



Universidad Michoacana De San Nicolás de Hidalgo



Facultad de Ingeniería Civil

“Uso de polvo de neumático en mezclas asfálticas elaboradas con emulsión”

Trabajo recepcional en la modalidad de:

Tesis

Para obtener el título de:

Ingeniero Civil

Presenta:

Alejandro Ruiz Figueroa

Asesor:

Doctor en Vías Terrestres Mario Salazar Amaya

Morelia, Mich.

Mayo 2014

Índice

Resumen.....	2
Abstract.....	3
Capítulo I: Introducción.....	4
1.1.- Antecedentes generales.....	5
1.2.- Planteamiento del problema.....	5
Capítulo II: Generalidades.....	6
2.1.- El asfalto.....	7
2.2.- Las Emulsiones.....	9
2.3.- Las emulsiones asfálticas.....	11
Capítulo III: Pruebas de laboratorio.....	13
3.1.- Ubicación del banco de materiales “Los Nogales”.....	14
3.2.- Pruebas de Laboratorio de materiales bituminosos.....	15
3.3.- Pruebas en emulsiones Asfálticas.....	33
Capítulo IV: Diseño y prueba de ejemplares 61	
4.1.- Calculo de porcentaje de material pétreo para pastillas de prueba.....	62
4.2.- Calculo del contenido mínimo de la emulsión asfáltico.....	65
4.3.- Calculo de diseños de pastillas de prueba con los contenidos mínimos.....	70
4.4.- Diseño y prueba de pastillas con contenidos mínimos.....	71
Capítulo V: Conclusión y recomendación.....	85
5.1.- Conclusión.....	86

Resumen.

En el presente trabajo se pretende conocer el uso de polvo de neumático con las emulsiones asfálticas y así saber el comportamiento de este al ser saturado en agua y comparar resultados de este caso.

Es de suma importancia dar a conocer que el material usado para la creación de los especímenes fue revisado minuciosamente, todo este basado en la normativa que nos da a conocer la SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transporte). Obteniendo los resultados necesarios para que cumpla con lo especificado.

Todo esto nos permitió obtener datos de suma importancia y que nos da la capacidad de juzgar el comportamiento de dicho material y que los datos obtenidos sean confiables en su totalidad.

Finalmente pudimos observar el comportamiento de la emulsión junto con el polvo de neumático y desarrollar una conclusión que nos permita dar un veredicto final.

Palabras clave:

- Emulsión
- Granulometría
- Contenido mínimo
- Contenido optimo
- Resistencia

Abstract

In the present document is to study the use of dust of tire with asphalt emulsions and thus know the behavior of this to be saturated in water and compare results from this case.

It is critical to acknowledge that the material used for the creation of the specimens was reviewed carefully, based on all this legislation gives us to see the SCT (Secretariat of Communications and Transportation). Obtaining the results needed to comply with the specification.

This allowed us to obtain important data and gives us the ability to judge the behavior of the material and that the data obtained are reliable in its entirety.

Finally, we observed the behavior of the emulsion with crumb rubber and develop a conclusion that allows us to give a final verdict.

Keywords

- Emulsion
- Granulometry
- Minimum content
- Optimal Content
- Resistance

Capítulo I: Introducción

1.1.- Antecedentes Generales

En las últimas dos décadas, mucho esfuerzo científico y tecnológico se ha dedicado al desarrollo de materiales asfálticos para la construcción de carreteras, ya que las especificaciones de éstas son cada día más estrictas. La tecnología en materia asfáltica se ha enfocado al desarrollo de carpetas asfálticas con mayor duración, con menor huella al paso de vehículos, mayor repelencia al agua (alta hidrofobicidad), mayor resistencia a la radiación ultravioleta, mayor resistencia a la lluvia, mayor agarre con la llanta, mejor adhesión entre el asfalto y el material pétreo, mayor facilidad para la reparación de baches, reparación de baches a baja temperatura, etc. Todas estas condiciones impuestas al asfalto (ya sea modificado o no) dan como resultado una intensa investigación en este campo desarrollando nuevos materiales asfálticos, así como nuevas formas en las cuales el asfalto modificado puede ser aplicado al sustrato pétreo.

El asfalto modificado se ha convertido últimamente en la mejor opción para la fabricación de carpetas asfálticas de alto desempeño. Se sabe que para este tipo de aplicación los niveles de concentración del polímero son relativamente bajos: del 2 al 3% cuando se usa SBS (estireno-butadieno-estireno), y del 4 a 8% cuando se usan poli-olefinas amorfas del tipo APP (polipropileno amorfo). El problema que se presenta es que para estos bajos niveles de concentración el polímero puede separarse del asfalto por falta de estabilización. Esta separación surge debido a la diferencia en densidades entre el asfalto y el polímero.

1.2.- Planteamiento del Problema

El problema que se pretende resolver con esta investigación es el uso de polvo de neumático junto con la mezcla en frío (emulsión asfáltica) y conocer su comportamiento en cuanto a saturación de sus partículas.

Esto nos permitirá conocer si es apta la adhesión de este material en la granulometría y ver si ayuda en la resistencia de la carpeta a la hora de colocarse en campo y ver como se deformara.

Con esto poder hacer un correcto y óptimo trabajo si es que cumple con las especificaciones que se buscan encontrar en sus resultados finales.

Capítulo II: Generalidades

2.1.- El asfalto

Como ya mencionamos anteriormente, el asfalto es un material de los llamados termoplásticos, el cual es muy complejo desde el punto de vista químico ya que es obtenido como el residuo en el proceso de refinación del petróleo crudo. Esto hace que el control de calidad de este material sea pobre, además de que sea una mezcla muy compleja de estructuras químicas complicadas. Sin embargo, este es un material de suma importancia para la industria de la construcción por sus propiedades de consistencia, adhesividad, impermeabilidad y durabilidad, y sobre todo por el bajo costo ya que, como mencionamos, es el residuo en el proceso de refinación del petróleo.

El asfalto tiene varios nombres como: asfalto o bitumen, nafta-betunes, betún, cemento asfáltico, chapopote. Este producto fue conocido alrededor del año 2500 a. C. en Egipto, aunque en esa época no se usaba en la construcción de caminos.

El asfalto tiene una gran variedad de aplicaciones; las que podemos mencionar: carpetas asfálticas, adhesivos, sellantes, impermeabilizantes, mastiques, etc. Los volúmenes de uso del asfalto son muy grandes, sobre todo en lo referente a la fabricación de carpetas asfálticas en donde es, sin duda, el material más importante. El amplio uso del asfalto en la construcción de carreteras es debido, en gran medida, a su bajo costo y a sus propiedades de hidrofobicidad y una relativa resistencia al intemperismo.

Como se ha mencionado en reportes anteriores, el asfalto puede ser descrito como una mezcla compleja de hidrocarburos, por lo que su análisis químico se reporta en términos de dos fracciones principales; la primera se refiere a la fracción pesada, denominada asfaltenos cuyo peso molecular se encuentra entre 4000 y 7000, y la fracción ligera denominada como maltenos con pesos moleculares de 700 a 4000. A su vez la parte malténica puede subdividirse en tres fracciones principales siendo éstas las siguientes: parafinas con pesos moleculares de 600 a 1000, resinas de 1000 a 2000 y aceites aromáticos de 2000 a 4000. Los constituyentes del asfalto interactúan entre sí formando un fluido complejo, el cual exhibe un complicado comportamiento viscoelástico. El comportamiento del asfalto depende de su composición química, la cual depende a su vez de la fuente de procedencia y del proceso de refinación.

El asfalto es un material anisotrópico, discontinuo e inhomogéneo; este material es considerado como un material coloidal, formado por micelas de tamaños cercanos

a la micra (fase asfáltica), las cuales están suspendidas en una fase aceitosa de alta viscosidad (fase malténica).

La micro-estructura del asfalto queda definida por la cantidad de micelas (o sea la fracción de asfaltenos respecto a los maltenos), la distribución de tamaños de las partículas que forman la fase discreta y por las interacciones físicas y químicas entre ellas. Estas interacciones son las responsables de que el asfalto forme una red tridimensional más o menos desarrollada, la cual determina tanto su naturaleza elástica como viscosa.

