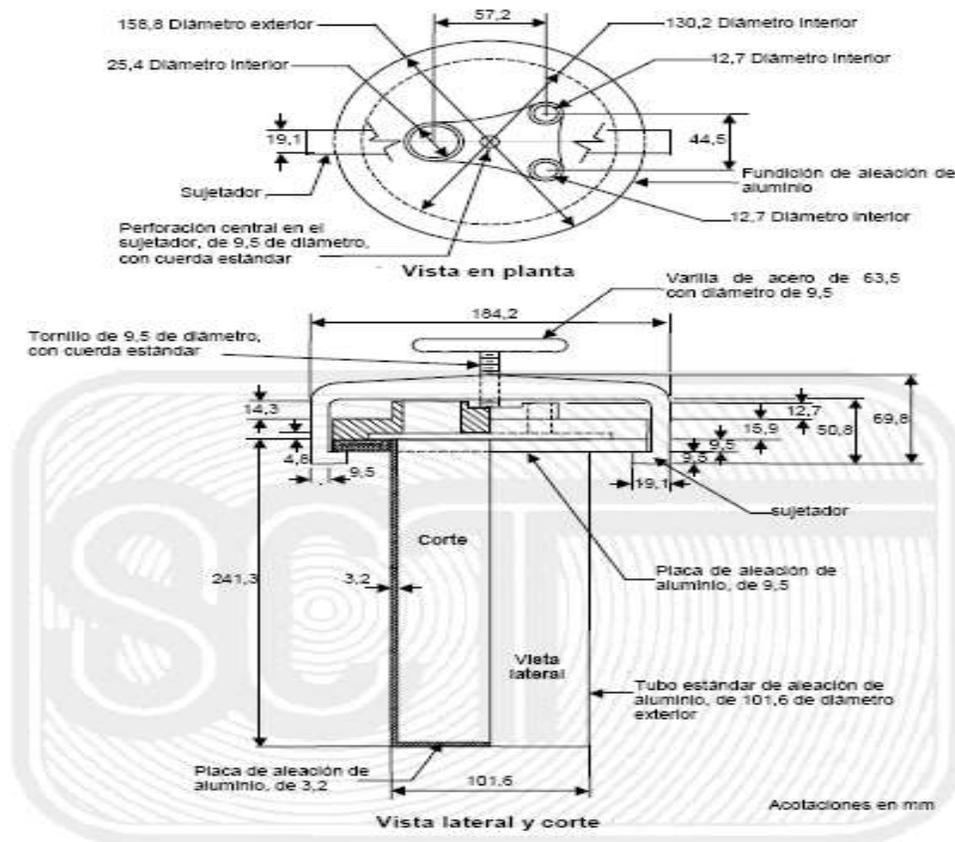


Figura 27. En la imagen anterior se muestra un recorte del manual M-MMP-4-05-012/01. Donde se muestra el alambique que tiene que utilizarse para la elaboración de esta prueba de destilación.

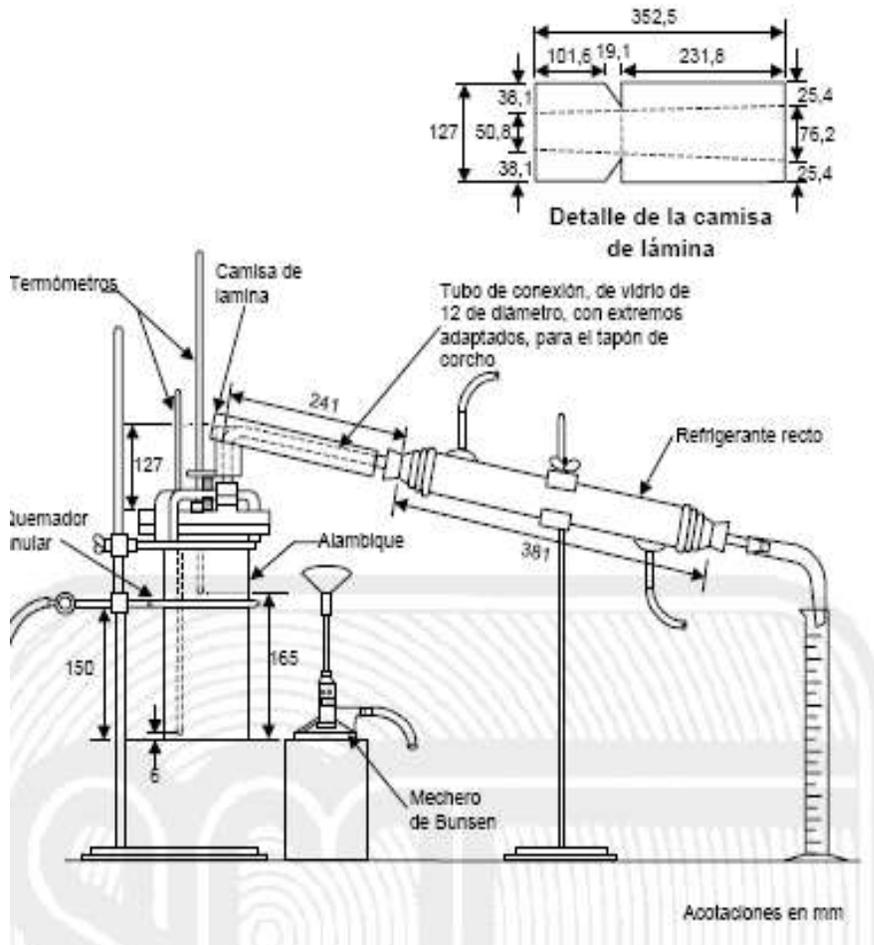


Figura 28. En esta imagen se aprecia un recorte acorde a los requisitos de la SCT. Donde se aprecia el montaje del alambique y la unidad de condensación, así como las partes que intervienen en el mismo.

### Preparación de la muestra.

De la muestra de emulsión asfáltica, obtenida según se establece en el manual M-MMP-4-05-001, muestreo de materiales asfálticos, se toma una muestra de prueba de 200+/- g. colocándola en el alambique previamente tarado, incluyendo su tapa, abrazadera, termómetro y demás accesorios y se registra la masa total del conjunto. Se ajusta perfectamente la tapa del alambique utilizando su tornillo de presión y colocando, entre esta y el alambique, el empaque de papel impregnado con aceite.

## Procedimiento de la prueba.

Previamente al inicio de la prueba se determinan las temperaturas a las que se harán las lecturas del volumen destilado, siendo estas las indicadas en la tabla 1 del manual M-MMP-4-05-021/02 pagina 5, de acuerdo con las lecturas del nivel del mar del lugar donde se realiza la prueba, o bien, si se conoce la altura barométrica prevaleciente en dicho lugar, se corregirán las temperaturas correspondientes al nivel del mar indicadas en dichas tabla, restándoles los valores indicados en la tabla 2, con aproximación  $0,5^{\circ}\text{C}$ , considerando que la presión barométrica al nivel del mar es de 760 mm Hg.