El asfalto es muy susceptible a los cambios de temperatura y sufre envejecimiento por intemperismo para largos tiempos de exposición; es también afectado por la oxidación y la foto-degradación. Respecto a sus propiedades mecánicas éstas son muy pobres ya que es quebradizo a bajas temperaturas y fluye a temperaturas un poco arriba de la temperatura ambiente; tiene además una baja recuperación elástica. Todos estos factores limitan ampliamente su rango de utilidad.

Por estas razones este material tiene que ser aditivado o modificado para mejorar substancialmente sus propiedades. Una de las formas de mejorar las propiedades del asfalto es oxidándolo, ya que este procedimiento aumenta su peso molecular y su viscosidad, reduciendo sus propiedades de flujo; sin embargo, estudios diversos han mostrado que la modificación con polímero es preferible si se quieren mejorar substancialmente sus propiedades mecánicas, en especial su recuperación elástica, aunque el costo de este procedimiento es considerablemente mayor.

La modificación del asfalto con hule se lleva a cabo añadiéndole a éste, a una temperatura alta (entre 180 y 200 °C) y con altos esfuerzos de corte, polímeros elastoméricos, o sea del tipo huloso

Esta red polimérica tridimensional llena de asfalto, parcialmente hinchada por los ligeros del asfalto, proporciona al compuesto una mayor temperatura de servicio y también incrementa el intervalo de esfuerzos a que este material compuesto puede ser sujeto. Este mejoramiento no es obtenido cuando el asfalto es simplemente oxidado, ya que solo se vuelve más duro, o sea, aumenta el contenido de pesados (asfaltenos).

Las características físicas resultantes del compuesto obtenido a partir de una mezcla asfalto-polímero dependen del tipo de asfalto, de la cantidad y tipo de polímero, de la compatibilidad entre los constituyentes, del proceso de mezclado y de las historias térmicas de los materiales. Para asfaltos usados con polímeros, es conveniente que éstos tengan bajos contenidos de asfaltenos (fase pesada) y deben poseer suficiente cantidad de aceites aromáticos para disolver al polímero a

las temperaturas de mezclado y obtener la morfología apropiada para la aplicación particular.

Los asfaltos oxidados son poco recomendados para ser usados en carpetas asfálticas, ya que poseen contenidos altos de asfaltenos debido a la oxidación de las resinas y aceites que se convierten en asfaltenos. Generalmente se pueden distinguir dos tipos de mezclas asfalto-polímero: una consiste en un mezclado mecánico en donde la estructura de la red está formada por uniones físicas (geles físicos) y otra que involucra una reacción química entre los componentes y por lo tanto la red está formada por uniones químicas (geles químicos).

Para que se logre la morfología apropiada, o sea aquella en la cual se tenga una red tri-dimensional de polímero rellena de asfalto, el polímero debe tener cierto grado de compatibilidad con el asfalto, de tal forma que no ocurra una completa separación de fases ni una completa disolución de un medio en el otro, ya que en este caso las propiedades del sistema asfalto-hule no son mejoradas; esta compatibilidad parcial se logra mediante la disolución parcial del polímero por los aceites malténicos del asfalto.

Para extender el rango de aplicaciones del asfalto, es necesario conocer la manera en que el polímero está interactuando con él. Una de las formas de conocer el grado de compatibilidad entre estos dos materiales es visualizando la micro-estructura del compuesto; asimismo, otra forma de inferir esta compatibilidad es a través de las respuestas térmicas del sistema (determinando el comportamiento de la T_g) o las viscoelásticas (determinando el comportamiento de $\tan \delta$) del material compuesto.

2.2.- Las Emulsiones

Podemos definir una emulsión como una dispersión fina más o menos estabilizada de un líquido en otro, los cuales son no miscibles entre sí y están unidos por un emulsificante, emulsionante o emulgente. Las emulsiones son sistemas formados por dos fases parcial o totalmente inmiscibles, en donde una forma la llamada fase continua (o dispersante) y la otra la fase discreta (o dispersa).

Generalmente el tamaño de la fase discreta tiene alguna dimensión lineal entre 1 nanómetro y 1 micra. Son estos tamaños tan pequeños los que le dan a las emulsiones sus importantes e interesantes propiedades. La ciencia que trata con las emulsiones es multidisciplinaria, ya que involucra física, química, biología, etc.

Existen varios tipos de dispersiones de partículas de diferentes tamaños en diferentes tipos de medios; entre estas dispersiones se encuentran las

emulsiones, las cuales son dispersiones de un líquido en otro. En la siguiente Tabla se muestran los diferentes tipos de suspensiones que existen:

Fase Continua	Fase Discreta	Sistema
Gas	Líquido	Aerosoles, Niebla, Rocío
Gas	Sólido	Smoke, Aerosol
Líquido	Gas	Espuma
Líquido	Líquido	Emulsión , Solución Coloidal
Líquido	Sólido	Sol, Solución Coloidal, Gel, Suspensión
Sólido	Gas	Espumas Sólidas (piedra poma), Zeolitas
Sólido	Líquido	Gel, Emulsión Sólida
Sólido	Sólido	Aleación

Lo importante de las emulsiones no es la composición química de la muestra (ya sea orgánica o inorgánica), ni su origen (mineral o biológico), ni su estado físico (una fase o más); es su tamaño la característica importante. Consecuentemente, podemos decir que a la ciencia de las emulsiones le interesan las moléculas grandes y los sistemas macroscópicos subdivididos muy finamente, ya sea mono- o multi-fásicos.

Las áreas de aplicación de las emulsiones son:

En Física: Nucleación, metalurgia, aleaciones, cerámicas, cementos, polímeros, filtros, aerosoles, espumas, electroforésis, tratamiento de aguas, purificación de agua, recuperación de petróleo, etc.

En Química: Fenómenos de absorción, intercambio iónico, cromatografía GPC, nefelometría, ósmosis, catálisis, detergentes y jabones, pinturas, adhesivos, tintas, emulsificantes, colorantes, papel, lubricantes, recubrimientos, pigmentos, espesantes, etc.

En Biología: Micro-encapsulación, virus, proteínas, ácidos nucleicos, hematología, alimentos, cosméticos, saborizantes, etc.

Podemos mencionar que existen dos tipos de emulsiones:

- Emulsiones formadas por macromoléculas en solución (sistemas de una fase)
- Emulsiones formadas por materia finamente dividida (sistema de 2 o más fases)

Las emulsiones las podemos dividir en:

- Liofílicas: si a la partícula le gusta el solvente
- Liofóbicas; si a la partícula no le gusta el solvente.

Si el medio es agua, entonces:

- Liofílico = Hidrofílico y Liofóbico = Hidrofóbico.

Las emulsiones liofílicas son verdaderas soluciones (desde el punto de vista termodinámico), por lo que no es fácil hablar de la superficie de la emulsión. Por el contrario, para emulsiones liofóbicas, debido a la diferencia de fases entre las partículas en la emulsión y el medio donde se encuentran dispersas, no existe ningún problema para definir la superficie de la emulsión. Por lo tanto, el concepto de superficie sólo es aplicable a sistemas multifásicos.

2.3.- Las emulsiones asfálticas

En el caso de emulsiones asfálticas, los líquidos no miscibles son el agua y el asfalto. Adicionalmente se tiene el emulgente el cual se deposita en la inter fase entre el agua y el asfalto y estabiliza la emulsión; éste depende del tipo de emulsión que se requiera.

Las emulsiones del tipo asfáltico aparecieron en el mercado a principios del siglo XX en diferentes lugares y con usos muy diversos. A principios de 1900 (en 1905) se empleó por primera vez una emulsión asfáltica en la construcción de carreteras en la ciudad de Nueva York; la emulsión utilizada es del tipo aniónica y se empleó en lugar de los usuales caminos fabricados con material pétreo, como una alternativa para evitar el polvo cuando transitaban los vehículos.

En 1914 el estado de Indiana comenzó a realizar trabajos de reparación de caminos empleando estas emulsiones aniónicas. En ese mismo año, en Hamburgo, Alemania, se construyó una carpeta asfáltica con un tratamiento superficial de varias capas, empleando una emulsión estabilizada la cual reacciona activamente con la arcilla del substrato pétreo.

Las emulsiones aniónicas se comenzaron a emplear en Europa en 1925. En la fabricación de éstas se aprovecharon los ácidos nafténicos contenidos en el asfalto para que actuaran como el agente emulsificante en el momento de agregar agua con sosa cáustica al sistema y someterlo a una vigorosa agitación.

Las emulsiones asfálticas se comenzaron a utilizar en México de 1930 a 1935 para la construcción de caminos. El gran inconveniente que tuvieron fue el largo tiempo de rompimiento de la emulsión, que en la época de lluvias causaba

muchos retrasos y graves problemas de construcción. Por este motivo, los asfaltos rebajados ganaron la preferencia del constructor y hasta la fecha, no han podido ser desplazados totalmente.

Las emulsiones asfálticas catiónicas aparecieron en Europa en 1953 y en Estados Unidos hasta 1958. Aparentemente, su aplicación inicial en la construcción de caminos coincidió con la aparición de nuevos productos químicos tenso-activos en el mercado, los cuales tienen, adicionalmente, otros usos como en el campo de las pinturas, en la industria petrolera, en la industria textil, etc.

Al principio, tales emulsiones se usaron únicamente en la construcción de tratamientos superficiales, como riego de liga y de sello. Al reconocerse la ventaja de las emulsiones catiónicas sobre las aniónicas y los rebajados, se inició la búsqueda de un emulsificante que produjera una emulsión de rompimiento lento, capaz de mezclarse con una granulometría para base o para carpeta.

Las emulsiones catiónicas se conocieron en México en el año de 1960. En ese año se hicieron varias pruebas y los ingenieros mexicanos presentaron en el Congreso Panamericano de Carreteras en Bogotá, Colombia, un trabajo titulado: "Primeras investigaciones realizadas en México con emulsiones asfálticas catiónicas".

En 1973, los países árabes, poseedores de la mayoría del petróleo mundial, aumentaron el valor del barril de petróleo crudo resultando afectados los derivados del mismo, entre ellos los solventes empleados en los asfaltos rebajados; esto provocó un incremento en el uso mundial de las emulsiones asfálticas.

Los países con mayor producción de emulsiones asfálticas son, en orden de importancia: Estados Unidos, Francia, España y Japón. Entre estos cuatro países se fabrica un 40% aproximadamente de la producción mundial de emulsión asfáltica, que se estima actualmente próxima a los dieciséis millones de toneladas, de la que más del 85% es del tipo catiónico.

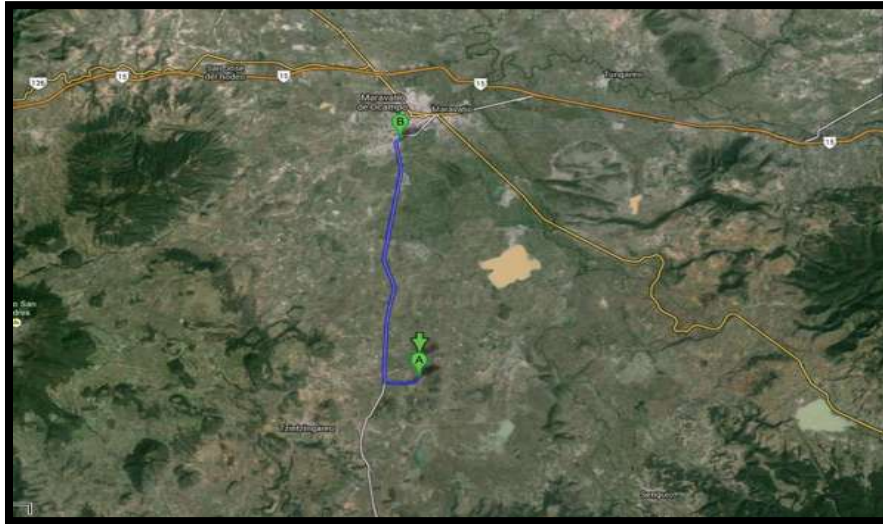
Capítulo III:

Pruebas de Laboratorio

3.1.- Ubicación del banco de materiales “Los Nogales”

El banco que se eligió para su estudio, se encuentra en ciudad de Maravatio en el estado de Michoacán y se le conoce con el nombre de “Los Nogales”, del cual obtendremos las características para saber si cumple con la normativa de la SCT.

El banco de materiales se encuentra en la carretera Maravatio – Ciudad Hidalgo, a 14.00 km de distancia con un tiempo estimado de llegada desde el Maravatio de 20 minutos.



El banco se encuentra en la latitud $19^{\circ}47'2.28''\text{N}$ y con longitud $100^{\circ}26'29.37''\text{O}$, a una altura sobre el nivel del mar de 2555m. A continuación se mostrara una imagen satelital del sitio en estudio obtenida mediante Google Earth.



3.2.- Pruebas de Laboratorio de materiales bituminosos

Para el inicio de trabajo en el laboratorio, las pruebas se dividirán en dos partes, que son las pruebas en el material pétreo del banco antes mencionado y de la emulsión asfáltica

A continuación se conocerán primeramente todas las pruebas realizadas al material pétreo. Dichas pruebas fueron realizadas conforme a la normativa de la SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transporte) en la sección de carreteras, donde se encuentran todas las especificaciones de los procedimientos realizados.

Las pruebas a realizar son las siguientes:

- 1.- Muestreo de materiales pétreos
- 2.- Granulometría del material pétreo
- 3.- Peso volumétrico seco y suelto en materiales pétreos (P.V.S.S.)
- 4.- Desgaste mediante la prueba de los ángeles de materiales pétreos
- 5.- Equivalente de arena de materiales pétreos
- 6.- Densidad y absorción en materiales pétreos

1.- Muestreo de materiales pétreos

A.- Objetivo

Consiste en obtener una porción representativa del volumen de material pétreo en estudio. Se realiza directamente en los bancos de explotación, en almacenes de materiales o durante las maniobras de carga y descarga. El muestreo incluye además de operaciones de envase, identificación y transporte de las muestras.

B.- Equipo

El equipo necesario para la realización de la prueba es el siguiente:

B.1.- Pala

De lámina galvanizada o de plástico

B.2.- Costal

De polietileno reforzado o de hilado de nylon, limpio y resistente para soportar el contenido, el amarre de su extremo y el manejo del mismo.

D.3.- Cajón

Limpio y seco, con la capacidad y resistencia suficientes para contener las muestras parciales.

C.- Procedimiento de la prueba

Como se realizó muestreo en banco, y el material se encuentra separado por tamaños, es un material heterogéneo se tomara una muestra de 50 kg por cada 10000 m³.



En caso de que la muestra sea mayor al requerido, se reduce el tamaño de la muestra por medio del cuarteo, esto consiste en dividir la muestra con la ayuda de la pala en 4 partes y de las cuales se tomas dos que sean opuestas hasta que se alcancen los 50 kg.

Las muestras se envasan en los costales los cuales deben estar limpios antes de ser sellados. Las muestras no deben contaminarse con polvo u otras materias extrañas. Los costales deben quedar llenos y bien amarrados, para evitar pérdidas o alteración de su contenido.



Las muestras se identifican mediante dos etiquetas, una en el interior y otra sujeta al exterior. Dichas etiquetas serán resistentes al manejo de la muestra, llenadas con letra legible, a tinta; al colocarse se tendrán las precauciones necesarias para evitar la perforación o rotura de los costales.

Para transportar las muestras del sitio al laboratorio, se acomodan en el vehículo de tal modo que se eviten golpes que provoquen la perforación o rotura de los costales, así como la contaminación, alteración o pérdida del material. Una vez en el laboratorio las muestras fueron extendidas para extraer la humedad del material y posteriormente fueron almacenadas dentro de una bodega techada, cerrada, limpia y seca, sobre una tarima que permita el paso del aire.

D.- Resultado de la prueba

Los pasos anteriores se llevaron a cabo para obtener las muestras requeridas para su estudio en el laboratorio, las cuales fueron obtenidas y guardadas como lo mencionamos anteriormente.

2.- Granulometría del material pétreo

A.- Objetivo

Esta prueba nos permite conocer la composición de tamaños (granulometría) de las partículas del material que se empleara, mediante su paso por una serie de mallas con aberturas determinadas. El paso del material se hace primero a través de las mallas con abertura mayor, hasta llegar a las más pequeñas, de tal forma

que los tamaños mayores se van reteniendo, para así poder obtener la masa que se retiene en cada malla.