Se inserta en el matraz el tapón de corcho con el termómetro, para ajustarlos de manera que el bulbo quede a 6,5 mm del fondo del matraz y que el eje de éste y del termómetro coincida, quedando ambos en posición vertical.

Se retira el tapón de corcho con el termómetro ajustado y de la porción mencionada en la clausula E del manual mencionado, se vierte en el matraz de destilación la cantidad de producto de producto correspondiente a un volumen de  $200\text{ cm}^3$ , midiéndola en masa calculada a partir de la densidad del material asfáltico a una temperatura de  $15,5^{\circ}\text{C}$ , obteniendo a su vez, como se indica en el manual M-MMP-4-05-029, densidad de material asfáltico y se registra la masa como *mi*.

Se monta el equipo como indica la figura 3 del manual mencionado.

Se coloca el matraz de destilación con la muestra de prueba y la camisa, sobre las dos mallas metálicas, las que a su vez estarán una sobre otra y apoyadas en un anillo metálico sujeto a un soporte, se instala el condensador y se le acopla el matraz utilizando una junta de corcho que ajuste perfectamente y se conectan al refrigerante las mangueras de entrada y salida de agua.

La extensión de vidrio que conduce el destilado a la probeta graduada se conecta al extremo de la salida del condensador y se inserta en un papel secante que tenga una perforación de la forma y dimensiones adecuadas para que ajuste en dicha extensión, si la temperatura ambiente del local en donde se efectúa la prueba no es de  $15,5 \pm 2,5^{\circ}\text{C}$ , se coloca la probeta en el baño a dicha temperatura, manteniéndola en posición sumergida hasta la marca de  $100\text{ cm}^3$ .

Se hace circular agua fría en el condensador y se aplica calor al matraz, de manera que la primera gota del destilado caiga del extremo del tubo del condensador en un lapso de 5 a 15



min después de iniciada la aplicación de calor y se registra la temperatura a la que esto ocurra con aproximación de 0,5<sup>0</sup>C.

Se continúa la destilación de tal forma que escurran por el extremo de la extensión de vidrio de 50 a 70 gotas de destilado por minuto, hasta 260<sup>0</sup>C y de 20 a 70 gotas por min entre 260 y 316<sup>0</sup>C. El lapso de destilación entre las temperaturas de 316 y 360<sup>0</sup>C, no excederá de 10min. Hay que hacer notar que estas temperaturas son las nominales, las que en su caso se habrán corregido de acuerdo con lo descrito en la fracción F.1 de este manual.

Si durante la destilación se produce espuma en la muestra, se disminuye el calor para evitar que dicha espuma alcance la entrada del tubo del matraz y enseguida se vuelve a incrementar el calor para obtener la velocidad de destilación antes indicada; en el caso de que persista la espuma, se regulariza la destilación aplicando calor lateralmente en vez de hacerlo en el fondo del matraz.

Se registra con aproximación de 0,5 cm<sup>3</sup> la cantidad de destilado obtenida a cada una de las temperaturas correspondientes a las nominales de 190, 225, 316, y 360<sup>0</sup>Co las corregidas, si es el caso. Para efectuar la temperatura correspondiente a la temperatura nominal de 360<sup>0</sup>C, se deja que todo el destilado que se encuentra en el condensador escurra a la probeta y se registra dicha lectura, así como la cantidad de agua que se haya destilado, la cual por su mayor densidad, se separa de los disolventes y se deposita en la parte inferior de la probeta.

Si se van a efectuar pruebas en el residuo de la destilación, tan pronto se alcance la máxima temperatura de esta prueba se retira la fuente de calor, se remueve el tapón del matraz y desconecta el condensador, para vaciar inmediatamente el residuo en una capsula metálica, colocada sobre su tapa para evitar un enfriamiento rápido en el fondo. El tiempo que transcurra desde que se retira la fuente de calor, hasta que se comience a vaciar el residuo no será mayor a 10 s; durante esta operación el tubo de salida del matraz se mantendrá en posición sensiblemente horizontal, para impedir que regresen al residuo los disolventes condensados que se encuentren en dicho tubo y tan pronto como deje de vaporizar el material en la capsula, se agita su contenido para homogeneizarlo y tomar de ella, al a temperatura indicada según la prueba de que se trate, las cantidades de residuo asfáltico que se requieren.

## CÁLCULOS Y RESULTADOS

Se obtiene el contenido de cemento asfáltico mediante la siguiente expresión.