B.- Equipo

El equipo necesario para la realización de la prueba es el siguiente:

B.1.- Juego de mallas (cribas)

Fabricadas de alambre de bronce o de acero inoxidable de diversos calibres, tejidos en forma de cuadrícula, con abertura determinada conforme lo indica las siguientes tablas:

Juego de mallas para grava:

Designación	Abertura mm
2"	50
1½"	37,5
1¼"	31,5
1"	25
¾"	19
½"	12,5
⅜"	9,5
¼"	6,3
Nº4	4,75

Juego de mallas para arena con finos:

Designación	Abertura mm
Nº10	2
Nº20	0,85
Nº40	0,425
Nº60	0,25
Nº100	0,15
Nº200	0,075

B.2.- Maquina agitadora para las mallas

De acción mecánica, activada por un motor eléctrico o manivela de velocidad constante, mediante el cual se transmita un movimiento excéntrico a un plato de soporte, sobre el que se sujetan las mallas en orden descendente.

B.3.- Cucharón

De acero galvanizado de 20 cm de largo, 11 cm de ancho y 10 cm de altura, formando un cajón rectangular con cuatro caras, cuya cara menor tenga un mango metálico de sección circular de 13 cm de largo.

B.4.- Charolas

De lámina galvanizada, de forma rectangular de aproximadamente 40 x 70 x 20 cm y de forma circular de 206 mm de diámetro y 68 cm de altura.

B.5.- Tapas para las charolas

De forma circular, que embonen perfectamente con el bastidor de las mallas.

B.6.- Brocha

Con las dimensiones y cerdas adecuadas para desprender el material que se adhiera al interior del cubo de láminas y las mallas.

B.7.- Pala

De acero, de forma cuadrada.

C.- Procedimiento de la prueba

Se tomó una muestra representativa de todo el material, el cual previamente ya había sido secado, el cual se colocó en un recipiente con un peso de 2.905 kg y al ser llenado tubo un peso final de 15.215 kg. Haciendo la resta se tiene un peso del material final de 12.310 kg.



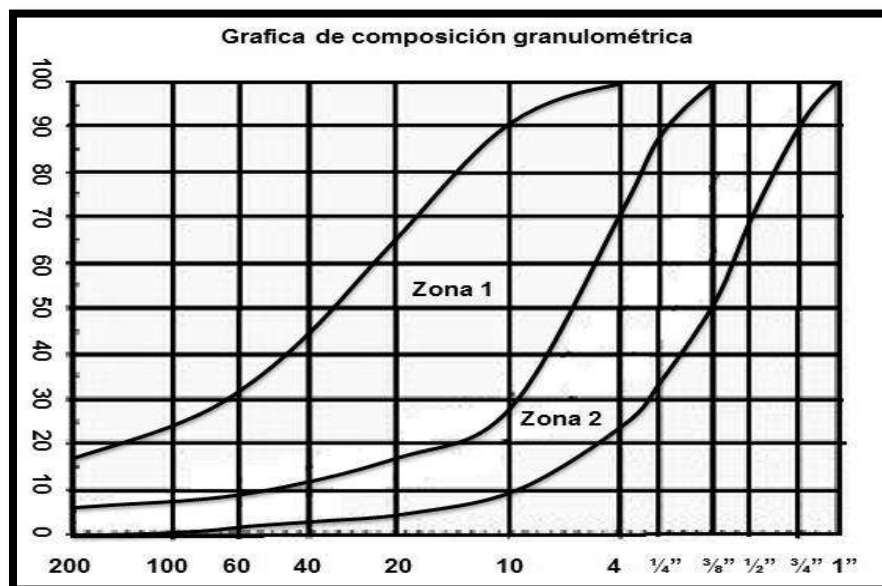
A continuación se cribara todo el material primeramente por las mallas de las gravas (de 2" a la N° 4), una vez realizado esto se tomara el peso del material retenido en cada una de las mallas, el peso final debe ser el mismo que el inicial con una pequeña variación debido a las perdidas.



Para el cribado de la arena con finos (material que pasa la malla N° 4) se tomara el material restante que pasa la malla antes mencionada y se criba. Al igual que con las gravas se pasara a través de distintas mallas (N° 10 a malla N° 200), realizado esto se obtendrá el peso del material retenido en cada malla, el peso final debe ser el del inicio, con una pequeña variación debido a las perdidas.



Teniendo los datos de todas las mallas, se llevara a cabo el llenado de la siguiente grafica la cual nos indica los parámetros que requiere cumplir el material en cuanto a la composición granulométrica.



Zona 1: Representa una granulometría más abierta ya que contiene mayor cantidad de material grueso.

Zona 2: Representa una granulometría más cerrada ya que las mallas que quedan comprendidos dentro de la zona son las de menor abertura.

D.- Resultado de la prueba

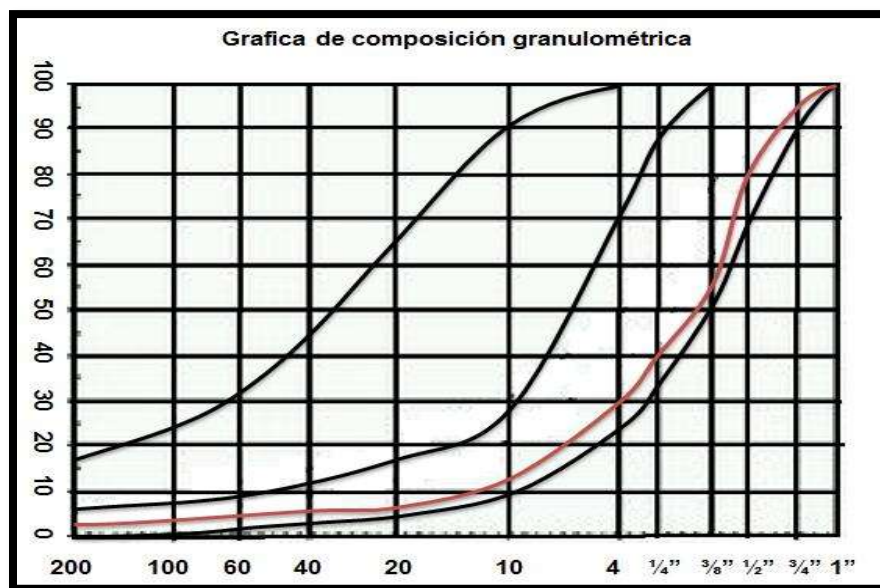
Una vez realizado todo el cribado del material tanto de los gruesos como de las arenas con finos, se obtuvo como resultado las siguientes tablas:

Granulometría gravas				
Malla N°	Peso retenido (kg)	% retenido	% retenido acumulado	% que pasa la malla
2"	0.000	0.000	0.000	100.000
1 1/2"	0.000	0.000	0.000	100.000
1 1/4"	0.000	0.000	0.000	100.000
1"	0.000	0.000	0.000	100.000
3/4"	0.607	5.017	5.017	94.983
1/2"	1.825	15.070	20.087	79.913
3/8"	3.022	24.962	45.049	54.951
1/4"	1.829	15.107	60.156	39.844
N° 4	1.235	10.201	70.357	29.643
Pasa N° 4	3.589	29.643	100.000	0.000

Total	12.108	100.000		
-------	--------	---------	--	--

Granulometría arenas y finos				
Malla N°	Peso retenido (kg)	% retenido	% retenido acumulado	% que pasa la malla
10	2.117	17.485	17.485	12.158
20	0.479	3.956	21.441	8.202
40	0.273	2.258	23.699	5.944
60	0.109	0.900	24.599	5.044
100	0.133	1.098	25.697	3.946
200	0.248	2.050	27.747	1.896
Pasa 200	0.230	1.896	29.643	0.000
Total	3.589	29.643		

Teniendo todos estos datos procedemos a llenar la gráfica de granulometría con los datos anteriores, donde se observara el comportamiento del material:



Se puede observar en la gráfica como está dentro de los parámetros indicados, por lo que se toma como una correcta granulometría.

3.- Peso volumétrico seco y suelto en materiales pétreos (P.V.S.S.)

A.- Objetivo

Conocer la relación entre el peso natural de un material en estudio y el volumen ocupado del mismo, y nos permite conocer el consumo de agregados por metro cubico (m^3).

B.- Equipo

El equipo necesario para la realización de la prueba es el siguiente:

B.1.- Báscula

Con aproximación de 5 gr.

B.2.- Cucharón

De acero galvanizado de 20 cm de largo, 11 cm de ancho y 10 cm de altura, formando un cajón rectangular con cuatro caras, cuya cara menor tenga un mango metálico de sección circular de 13 cm de largo.

B.3.- Cubo o tara

Con un volumen y peso indicado o conocido previamente.

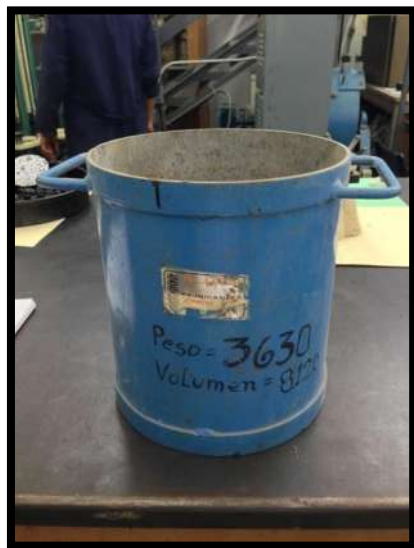
B.4.- Pala

De lámina galvanizada o de plástico

C.- Procedimiento de la prueba

Se coloca la muestra en un área la cual este limpia para evitar la contaminación de la muestra en estudio, y una vez confirmado esto se tiende el material formando un cono. Se realiza el cuarteo de muestra como se especificó anteriormente tomando muestras de dos cuartos opuestos.

Con la tara que se pesó previamente y el volumen conocido, se toma el material y se llena la tara soltando el material a una altura de 15 cm hasta que este completamente lleno y se enraza cuidadosamente evitando aplicar presión sobre el material.



Con sumo cuidado se toma el recipiente y se coloca en la báscula, la cual debe de estar calibrada, y se toma el peso de la tara junto con el material y se anota el peso obtenido.



D.- Resultado de la prueba

Teniendo todos los datos requeridos se realizan los cálculos necesarios los cuales se mostraran en la siguiente tabla:

Peso volumétrico seco y suelto en materiales pétreos		
Datos	Tara	Tara + material
Peso (kg)	3.630	18.625

Volumen (m ³)	0.00812	0.00812
PVSS (kg/m ³)	1846.677	

4.- Desgaste mediante la prueba de los ángeles de materiales pétreos

A.- Objetivo

El objetivo de esta prueba es determinar la resistencia a la trituración de los materiales pétreos empleados en las mezclas asfálticas. La prueba consiste en colocar una muestra del material con características granulométricas específicas dentro de un cilindro giratorio, en donde es sometida al impacto de esferas metálicas durante un tiempo determinado, midiendo la variación granulométrica de la muestra como la diferencia entre la masa que pasa la malla N° 12, antes y después de haber sido sometida a este tratamiento.

B.- Equipo

El equipo necesario para la realización de la prueba es el siguiente:

B.1.- Maquina de los ángeles

Constituida por un cilindro de acero, hueco y cerrado en ambos extremos, montado sobre dos soportes ubicados al centro de sus caras paralelas, que le permiten girar sobre su eje de simetría en posición horizontal con una velocidad angular de 30 a 33 rpm. El cilindro tendrá una abertura que permita introducir la muestra de prueba y las esferas metálicas, con una tapa de cierre hermético diseñada con la misma curvatura del cilindro para que la superficie interior del mismo sea continua y uniforme.

B.2.- Carga abrasiva

Esferas de hierro fundido o acero, con un diámetro promedio de 47 mm y una masa de entre 390 y 445 gr cada una.

B.3.- Balanza

Con capacidad de 20 kg y aproximación de 0.1 gr.

B.4.- Cucharón

De acero galvanizado de 20 cm de largo, 11 cm de ancho y 10 cm de altura, formando un cajón rectangular con cuatro caras, cuya cara menor tenga un mango metálico de sección circular de 13 cm de largo.

B.5.- Charolas

De lámina galvanizada, con forma rectangular de aproximadamente 40 x 70 x 20 cm.

C.- Procedimiento de la prueba

Una vez que separado el material de la muestra, se elige el tipo de composición que se utilizara para integrar la muestra de prueba, por lo cual utilizaremos la siguiente tabla:

Tipo de composición de la muestra de prueba	Rango de tamaños		Masa de la fracción g	Carga abrasiva	
	mm	Designación		Número de esferas	Masa total g
A	37,5 - 25	1½" - 1"	1 250 ± 25	12	5 000 ± 25
	25 - 19	1" - ¾"	1 250 ± 25		
	19 - 12,5	¾" - ½"	1 250 ± 10		
	12,5 - 9,5	½" - ⅜"	1 250 ± 10		
	Masa total de la muestra de prueba		5 000 ± 10		
B	19 - 12,5	¾" - ½"	2 500 ± 10	11	4 584 ± 25
	12,5 - 9,5	½" - ⅜"	2 500 ± 10		
	Masa total de la muestra de prueba		5 000 ± 10		
C	9,5 - 6,3	⅜" - ¼"	2 500 ± 10	8	3 330 ± 20
	6,3 - 4,75	¼" - N°4	2 500 ± 10		
	Masa total de la muestra de prueba		5 000 ± 10		
D	4,75 - 2	N°4 - N°10	5 000 ± 10	6	2 500 ± 15

Para nuestro caso se tomó el tipo B de la composición de la muestra y el tamaño del material fue de ½ y ⅜ de pulgada y con un peso total de muestra de 5000 gr, donde cada una de las medidas del material aporta 2500 gr. Se colocaran dentro de la maquina un total de 11 esferas de acero y se hace funcionar la maquina durante 500 revoluciones.



Una vez transcurrido se retiran las esferas de acero del contenedor y se coloca el material en una charola. A continuación se criba el material a través de la malla N° 12 y se desecha todo el material que pase dicha malla, el resto se lava y se seca para obtener finalmente el peso final.



D.- Resultado de la prueba

Obtenido el peso final de la muestra en estudio podemos obtener el desgaste por trituración de los ángeles, en la siguiente tabla se mostrara los resultados obtenidos:

Desgaste mediante la prueba de los ángeles de materiales pétreos

Peso inicial (gr)	Peso final (gr)
5000.00	3261.00
Desgaste (%)	34.78

5.- Equivalente de arena de materiales pétreos

A.- Objetivo

Nos permite determinar el contenido y actividad de los materiales finos o arcillosos presentes en los materiales pétreos empleados en mezclas. La prueba consiste en agitar un cilindro, que contiene una muestra del material pétreo que pasa la malla N° 4, mezclada con una solución que permite separar la arena de la arcilla.

B.- Equipo

El equipo necesario para la realización de la prueba es el siguiente:

B.1.- Cilindro de prueba

De acrílico transparente, con diámetro interior de 3.15 cm y altura de 43 cm, graduado a cada 1 mm, desde el fondo hasta la altura de 38.1 cm, que permita medir los niveles de arena sedimentada y de los finos suspendidos.

B.2.- Tapón de hule

Que permita tapar herméticamente al cilindro a fin de evitar la pérdida de materiales o de solución.

B.3.- Tubo irrigador

Consiste de una tubería de cobre o latón, con uno de sus extremos cerrado formando una punta en forma de cuña. Contará con dos perforaciones laterales hechas en los lados planos de la cuña, cerca de la punta.

B.4.- Botella

Con capacidad aproximada de 4 litros, con equipo de sifón consistente en un tapón con dos orificios y un tubo de cobre doblado.

B.5.- Soporte o dispositivo de posicionamiento

Que permita ubicar una botella y todo el dispositivo del sifón a la altura.

B.6.- Manguera de hule

Para conectar el sifón al tubo irrigador con una pinza para obturarla.

B.7.- Pisón

Formado por una varilla de 46 cm de longitud y 0.63 cm de diámetro. En su extremo superior contara con un lastre suficiente para que la masa total del dispositivo sea de 1 kg en el otro extremo tendrá una base hexagonal cónica.

B.8.- Agua

Destilada o potable.

B.9.- Capsula

Con capacidad de 90 mL.