$$Rd = \left(1 - \frac{mi - mf}{mi}\right) * 100$$



**Donde:**

**Rd = contenido de cemento asfáltico por destilación, (%)**

**mi = masa de la muestra de asfalto rebajado antes de la destilación, (kg.)**

**mf = masa de la muestra de asfalto rebajado al final de la destilación (kg.)**

**Sustitución en la formula**

**Peso caliente = 3628grs.**

**Peso alambique mas termómetro = 3498 grs.**

**Peso alambique + termómetro + emulsión. = 3698 grs.**

**Mi = 0.200 kg.**

**Mf = 0.130 kg.**

$$Rd = \left(1 - \frac{200 - 130}{200}\right) * 100$$

**Rd = 65 %**



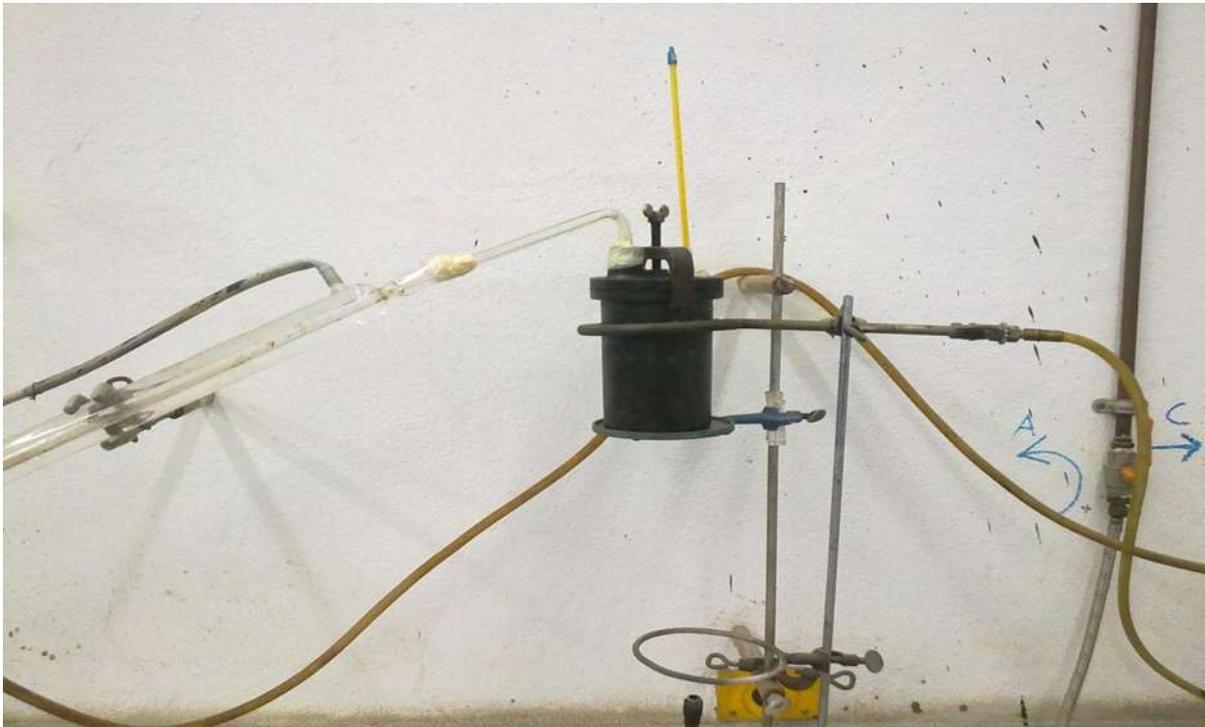


Figura 29. En la imagen se muestra ya montado el alambique, mechero y condensador, para la realización de la prueba.



Figura 30. En la imagen se muestra que al alambique se le aplica calor para elevar su temperatura y lograr la destilación de la emulsión.

En las imágenes anteriores se muestra el aparato ya montado con todos los accesorios necesarios y requeridos para realizar la prueba de destilación de la emulsión en estudio, ello para checar y cuantificar mediante las formulas que proporciona el manual y las normas de la SCT.



### 3.8 PRUEBA DE DUCTILIDAD.

El objetivo de ésta prueba es para determinar el grado de ductilidad de los cementos asfálticos, medida por la máxima distancia a la cual una briqueta puede ser estirada sin romperse, bajo condiciones de temperatura y velocidad de deformación establecidas. .

O dicho en otras palabras: por medio de esta prueba nos podemos dar cuenta de la deformación que puede sufrir sin agrietarse el cemento asfáltico en el camino, al estar sujeto a la carga de los vehículos y a los cambios de temperatura.

El procedimiento de prueba es el siguiente:

A una muestra de cemento asfáltico se le calienta para que adquiera fluidez y se facilite su vaciado; enseguida se vacía cuidadosamente el molde hasta rebasar ligeramente el nivel de enrase, evitando la formación de burbujas de aire.

A continuación se deja enfriar el molde a la temperatura ambiente durante 30 minutos; después se coloca en el baño de agua a temperatura de 25° C, durante 30 minutos. Transcurrido este tiempo se saca del baño el molde y se enrasa cortando el exceso de éste con una espátula previamente calentada.

Enseguida se vuelve a colocar el molde en el baño de agua a la misma temperatura durante 90 minutos; transcurrido este tiempo se retiran los elementos laterales del molde y de inmediato se instala la briqueta con sus mordazas en el ductilómetro, debiendo quedar el nivel del agua a no menos de 2.5 cm de la cara superior de la briqueta, El agua del ductilómetro se acondiciona previamente a la temperatura de 25° C.



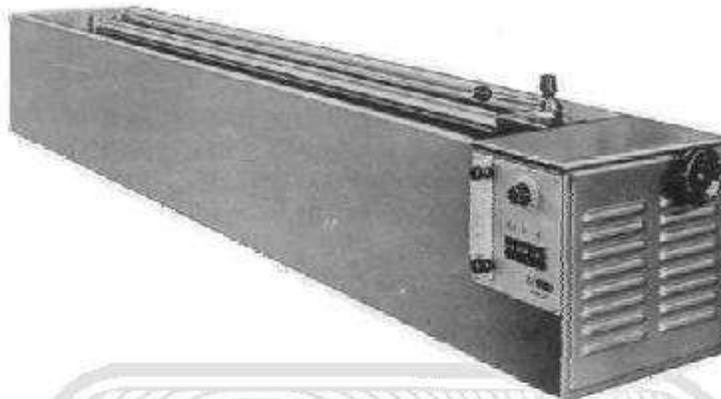


FIGURA 1.- Ductilómetro

D.2. MOLDE

Para elaborar la briqueta, de latón, compuesto de dos mordazas y dos elementos laterales, con la forma y dimensiones mostradas en la Figura 2 de este Manual.

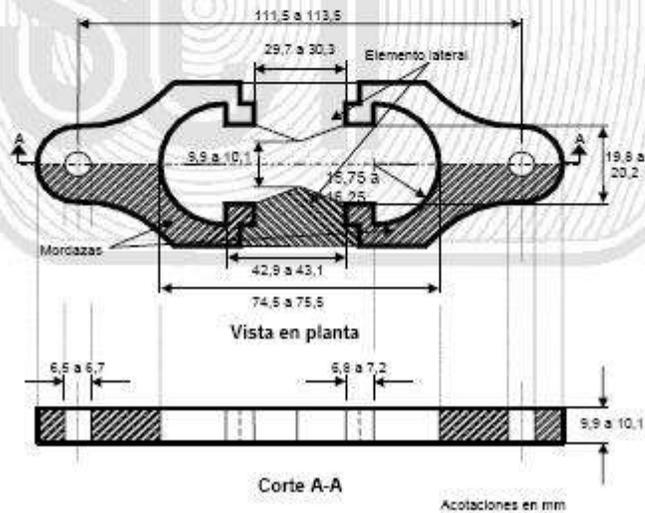


Figura 31. Se muestra en la figura la máquina para la prueba o ductilómetro, así como las partes que conforman la briqueta.

**LIBRO:** MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES  
**PARTE:** 4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS  
**TÍTULO:** 05. Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas  
**CAPÍTULO:** 011. Ductilidad de Cementos y Residuos Asfálticos

**A. CONTENIDO**

Este Manual describe el procedimiento de prueba para determinar la ductilidad de los materiales asfálticos a que se refieren las Normas N-CMT-4-05-001, *Calidad de Materiales Asfálticos* y N-CMT-4-05-002, *Calidad de Materiales Asfálticos Modificados*, en muestras tomadas conforme al Manual M-MMP-4-05-001, *Muestreo de Materiales Asfálticos*.

**B. OBJETIVO DE LA PRUEBA**

Esta prueba permite determinar la capacidad para deformarse sin romperse, de los cementos asfálticos, del residuo de la prueba de película delgada y de los residuos asfálticos obtenidos por destilación de emulsiones. La prueba consiste en medir la máxima distancia a la cual una briqueta de dichos materiales, de geometría y bajo condiciones de temperatura y velocidad de deformación específicas, puede ser estirada sin romperse.

**C. REFERENCIAS**

Este Manual se complementa con las siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Calidad de Materiales Asfálticos.....	N-CMT-4-05-001
Calidad de Materiales Asfálticos Modificados.....	N-CMT-4-05-002
Muestreo de Materiales Asfálticos.....	M-MMP-4-05-001
Pruebas en el Residuo de la Película Delgada de Cementos Asfálticos.....	M-MMP-4-05-010
Destilación de Emulsiones Asfálticas.....	M-MMP-4-05-012

**D. EQUIPO Y MATERIALES**

El equipo para la ejecución de la prueba estará en condiciones óptimas para su uso, calibrado, limpio, completo en todas sus partes y sin desgaste. Todos los materiales deben ser de calidad y emplearse dentro de la fecha de caducidad.

El equipo y los materiales necesarios son:

**D.1. DUCTILÓMETRO**

**Figura 32.** En la imagen anterior se muestra un recorte de la norma M-MMP-05-011/00.

En la figura 26 y 27, se muestra el contenido de la norma que nos establece los requisitos y los pasos a seguir para realizar la prueba de ductilidad, en este caso se le realiza al residuo de la destilación de una emulsión asfáltica. La prueba se realizó acorde las normas de la SCT. Y al manual M-MMP-05-001/00.

Se pone en marcha el mecanismo de prueba a la velocidad de 5 cm por minuto, hasta producir la ruptura de la briqueta; en este momento se lee el desplazamiento de la mordaza y se registra en centímetros.





**Figura 33.** En la imagen anterior se muestra la máquina para realizar la prueba de ductilidad de un cemento asfáltico.



**Figura 34.** En la imagen se muestra la colocación de la briqueta en el ductilómetro.

El resultado de las pruebas es el siguiente:

**Muestra No. 1**

Ocurrió el rompimiento a los 85.0 cm.

**Muestra No. 2**

Ocurrió el rompimiento a los 90.0 cm.

Esta distancia en promedio fue de 87.5 centímetros, por lo cual el producto SI cumple con la especificación de la S.C.T., la cual marca como valor mínimo 40 centímetros. Acorde a la norma N-CTM-4-05-001/00. Que establece que la ductilidad para una emulsión catiónica tiene que tener como mínimo este valor ya establecido



**Tabla de resultados de las pruebas realizadas.**

<b>PRUEBA</b>	<b>RESULTADO DE LA PRUEBA</b>	<b>ESPECIFICACIÓN</b>
VISCOSIDAD SAYBOLT-FUROL A 25° C	150 seg.	No tiene rango acorde a N-CTM-4-05-001/00
VISCOSIDAD SAYBOLT-FUROL A 50° C	126 eg.	25 seg. Mínimo, acorde a N-CTM-4-05-001/00
PENETRACIÓN (25° C, 100 gr., 5 seg.)	51.8 °	100-250 10 <sup>-1</sup> mm
ASENTAMIENTO DE EMULSIONES ASFÁLTICAS.	1 %	5% MAX. acorde a N-CTM-4-05-001/00
CARGA ELÉCTRICA DE LAS PARTICULAS.	POSITIVA ( + )	ANIONICA (-) CATIÓNICA (+)acorde a N-CTM-4-05-001/00
RETIENE LA MALLA No. 20 EN LA PRUEBA DEL TAMIZ	0.1	0.1 acorde a N-CTM-4-05-001/00
PASA MALLA No.20 Y SE RTIENE EN LA No.60 EN LA PRUEBA DEL TAMIZ	0.14%	0.25% MAXIMO acorde a N-CTM-4-05-001/00
DESTILACIÓN DE EMULSIONES ASFÁLTICAS Ó CONT. DE CEMENTO ASFÁLTICO	65	65% MÍNIMO acorde a N-CTM-4-05-001/00
PRUEBA DE DUCTILIDAD	87.5 cm	40 cm mínimo, acorde a N-CTM-4-05-001/00



## Capítulo IV



# CÁLCULO DEL CONTENIDO MÍNIMO DE ASFALTO.



#### **4.0 PROCEDIMIENTO PARA CALCULAR EL CONTENIDO MÍNIMO DE ASFALTO EN EL PROYECTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS, POR MEDIO DE FORMULAS EMPIRICAS Y SU APLICACIÓN EN EL CONTROL DE LA ELABORACIÓN DE LAS MISMAS.**

En este procedimiento se describen dos métodos de cálculo donde se tienen las siguientes aplicaciones.

- a) Calcular en forma aproximada el contenido mínimo de asfalto necesario para cubrir las partículas de agregados pétreos en una mezcla con materiales graduados, datos necesarios para verificar las pruebas de estabilidad.
- b) Hacer las correcciones en el contenido óptimo de asfalto durante el control de la elaboración de la mezcla, cuando se presenta en variaciones apreciables de la composición granulométrica del agregado pétreo.

En cálculo del contenido mínimo de asfalto por medio de formulas empíricas se consideran dos variantes.

- a) La variante uno, se aplica a materiales graduados que contienen finos; el método se basa en la estimación aproximada de la superficie total del agregado pétreo en función de su granulometría. Conocida el área total para 1 kilogramo de material, se obtendrá el contenido mínimo de asfalto multiplicando dicho valor por el índice asfáltico. Para calcular la superficie total del agregado se emplearan las constantes de áreas que se dan, donde se expresan en metros cuadrados de superficie por Kg., de material pétreo. La determinación de porcentaje de asfalto se hará calculando los contenidos parciales para tamaños parciales, multiplicando el porcentaje de material de cada tamaño por la constante de área correspondiente, y este producto a su vez se multiplicara por el índice asfáltico que debe aplicarse a cada una de las fracciones. La suma de los contenidos parciales dará el contenido total de la muestra. El valor del índice asfáltico varía con la rugosidad y la porosidad de agregado pétreo, aplicándose los valores medios que se dan, acorde a los tamaños.



Material		constante de área M <sup>2</sup> /Kg.
<b>pasa malla</b>	se retiene en malla	
38.1 mm 1 1/2"	19.05 mm (3/4")	0.27
19.05 mm 3/4"	numero 4	0.41
numero 4	numero 40	2.05
numero 40	numero 200	15.38
numero 200		53.3

**Tabla 12. En la tabla se muestran las constantes por las que se deberá de multiplicar el material para usar este método.**

Los valores anteriores están dados en kg., de cemento asfáltico por metro cuadrado de superficie de agregado pétreo. Se considera baja absorción a la que es menor de 2%, absorción media a la comprendida entre 2 y 4 %, y por ultimo absorción alta a la que es mayor de 4%.

En el material empleado que es de absorción baja por tratarse de material triturado de roca sana, el índice asfáltico es de 0.0060 que es para, gravas angulosas o redondeadas, trituradas de baja absorción.

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 13. Para obtener el contenido mínimo de asfalto mediante esta variante se muestra la siguiente tabla como se realizo el cálculo correspondiente.**



1	2	3	4	5	6	7
tamaño	% en peso	Kg/cm <sup>3</sup> const. de área	superficie parcial.	índice asfáltico	contenido mínimo	% * (100)
1 1/2 a 3/4"	16/100	0.27	0.0432	0.006	0.0002592	0.02592
3/4" a No. 4	58/100	0.41	0.2378	0.006	0.0014268	0.14268
No. 4 a No. 40	21/100	2.05	0.4305	0.006	0.002583	0.2583
No.40 a No. 200	3/100	15.38	0.4614	0.006	0.0027684	0.27684
pasa No. 200	2/100	53.3	1.066	0.006	0.006396	0.6396
						<b>1.34334</b>

**Tabla 14.** En la tabla se aprecia que el contenido mínimo es aproximado al 2 %, mediante esta variante

Columna. 1 son las mallas que marca este método o variante.