C.- Procedimiento de la prueba

Una vez preparado el sifón se introduce la solución de trabajo al cilindro hasta la altura de 10 cm, se vacía al cilindro de prueba la muestra del material contenida en la capsula, golpeado firmemente varias veces el fondo del cilindro contra la palma de la mano para eliminar burbujas de aire atrapado dentro del material y acelerar la saturación de la muestra.



Se deja reposar la muestra durante 10 minutos, se cierra el cilindro de prueba con un tapón y se agita en este caso manualmente, se coloca en posición horizontal de un lado a otro en sentido longitudinal durante 90 ciclos en un tiempo de 30 segundos.



Concluida la agitación se introduce el tubo irrigador con el cual se lavan las paredes del cilindro de arriba hacia abajo, cuando el nivel del líquido llegue a 38.1 cm medido sobre la escala del cilindro de prueba, se extrae lentamente el tubo irrigador y se deja reposar durante 20 minutos.



Se mide y se registra el nivel superior de los finos en suspensión, con aproximación de 2mm. Dicha lectura se obtendrá al observar el cilindro desde uno de sus lados. Una vez tomada dicha lectura se introduce lentamente el pisón, cuidando de no formar turbulencias, hasta que la base descansa sobre la arena. Se observa el nivel de la parte superior del indicador de escala del cilindro y se registra como el nivel superior de la arena con aproximación de 2mm.

D.- Resultado de la prueba

Durante el proceso de realización de esta prueba se pudo observar que no tiene presencia de finos o arcillas, ya que como se mencionó antes el material se encontraba separado y había sido lavado por la lluvia de días anteriores en el banco de materiales. Por lo tanto no cuenta con presencia de arcillas o finos.

6.- Densidad y absorción en materiales pétreos

A.- Objetivo

Conocer la absorción y densidad del material en estudio. La absorción que es el incremento en masa del agregado debido a penetración del agua en los poros de la partícula. La densidad se define como la masa por unidad de volumen de un material.

B.- Equipo

El equipo necesario para la realización de la prueba es el siguiente:

B.1.- Báscula

Con capacidad de 10 kg con aproximación de 0.1 gr.

B.2.- Mallas

De $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{8}$ de pulgada.

B.3.- Cilindro de prueba

De acrílico transparente, que permita medir los niveles al colocar el material dentro de cilindro.

B.4.- Horno

Provisto de termostato que mantenga temperaturas hasta de 200 °C, con aproximación de 2 °C.

B.5.- Contenedor

De lámina galvanizada

B.6.- Franela

Limpia y sin residuos de material

C.- Procedimiento de la prueba

Se pasa el material en estudio por las mallas de $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{8}$ de pulgada. Se toma el cilindro y se llena de agua hasta la marca de 400 mL, así como también se toman 300 gr del material retenido en la malla de $\frac{3}{8}$ de pulgada y se colocan dentro del cilindro.



Posteriormente se saca la muestra y se coloca en el recipiente de lámina galvanizada, el cual es llenado con agua de tal forma que cubra completamente todo el material y se deja saturar durante 24 horas.



Transcurridas las 24 horas se retira el agua del contenedor y se coloca sobre la franela con la cual secaremos superficialmente el material y se tomara el peso del material saturado. A continuación se coloca de nuevo el material en el contenedor

y se colocara dentro del horno hasta que este se encuentre totalmente seco y de nuevo se obtendrá su peso.



D.- Resultado de la prueba

Una vez realizado el procedimiento y habiendo obtenido los pesos necesarios y los volúmenes procedemos con los cálculos, en la siguiente tabla se muestran los datos obtenidos y el resultado de la prueba:

Densidad y absorción en materiales pétreos			
Datos	Material	Datos	Material
Peso inicial (gr)	300.00	Volumen inicial (cm ³)	400.00
Peso seco (gr)	296.11	Volumen final (cm ³)	525.00
Absorción (%)	1.33	Densidad (gr/ cm ³)	2.37

3.3.- Pruebas en emulsiones Asfálticas

La emulsión asfáltica a la cual se sometió a las siguientes pruebas conforme a la normativa de la SCT, y que al igual que las pruebas de los materiales pétreos fueron realizadas en la sección de materiales bituminosos.

Todas y cada una de las pruebas que se realizaron fueron estrictamente realizados conforme a la normativa, con el cuidado requerido para que todos los resultados obtenidos sean correctos y no haya la necesidad de repetir dicha prueba o que los resultados no sean confiables.

Las pruebas a realizar son las siguientes:

- 1.- Carga eléctrica de las partículas de emulsiones asfálticas
- 2.- Destilación de emulsiones asfálticas
- 3.- Penetración en residuos asfálticos
- 4.- Determinación del potencial de hidrógeno (pH)
- 5.- Viscosidad Saybolt - Furol en materiales asfálticos
- 6.- Punto de reblandecimiento
- 7.- Punto de inflamación Cleveland
- 8.- Ductilidad en residuos asfálticos
- 9.- Asentamiento de emulsiones asfálticas
- 10.- Calidad de materiales asfálticos

1.- Carga eléctrica de las partículas de emulsiones asfálticas

A.- Objetivo

Con la realización de esta prueba podremos saber la polaridad eléctrica de los glóbulos de asfalto en la emulsión, con ello podremos conocer si esta es aniónica cuando los glóbulos tienen carga eléctrica negativa y como catiónicas cuando la carga es positiva. El procedimiento consiste en inducir una carga eléctrica a través de la emulsión, mediante electrodos y observar a cuál de ellos es atraído los glóbulos de la emulsión.

B.- Equipo

El equipo necesario para la realización de la prueba es el siguiente:

B.1.- Fuente de poder

Que proporcione una corriente eléctrica directa de 12 V.

B.2.- Electrodos:

Dos electrodos, formados cada uno por una placa de acero inoxidable de aproximadamente 100 mm de longitud, 25 mm de ancho y 3mm de espesor, aislados entre si y sostenidos paralelamente, distancia 13 mm uno del otro.

B.3.- Vaso de precipitado

De vidrio y de 150 a 250 cm³ de capacidad.

B.4.- Cronometro

Con aproximación de 0.2 segundos.

C.- Procedimiento de la prueba

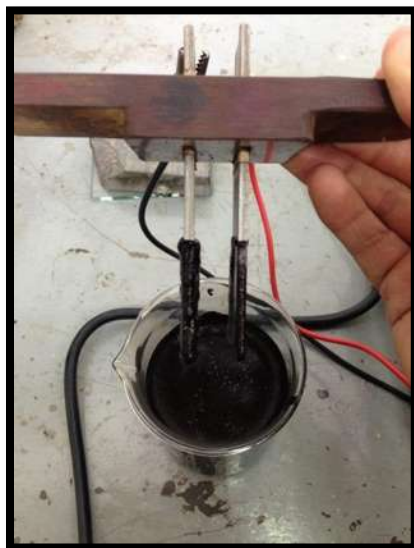
Previamente homogenizada mediante la agitación moderada, evitando el rompimiento de la emulsión, se toma el vaso de precipitados y se coloca dentro la emulsión de tal forma que se puedan cubrir 25 mm de los electrodos, sin tocar las paredes y el fondo del vaso.



Una vez realizado esto se conecta la fuente de poder y se ajusta la intensidad de 8 mA, accionando en ese momento el cronometro. Cuando hayan transcurrido 30 minutos de aplicación de la corriente, o bien se reduzca la intensidad de la misma a 2 mA, lo que ocurra primero.



Finalmente se retira el electrodo y se observa a cuál de ellos quedo adherido el asfalto y así conocer si es catiónica o aniónica.



D.- Resultado de la prueba

Una vez que se retiraron los electrodos se pudo observar que el asfalto quedo adherido en electrodo de la carga negativa o cátodo, por lo tanto a emulsión en estudio es catiónica (+).

2.- Destilación de emulsiones asfálticas

A.- Objetivo

Consiste en efectuar la destilación de una muestra de emulsión asfáltica, hasta una temperatura máxima de 260 °C, para separarla en residuo asfáltico, agua y disolventes. Cuando se requiera también identificar los disolventes, se separa de ellos una porción representativa de tamaño suficiente para su posterior análisis.

B.- Equipo

El equipo necesario para la realización de la prueba es el siguiente:

B.1.- Alambique cilíndrico

De aleación de aluminio.