1. es el por ciento retenido de las mallas correspondientes en la col.1
2. es la constante de área de acuerdo a las mallas.
3. Se obtiene multiplicando la col. 1\* col.2.
4. Este es un factor de índice de asfalto de acuerdo al material empleado, en este caso se usa este valor debido a que el material empleado es de baja absorción, acorde a las pruebas realizadas al material.
5. Se obtiene multiplicando col. 4\*5
6. Esta columna, se obtiene mediante la multiplicación de la columna 6 \*100.

b) La variante dos se aplica a materiales graduados que tienen pocos finos , con granulometría cercana al límite inferior de las especificaciones: se usa la formula:

$$A = 0.020a + 0.045 b + cd.$$

Siendo:

A = contenido de asfalto, (expresado como cementos asfáltico referido al peso del agregado).

a = por ciento del material retenido en la malla No. 10.



b = % del material que pasa la malla No.10 y se retiene en la malla No. 200.

c = % de material que pasa la malla No. 200.

d = coeficiente asfáltico que varía con las características del material, o la absorción del mismo acorde a este método empírico. El material es triturado de baja absorción por lo que el valor de  $d=0.20$ .

Sustitución.

$$A = (0.020 \cdot 0.12) + (0.045 \cdot 86) + (2 \cdot 0.20)$$

$A = 4.27\%$  de contenido mínimo mediante esta variante.

Como se pueden apreciar los valores obtenidos mediante estas dos variantes empíricas los cuales son por el primero del 2% del contenido mínimo redondeado, el segundo es de 4% redondeado del contenido mínimo, mediante observaciones del asesor de mi tesis, se decidió que tendría que comenzarse el estudio con el **3.0% de contenido mínimo**, debido a que el 4.0% se usaría demasiado asfalto y esto sería para una carpeta, y en nuestro diseño se trata de una base, por lo que se decidió tomar este valor intermedio.

El estudio requiere que el material en estudio cumpla con los requerimientos de flujo, estabilidad principalmente para el número de ejes equivalentes esperados, de 8,2 t, durante la vida útil.

En este estudio se utilizo parte del método Marshall, como lo es la compactación en cara por pastilla, que los resultados de flujo y estabilidad cumplan con lo que establece este método, así como la maquina Marshall para la aplicación de carga.



Características	Valor	
	$\Sigma L \leq 10^6$ [1]	$\Sigma L > 10^6$ [1]
Compactación; número de golpes en cada cara de la probeta	50	75
Estabilidad; N (lb <sub>p</sub> ), mínimo	4 410 (990)	6 860 (1 540)
Flujo; mm (10 <sup>-2</sup> in)	2-4,5 (8-18)	2-4 (8-16)

[1]  $\Sigma L$  = Número de ejes equivalentes acumulados, de 8,2 t, esperado durante la vida útil del pavimento.

Figura 35. Requisitos de calidad para base de mezcla asfáltica diseñada mediante el método Marshall.

Las proporciones para cada pastilla son mediante el siguiente cálculo.

Contenido de asfalto 3.0%, 3.5% y 4.0%

% de residuo 0.65

Peso volumétrico seco suelto. 1584.72 kg/m<sup>2</sup>.

$$\frac{\text{contenido de asfalto}}{\% \text{ de residuo}} * p_{vss}$$

Sustituyendo los valores en la formula anterior para obtener el porcentaje de emulsión que se le aplicara a la muestra de 1100 gramos.

$$\frac{0.03}{0.65} * 1,584.72 = 73.14 \text{ kg./m}^3$$

Con este resultado se hace una regla de tres para obtener los gramos de emulsión acorde al peso de la muestra y el peso especifico del agua

$$\begin{array}{l} 73.14 \text{-----} 1000 \\ x \text{-----} 1100 \end{array}$$



Por lo que tenemos que  $x = 80.454$  gramos de emulsión. Para cada pastilla con el porcentaje de 3.0%

Porcentaje de emulsión para 3.5%

$$\frac{0.035}{0.65} * 1,584.72 = 80.454 \text{ kg./m}^3$$

Con el resultado obtenido se realiza una regla de tres para obtener el resultado del porcentaje de emulsión en gramos, que se le aplicará a la muestra del 3.5%.

$$\begin{array}{l} 80.454 \text{-----} 1000 \\ x \text{-----} 1100 \end{array}$$

Por lo que el resultado obtenido de  $x = 93.86$  grs., de emulsión para la pastilla o ensaye de 3.5%, esta cantidad se le aplica a las tres pastillas que se realizaron por cada punto porcentaje de emulsión.

Para el porcentaje de 4.0% de emulsión.

$$\frac{0.04}{0.65} * 1,584.72 = 97.52 \text{ kg./m}^3$$

Igual que en los resultados obtenidos anteriormente, se realiza regla de tres para obtener el porcentaje de emulsión en gramos.

$$\begin{array}{l} 97.52 \text{-----} 1000 \\ x \text{-----} 1100 \end{array}$$

Mediante a operación señalada anteriormente el resultado  $x = 107.27$  grs., de emulsión que se aplicara a cada pastilla para este porcentaje de estudio.



Como se observa en las operaciones anteriores, los porcentajes o pesos de emulsión obtenidos se le aplicaran a las tres muestras en estudio para obtener los promedios y las pruebas correspondientes.

A continuación muestro una tabla donde se apreciaran los resultados obtenidos para cada punto de porcentaje de estudio.

% EMUL.	peso de la muestra (grs.)	% de emulsión (grs.)	peso total (grs.)
3	1100	80.454	1180.454
	1100	80.454	1180.454
	1100	80.454	1180.454
3.5	1100	93.86	1193.86
	1100	93.86	1193.86
	1100	93.86	1193.86
4	1100	107.27	1207.27
	1100	107.27	1207.27
	1100	107.27	1207.27

**Tabla 15.**En la tabla se aprecia el valor del peso de emulsión que se obtuvo con los cálculos anteriores.

Como se aprecia en la tabla los resultados y los pesos que tendrá cada pastilla, que en nuestro ensaye se realizaron tres pastillas por cada punto del porcentaje de emulsión, para expresar el contenido asfáltico sobre lavase, ya sea esta proporción dada en peso ó en volumen, es decir se realizaron 9 pastillas, con estas nueve pastillas se probaron 6 en la máquina de compresión Marshall, que son dos por cada punto, y tres a compresión simple, una por cada punto. Para observar la diferencia a compresión y obtener un promedio en la compresión Marshall. Para con estos resultados obtener el valor óptimo de asfalto que satisface los requerimientos, acorde a las normas de la SCT.



# Capítulo V



## CÁLCULO DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO.



## **PROCEDIMIENTO DE MARSHALL PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE ESTABILIDAD Y DE FLUJO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS.**

La utilización de este procedimiento para la elaboración de los especímenes se realizó mediante los pasos de Marshall, pero solo para la elaboración debido a que se utilizó emulsión asfáltica para la elaboración de las pastillas, así como se utilizó la máquina de compresión Marshall para obtener el flujo y la estabilidad. La elaboración de los especímenes se realizó mediante el procedimiento que se describe a continuación.

El valor de estabilidad se determinará midiendo la carga necesaria para producir la falla del espécimen, aplicada en sentido normal de su eje, la deformación vertical producida en el espécimen por dicha carga, será el valor de flujo. El valor de estabilidad expresa la resistencia estructural de la mezcla compactada, y está afectado principalmente por el contenido de asfalto.

El equipo para la elaboración y prueba de los especímenes es el siguiente.

Un molde de compactación de 4" de diámetro, provisto de un collarín y una placa de base.

Un sostén del molde de compactación, para sujetar firmemente el molde

Un pisto de compactación con superficie circular de apisonado de 98.4mm. (1-7/8"), de diámetro, equipado con una pesa deslizante de 4.536 kg., cuya altura de caída es de 45.7 cm (18").

Una máquina de compresión Marshall accionada con un motor eléctrico que permite aplicar cargas, por medio de una cabeza de prueba con forma de anillo seccionada, a una velocidad de 50.8 mm minuto (2 pulg/min). Está equipada con un anillo calibrador para determinar el valor de las cargas y un extensómetro para medir las deformaciones del anillo.

Un medidor de flujo.

Un tanque de saturación, con dispositivo eléctrico para mantener constante la temperatura del agua.

Charola de lámina.

Cucharones de lámina.

Un termómetro blindado para registrar temperaturas entre 10 y 200<sup>0</sup>C.

Una balanza con capacidad de 20 kg., y sensibilidad a 1 gramo.



Una cuchara de albañil.

Una espátula.

Un baño de agua para calentar el pistón de compactación y el molde.

Con relación a la elaboración de los especímenes se consideran los siguientes conceptos:

Fijada la granulometría de mezcla asfáltica, se determinara el porcentaje en peso de los siguientes tamaños en que ha sido separado previamente el material pétreo. Acorde a la granulometría que marca la norma de la SCT, para base estabilizada con emulsión asfáltica.

Para cada contenido de asfalto se fabrican 3 especímenes, como se menciona anteriormente, cada uno de los especímenes requiere aproximadamente 1200 gramos de agregado pétreo, se tomara de cada uno de los tamaños que intervienen en el estudio mencionados en la granulometría, la cantidad de muestra que resulte de multiplicar el porcentaje en peso de cada fracción por el peso total de la muestra. Las fracciones ya pesada se mezclaran previamente a la adición de la emulsión asfáltica. La cantidad de emulsión que deberá agregarse se calculo en párrafos anteriores en el contenido mínimo de asfalto.

Se mezclaran los agregados y la emulsión, en conjunto con agua en frio, ya que esta preparación se deberá hacer en sitio, respectivamente hasta obtener una distribución uniforme de la emulsión.

Para compactar la muestra asfáltica se procederá acorde a los manuales de la SCT, el pistón de compactación y el molde se calentaran. Una vez calientes se procederá a su respectivo llenado, se colocara un papel filtro en el fondo del molde y se llenara este con la mezcla, se colocara el pistón dentro de la muestra con el molde y se aplicaran 75 golpes con la pesa deslizante.

Se quitará el collarín y se invertirá la posición del molde; se coloca el collarín y el pistón y se aplican otros 75 golpes en el espécimen. El numero de los golpes de 75 es para cuando se proyecte a recibir presiones de contacto de comprendidas entre 7 y 14 Kg/cm. Se extraerá el espécimen del molde, se identificara y se dejara enfriar a temperatura ambiente en un periodo de de 12 a 24 horas. Los especímenes compactados deberán de tener una altura de 63.5 mm (2, ½”) con una tolerancia de 3.2 mm (1/8”).





Figura 36. En la imagen se muestra el material pétreo con la emulsión asfáltica, la mezcla se encuentra secándose directamente al sol, en charola de lámina.



Figura 37. En la imagen se aprecia el secado del material para el 4 % de emulsión, en esta imagen todavía no se encuentra totalmente seca.



**Figura 38.** En la imagen se observa el material que aun no se encuentra totalmente seco.

En las imágenes 36,37 y 38 se aprecia el material mezclado con la emulsión, esta mezcla aun se encuentra en periodo de secado o de rompimiento de la emulsión, durante este tiempo el material tienen que moverse o mezclarse con la cuchara de albañil para que todas las partículas de material pétreo sean cubiertas con la emulsión, durante el secado de la mezcla la temperatura directa del sol fue muy alta.



Figura 39. En la imagen se puede apreciar el molde, collarín y la base, así como el pistón deslizante de compactación.



Figura 40. En la imagen se muestra como el pistón se encuentra en movimiento para la compactación de 75 golpes por cara, de la muestra.

Como se aprecia en las imágenes anteriores las muestras son compactadas a 75 golpes, con una maquina de compactación mecanizada y eléctrica como se muestra en la imagen, en la cual se pueden programar el numero de golpes, pero de igual forma se tiene que supervisar y observar que el pistón no salte de los engranes y así no proporcione los golpes que se desean.

Los especímenes compactados y mezclado tienen las características que se muestran a continuación. Los especímenes son mostrados en las siguientes tablas que se encuentran orientadas horizontalmente, debido a que los cálculos se realizaron en una hoja de cálculo de Excel, y por lo tanto la orientación vertical, no cuenta con el espacio suficiente para que todos los datos se muestren en las tablas respectivas a cada una de las pruebas de compresión a las que son sometidos los especímenes, es decir, a compresión Marshall y compresión simple.



### Prueba Marshall

% EMUL.	golpes por cara	Alt. del espécimen. Cm.	peso en grs.	diametro	lectura del micrometro	Área (cm <sup>2</sup> )	volumen (cm <sup>3</sup> )	estabilidad (kgf)	factor de correccion.	estabilidad corregida	estabilidad promedio (kgf)	flujo (mm)
3	75	6.7	1100	10.16	19	81.073	543.192	728.05	0.93	677.0865	616.37733	
	75	6.6	1100	10.16	15	81.073	535.084	578.821	0.96	555.66816		
3.5	75	6.7	1100	10.16	23	81.073	543.192	877.28	0.93	815.8704	694.43472	
	75	6.7	1100	10.16	16	81.073	543.192	616.128	0.93	572.99904		
4	75	6.8	1100	10.16	17	81.073	551.299	653.435	0.89	581.55715	611.972675	
	75	6.7	1100	10.16	18	81.073	543.192	690.74	0.93	642.3882		

Tabla 16. En la tabla se muestra las características de las pastillas como lo es altura, factor de corrección, estabilidad corregida.