B.2.- Quemador anular de gas

De 127 mm de diámetro interior, con perforaciones en el contorno interior.

B.3.- Unidad de condensación

Integrada por un adaptador, un tubo de conexión con camisa de lámina y refrigerante recto provisto de camisa metálica, todos adaptados para conectarse.

B.4.- Probeta

De vidrio, de 100 cm³ de capacidad y con graduaciones a cada 1 cm³.

B.5.- Termómetro de inmersión total

Dos termómetros con rango de -2 a 300 °C y aproximación de 1°C.

B.6.- Mechero de gas

Del tipo Bunsen.

B.7.- Balanza

Con capacidad mínima de 3500 gr y aproximación de 0.1 gr.

B.8.- Espátula

De níquel y 20 cm de longitud.

B.9.- Empaque

De papel impregnado con aceite.

C.- Procedimiento de la prueba

Primeramente se tomara una muestra de la emulsión asfáltica en estudio representativa en un vaso de precipitados, en este caso se tomaron 300.00 gr de la emulsión. Este se coloca en el alambique junto con las abrazaderas, termómetros y demás accesorios, así como se colocara el empaque de papel impregnado con aceite y se toma el peso de todo este equipo.



Se ensambla el equipo, conectando el alambique con el refrigerante y colocando el quemador anular de gas a una distancia de 15 cm del fondo del alambique, se enciende el quemador, se ajusta la flama baja y se tomara la hora de inicio. Se vigila que no haya cambios bruscos de temperatura en el termómetro superior, ya que la espuma producida podría alcanzar la parte superior del alambique, en este caso se baja la aplicación de calor del anillo.



Conforme aumente la temperatura se bajara poco a poco el anillo hasta que llegue a la parte baja del alambique. Una vez que se observe que se detiene la caída del líquido de la destilación se detendrá la aplicación de calor y se tomara el peso de alambique una vez que este se enfríe, y se harán los cálculos correspondientes.



D.- Resultado de la prueba

Una vez teniendo los pesos tanto inicial como final del alambique se realizan los cálculos necesarios, como se muestra en la siguiente tabla:

Destilación de emulsiones asfálticas	
Peso inicial alambique (gr)	3854.00
Peso final alambique (gr)	3778.00
Residuo (%)	62.00

2.- Penetración en residuos asfálticos

A.- Objetivo

Esta prueba nos permite conocer la consistencia de los residuos por destilación de las emulsiones, mediante la penetración vertical de una aguja en una muestra de dichos materiales bajo condiciones controladas de tiempo, masa y temperatura.

B.- Equipo

El equipo necesario para la realización de la prueba es el siguiente:

B.1.- Penetrometro para asfaltos

Como el que se muestra en las imágenes en el procedimiento, capaz de sujetar una aguja u provisto de un dispositivo para medir la profundidad de penetración de aguja, en decimos de milímetro. También contara con un mecanismo que permita acercar la aguja a la muestra y con pesas de 50 y 100 gr.

B.2.- Agujas

De acero inoxidable, totalmente endurecidas y perfectamente pulidas, que se acoplen mediante un casquillo de bronce o de acero inoxidable, sobresaliendo de este último entre 40 y 45 mm.

B.3.- Capsula de penetración

De metal o de vidrio refractario, de forma cilíndrica y con el fondo plano; con diámetro interior de 55 mm y altura interior de 35 mm, para penetraciones menores de 200×10^{-1} mm; o diámetro interior de 70 mm y altura interior de 45 mm para penetraciones entre 200 y 350×10^{-1} mm.

B.4.- Termómetro

Con rango de 0 a 50 °C y aproximación de 1°C.

B.5.- Cronometro

Con aproximación de 0.2 segundos.

B.6.- Recipiente de manejo (bandeja)

De metal, plástico o vidrio, de forma cilíndrica adecuada para manejar y mantener sumergida la capsula de penetración que contenga la muestra de prueba.

C.- Procedimiento de la prueba

Como se trata de una emulsión asfáltica el residuo se obtiene de la prueba de destilación en emulsiones, una vez realizada dicha prueba se destapa el alambique utilizada y se llena la capsula de penetración con sumo cuidado ya que se encuentra a muy alta temperatura, ya que se realizó el llenado de las capsulas se deja enfriar hasta que alcance la temperatura ambiente.



Se coloca la capsula de penetración que contiene la muestra dentro del recipiente de manejo donde la temperatura del agua es de 25 °C. Se sumerge dicho recipiente y se mantendrá así por 2 horas, con objeto de que el producto asfáltico adquiera esta temperatura.



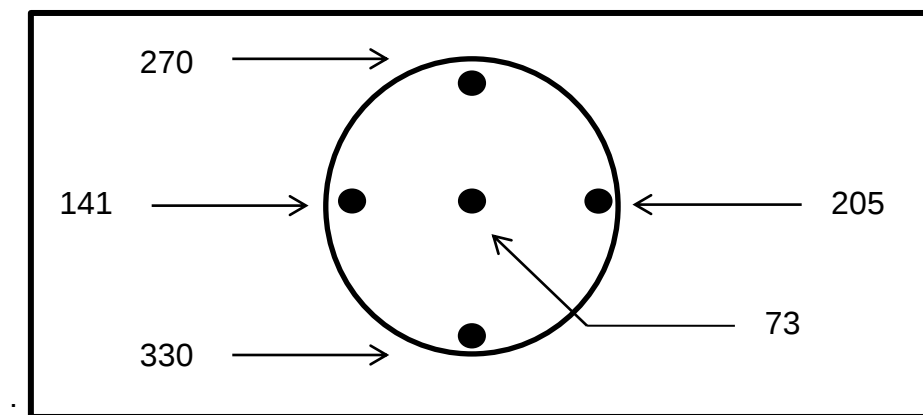
Se coloca el penetrometro en una superficie plana, firme y sensiblemente horizontal, se le acopla al aguja y se lastra para que el elemento que se despalaza tenga una masa de 100 ± 0.1 g y se nivela perfectamente. Se coloca la muestra de tal forma que este totalmente cubierta y se coloca en la base de penetrometro. Se ajusta la altura de la aguja hasta que haga contacto con la superficie de la muestra, lo que se logra haciendo coincidir la punta de la aguja con la de su imagen reflejada en la superficie de la muestra.



Se hace coincidir la manecilla del penetrometro con el cero de la caratula, hecho esto se oprime el sujetador para liberar la aguja durante 5 s y despues de lo cual se toma la lectura registrando en decimos de milimetro. Se tomaran al menos 3 mediciones sobre la superficie de la muestra separados entre si y de la pared de la muestra.

D.- Resultado de la prueba

Se tomaron 5 lecturas en distintos puntos de la muestra, de ls cuales la lectura mayor asi como la menor fueron eliminadas y de las restantes se obtuvo un promedio el cual fue:



$$\text{Promedio} = (141 + 205 + 270) / 3 = 205.333$$

3.- Determinacion del potencial de hidrogeno (pH)

A.- Objetivo

La prueba nos permite determinar el potencial hidrogeno (pH) de la emulsion asphaltica, que es un valor numerico empleado para expresar el grado de acidez o de alcalinidad de la fase acuosa y representa la concentracion de iones de hidrogeno que esta contenido en ella. Nos sirve para identificar el tipo de emulsion como anionica o cationica tomando en cuenta que las emulsiones cationicas son de tipo acido, tambien se pueden tener indicaciones respecto al comportamiento de las emulsiones con los materiales petreos.

B.- Equipo

El equipo necesario para la realización de la prueba es el siguiente:

B.1.- Lector de pH

Lector en forma de pluma con presicion de + 0.1 pH o – 0.1 pH.

B.2.- Baso de presipitados

De vidrio y de 150 a 250 cm³ de capacidad.

B.3.- Termometro

Con rango de 0 a 50 °C y aproximación de 1°C.

C.- Procedimiento de la prueba

Se coloca en el baso de presipitados de 150 a 250 cm³ de la emulsion asphaltica en estudio coloborando que la temperaturua este entre 20 y 30 °C. Se sumerge el lector de pH en la emusion y se deja por varios minutos hasta que en el lector no sucedan variaciones en su lectura.