#### Constante del anillo.

La constante del anillo se obtiene por medio de una ecuación que es proporcionada, mediante la empresa que realiza la calibración de la máquina de compresión Marshall, la cual muestro a continuación.

$$L = bx + a$$

#### Donde:

L= lectura ajustada en (kgf)

como ejemplo para el primer valor es el siguiente.

x= lectura del instrumento

$$L = (3730.74 * 0.19) + 19.21$$

a= 19.21 valor al origen.

$$L = 728.05 \text{ (kgf)}$$

b= 3730.74 pendiente.

Como se observa así fueron obtenidos los valores de estabilidad.



**PRUEBA DE COMPRESIÓN SIMPLE.**

% EMUL.	golpes por cara	Alt. prom. (Cm.)	peso (grs.)	diámetro (cm)	lectura del micrómetro(mm)	área (cm <sup>2</sup> )	Estabilidad. (kgf)	estabilidad corregida (kg/cm <sup>2</sup> )
3	75	6.7	1100	10.16	22	81.07	941.15	11.609
3.5	75	6.7	1100	10.16	21	81.07	898.16	11.079
4	75	6.8	1100	10.16	20	81.07	855.17	10.549

Tabla 17. En la tabla se aprecia a la carga que fueron sometidas, antes de la deformación que sufrieron las pastillas, mediante compresión simple.

Constante del anillo.

$$L = bx + a$$

**Donde:**

L= lectura ajustada en (kgf)

x = lectura del instrumento.

a = -4.63 valor al origen.

b =42.99 pendiente.

Donde se obtuvieron los valores sustituyendo en la ecuación.

$$L = (42.99*22) + (-4.63)$$

$$L = 941.15 \text{ (kgf.)}$$

como se observa en el cálculo siguiente, de igual manera se obtienen

Para las siguientes pruebas, a compresión simple.



En la tabla anterior se aprecian distintos valores que intervienen en las pastillas como lo son altura peso de la muestra del material pétreo, el diámetro, que mediante el molde de 4" en la pastilla se obtiene el mismo con la compactación, compactación por cara, y la carga o estabilidad a la que son sometidas para su deformación. En la última columna de la prueba de compresión Marshall, se puede apreciar que es un promedio de las dos primeras cargas, ya que estas pastillas fueron sometidas en la máquina de compresión Marshall, y la tercera muestra o pastilla fue sometida a carga simple por lo que esta se encuentra con distinto color. Por lo que se presenta otra tabla de cálculo.

En la tabla 17, se aprecia la prueba de compresión simple, y se observan las características y resultados de la prueba mencionada, en esta prueba se tomo una pastilla de los proporcionamientos de 3,4y 4.5% de emulsión, debido a esta prueba de las tres pastillas realizadas con cada proporción no fueron sometidas a la prueba de compresión Marshall, ello para observar los comportamientos que resultan de los cálculos.



Figura 41. En la imagen se aprecian las 9 pastillas que se realizaron para el estudio mediante los porcentajes de emulsión en estudio.



Figura 42. En la imagen se aprecia la colocación de las pastillas dentro de la maquina a compresión Marshall.

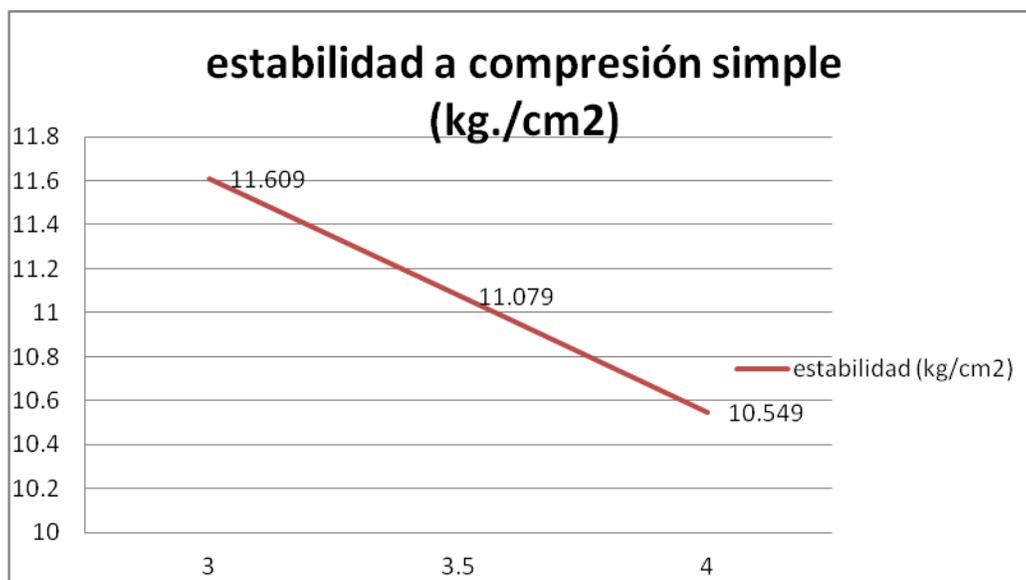


Figura 43. En la imagen se muestra la máquina de compresión Marshall, y la deformidad que adquieren las pastillas en la aplicación de carga de esta máquina.



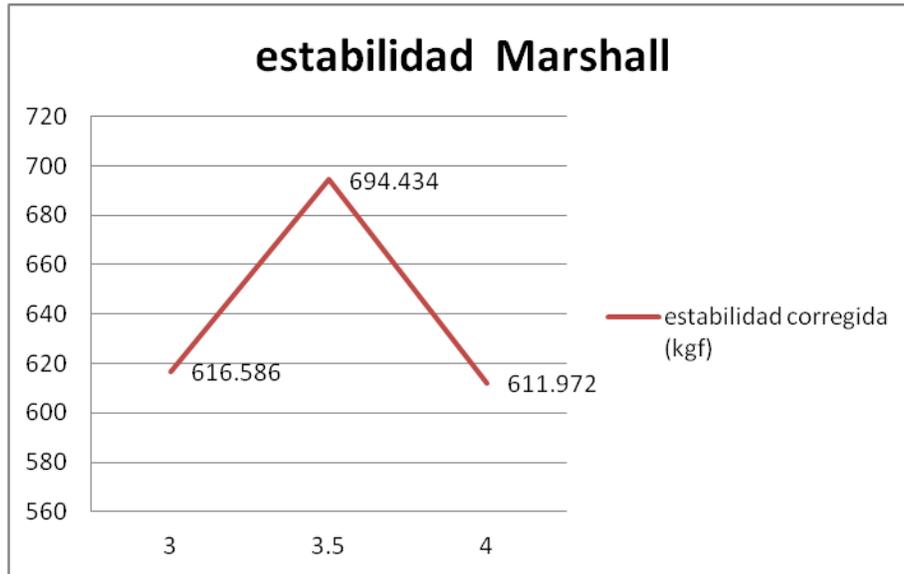
Figura 44. En la imagen se aprecian las pastillas que sufrieron una deformación ya una vez aplicada la carga con la maquina Marshall y a compresión simple.

A continuación se muestran las graficas que arrojan las pastillas ya sometidas a carga de compresión Marshall y compresión simple.



Grafica 1. Relación compresión simple.

En la grafica anterior se muestra el comportamiento de las 3 pastillas que fueron sometidas a compresión simple, para cada porcentaje de emulsión como se aprecia.



**Grafica 2.** Se muestran los valores del resultado a la compresión Marshall.

En la grafica anterior se muestra el comportamiento que sufren las pastillas en estudio, las cuales fueron sometidas a una carga en la maquina de compresión Marshall. Donde se aprecia que el contenido optimo de asfalto que cumple es el 3.5 % de emulsión.

Características	Valor	
	$\Sigma L \leq 10^6$ [1]	$\Sigma L > 10^6$ [1]
Compactación; número de golpes en cada cara de la probeta	50	75
Estabilidad; N (lb), minimo	4 410 (990)	6 860 (1 540)
Flujo; mm ( $10^{-2}$ in)	2 – 4,5 (8 – 18)	2 – 4 (8 – 16)

[1]  $\Sigma L$  = Número de ejes equivalentes acumulados, de 8,2 t, esperado durante la vida útil del pavimento.

**Figura 45.** En la imagen se aprecian los valores que debe de cumplir el estudio de las pastillas.



Como se puede apreciar las pastillas deben de cumplir con una estabilidad de 6680 N, ó 699.5253 Kgf., que como se aprecia en las tablas anteriores y graficas el 3.55% cumple ya que a compresión Marshall este porcentaje da resistencia de 746.7 kgf. Por lo que se puede apreciar y comparar según los requerimientos que este punto cumple. Y el flujo se encuentra entre los 4 mm.



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

En las actividades que un ingeniero civil desempeña como profesional de la construcción se encuentra la de construir obras de infraestructura como lo es en carretera las cuales son de gran importancia para el desarrollo de un país, así como lo es en otras actividades que pueden ser construcción de edificios, aeropuertos, muelles, ect., es por esto que su impacto se ve reflejado primero en la generación de empleos en la región así como a nivel general del país en el proceso constructivo, en la compra de los materiales así como la contratación del personal que labora en las oficinas de la empresa, en el campo y distintas actividades que genera la construcción, haciendo con ello una cadena productiva en la cual muchas personas se ven beneficiadas tan solo en el proceso constructivo. Sin embargo un aspecto no menos importante es el impacto económico-social que la misma obra tendrá al pasar de los años, tanto por las mercancías y personas que trasladaran por la misma, hasta el costo de mantenimiento que dicha obra tendrá en su vida útil, es por esto que puedo decir que una obra de este tipo no solo debe ocuparnos como ingenieros civiles es los momentos de el diseño y construcción, sino también después de que se han terminado los trabajos de construcción, haciendo una supervisión y dando el mantenimiento adecuado para con ello dar si no más tiempo del proyectado a su vida útil, si la misma vida útil para la que fue proyectada.

Cabe hacer mención que una programación de obra basada a las necesidades del proyecto y que no esté desligada a las capacidades técnico-financieras de la empresa o bien del contratista será de gran ayuda, pues bien será la guía para el encargado de obra y que a su vez deberá ser transmitida a sus empleados no dejando de lado un uso correcto del lenguaje para dar las instrucciones a quien se deban, todo esto sumado a la planeación y programación de los trabajos seguramente se tendrán resultados excelentes.

El estudio y diseño de cualquier proyecto que este por ejecutarse, se debe tener un control ya sea de calidad, y control en las pruebas que se realizan para su diseño que en este caso en especial, el control para las pruebas, es la revisión y aplicación de cada una de las normas que intervienen, normas que son proporcionadas por la SCT. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Mediante las cuales se manejan y aplican normas y manuales para realizar distintos proyectos o estudios. Los cuales deben cumplir con lo que las mismas marcan ya que de lo contrario la obra en ejecución puede estar sujeta a multas, o inclusive que la obra en ejecución sea suspendida, o como también se conoce que las autoridades paren la obra.

En el diseño de la base estabilizada se cumplieron con los requisitos que señalan las normas y manuales de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, así como los distintos manuales que intervienen, las prácticas para el diseño fueron realizadas con equipo que se



cuenta en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, en el laboratorio de materiales que cuenta la facultad de ingeniería civil.

Como ultimo y recomendación, se requieren distintos ensayos y pruebas para la realización de proyectos ya sean estos innovadores o de los que ya se encuentran registros, para la ejecución es necesario cumplir con lo que se estipula en las normas, ya que son estas las que regulan y autorizan las construcciones que se realizan en el país, así mismo estas son las encargadas de que las obras tengan el visto bueno y puedan ejecutarse o llevarse a cabo, pero también las mismas pueden evitar la ejecución de la obra si esta no cumple con los requisitos mínimos que pueden ser de seguridad, para el cliente o las personas que tendrán uso de esta construcción. Este organismo tiene o cuenta con los datos que se registran en las diferentes partes o estados del país, por lo que también se puede observar que recomienda utilizar algún cemento asfáltico en especial para la zona, esto debido a las temperaturas que se registran en las zonas donde se ejecutaran las obras. Por lo que se sugiere cumplir con cada requisito que marcan las normas que serán empleadas según el estudio o construcción que este por ejecutarse o se planea llevar a cabo, ello para evitar como antes se menciono multas o inclusive que la obra sea parada por no cumplir. Los puntos o requisitos que se manejan en las normas son para el mejoramiento de las obras, es decir que las obras cumplan con lo que se proyecta ya sea en cuanto al tiempo o vida útil, o las resistencias que debe de cumplir como mínimo en la ejecución. En las normas se marcan valores mínimo pero no impide que la resistencia que estos arrojen sean mayores, esto solo implicaría que al constructor aumente en los gastos, por ello tener pérdidas.



## BIBLIOGRAFÍA

- ↪ **Vías de comunicación, Caminos, Ferrocarriles, Aeropuertos, Puentes y Puertos** - Ing. Carlos Crespo Villalaz - Ed. Limusa
- ↪ **Normas Para Muestreo y Pruebas de Materiales, Equipos y Sistemas, Carreteras y AEROPISTAS. Pavimentos (II)** - Libro 6, Tomo I y Tomo II - Secretaría de Comunicaciones y Transportes
- ↪ **Emulsiones asfálticas** - Ing. Gustavo Rivera E. - ed. 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. Luis Becerra Magaña - Ed. Luysil de México, S.A.
- ↪ **Caminos 5ª edición Tomo I: Estudio y Construcción de la Explanación** - J. Luis Escario, Ventura Escario, Enrique Balaguer - Ed. Publicaciones de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y puertos, Madrid.
- ↪ **N-CTM-4-02-003/04 Materiales para bases y subbases.** Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México.
- ↪ **N-CTM-4-05-02-001/00. Calidad de materiales asfálticos.** Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México.
- ↪ **M-MMP-4-04-002/02. Equivalente de arena.** Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México.
- ↪ **M-MMP-4-04-005/02. Partículas largadas y lajeadas.** Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México.