D.- Resultado de la prueba

Una vez transcurrido unos minutos y que el lector de pH se estabilizó se pudo tomar el valor del pH final, el cual fue: 1.4 (tipo ácido), lo que comprueba que es una emulsión catiónica.

4.- Viscosidad Saybolt - Furol en materiales asfálticos

A.- Objetivo

Nos permite conocer la consistencia del material asfáltico mediante sus características de flujo a una temperatura de 25 y 50 °C para las emulsiones, con el propósito de estudiar la susceptibilidad al calor del material asfáltico y determinar la viscosidad apropiada para su utilización.

B.- Equipo

El equipo necesario para la realización de la prueba es el siguiente:

B.1.- Viscosímetro Saybolt – Furol

Se usará el equipo con el que cuenta el laboratorio de materiales bituminosos.

B.2.- Matraz aforado

Matraz con capacidad de 60 + 0.05 o – 0.05 cm³, aforado a la temperatura de 20 °C, con marca de aforo en el cuello.

B.3.- 2 termómetros

Termómetros de inmersión total, uno con rango de 15 a 30 °C y otro de 45 a 65 °C, ambos con aproximación de 0.1 °C.

B.4.- Cronometro

Con aproximación de 1 segundo.

B.5.- Vaso de presipitado

De vidrio refractario y 400 cm³ de capacidad.

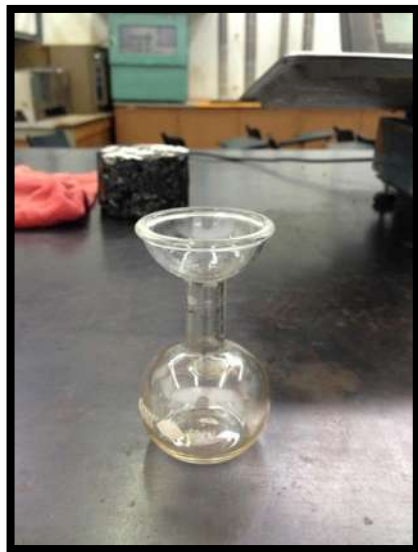
C.- Procedimiento de la prueba

La muestra de la emulsion asfaltica por probar se homogeniza mediante la agitacion moderada, evitando la formacion de burbujas de aire y se vierte en el vaso de presipitados 100 cm³.

Debido a que es una emulsion asfaltica se realizaran la prueba a dos temperaturas las cuales con a 25 y 50 °C, por lo que el baso de presipitados se coloca en el baño maria durante 30 minutos, de tal forma que el nivel del agua cubra 5 cm del baso de presipitados y se agita periodicamente con movimientos circular.



A continuacion se vierte en el tubo de viscosidad la muestra de emulsion asfaltica donde se realizan movimientos circulares evitando la formacion de burbujas, teniendo cuidado de no golpear el fondo para no pesionar la emulsion a traves del orificio de la boquilla, se ajusta la temperatura del balo hasta que la temperatura de muestra alcance la temperatura de la prueba a realizar y que esta permanesca asi durante 1 minuto.



Inmediatamente despues se coloca el matraz debajo del tubo de viscocidad, se retita el tapon y simultaneamene se toma el tiempo con el cronometro, el cual se detiene en el momento que la muestra alcance la marca de aforo del matraz y se registra el tiempo medido.



D.- Resultado de la prueba

En la siguiente tabla se mostraran el tiempo en segundos que tardo en llenarse el matraz con el material asphaltico hasta llegar a la marca de aforo, asi como tambien se indicara la temperatura en la que se realizo la prueba.

Viscosidad Saybolt – Furol		
Temperatura (°C)	25	50

Tiempo (seg)	36.5	17.0
--------------	------	------

5.- Punto de reblandecimiento

A.- Objetivo

Nos permite estimar la consistencia del residuo que se obtuvo la prueba de destilación y se basa en la determinación de la temperatura a la cual una esfera de acero produce una deformación de 25 mm, en una muestra sostenida en un anillo horizontal, que se calienta gradualmente dentro de un baflo presipitados con agua.

B.- Equipo

El equipo necesario para la realización de la prueba es el siguiente:

B.1.- 2 anillos de latón

De 23 mm de diámetro superior, 20 mm de diámetro intermedio y 15.9 mm de diámetro inferior, con una altura de 6.4 mm.

B.2.- Baflo de presipitados

Con diámetro interior mínimo de 85 mm y altura de 120 mm.

B.3.- Sistema de soporte

Soporte de metal resistente a la corrosión, integrado por dos columnas que sostengan al portanillos ya a una placa rectangular interior, de forma que la distancia entre la parte inferior de aquel y la superior de esta sea 25 mm, y sujetas a una placa circular que sirva de tapa para el vaso refractario. El soporte debe estar dispuesto de manera que la parte inferior de la placa rectangular se ubique a 16 ± 3 mm del fondo del vaso.

B.4.- 2 esferas de acero de 9.5 mm de diámetro

Esferas de acero de 9.5 mm de diámetro y de $3.5 \text{ gr} \pm 0.05 \text{ gr}$ o -0.05 gr de masa.

B.5.- Placa de apoyo y guías de latón

Dos guías de latón para central las esferas y placa de apoyo plana, lisa y rígida, de latón o bronce, de 5 x 10 cm como mínimo.

B.6.- Mechero

Se debe proteger de las corrientes de aire o de la luz excesiva en el sitio de trabajo.

B.7.- Termometro

De inmersión total con rango de -1 a 175°C y aproximación de 0.5°C .

B.8.- Espatula

De acero flexible, de 15 mm de ancho y 150 mm de largo.

B.9.- Pinzas

Adecuadas para manejar esferas.

C.- Procedimiento de la prueba

El primer paso es preparar la muestra en los anillos de latón. Estos serán colocados sobre una placa previamente tratada para que no se adieran los anillos de latón, se calienta el residuo que se obtuvo de la destilación, una vez que adquiera fluidez se llena el acabo el llenado de los anillos y se deja enfriar durante 30 minutos para que recobre su consistencia sólida. Enseguida se corta el exceso calentado la espátula para facilitar el corte pasándola sobre los anillos de latón.



Se ensambla el sistema de soporte colocando en su lugar los anillos con la muestra, las guías y el termómetro, se llena el vaso de precipitados hasta una altura de 10 cm. Se colocan las esferas en el fondo del vaso y se introduce el sistema de soporte y se deja el conjunto durante 15 minutos, manteniendo la temperatura indicada.



Se extrae el sistema del soporte, con las pinzas colocamos las esferas con la ayuda de las guías e inmediatamente se vuelve a introducir en el vaso. Se coloca el conjunto sobre el mechero y se incrementa uniformemente la temperatura del líquido a razón de $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$. Se registra para cada anillo la temperatura en el momento en que el material asfáltico toque la placa inferior del soporte.



D.- Resultado de la prueba

Para que la prueba sea correcta no tiene que haber mas de 1°C de diferencia entre los registros de ambas temperaturas, y el resultado de la prueba es el promedio de las temperaturas. En las siguiente tabla se muestra el resultado obtenido:

Punto de remblandecimiento		
Temperatura inicial (°C)	5	5
Temperatura final (°C)	40	41
Promedio (°C)	40.5	

6.- Punto de inflamacion Cleveland

A.- Objetivo

Esta prueba nos permite determinar la temperatura minima a la que el residuo de asfalto en la emulsion de estudio produce flamas instantaneas al estar en contacto con el fuego directo, asi como aquella en que inicia su combustion. La prueba consiste en colocar la muestra en una copa de Cleveland, en donde se incrementa paulatinamente la temperatura hasta lograr que al pasar una flama por la superficie de la muestra y que produzca en ella llamas instantaneas, a este se le conoce como punto de inflamacion. Si se continua elevando la temperatura de la muestra se llega al punto en que se incia la combustion del material, a este caso se le conoce como punto de combustion.

B.- Equipo

El equipo necesario para la realización de la prueba es el siguiente:

B.1.- Copa abierta de Cleveland

De laton, bronce o acero inoxidable.

B.2.- Soporte para la copa abierta de Cleveland

Provisto de una placa de apoyo metalica y otra de asbesto.

B.3.- Mechero

Se protegera de corrientes de aire o de la luz excesiva en el sitio de trabajo.

B.4.- Termometro de inmercion parcial

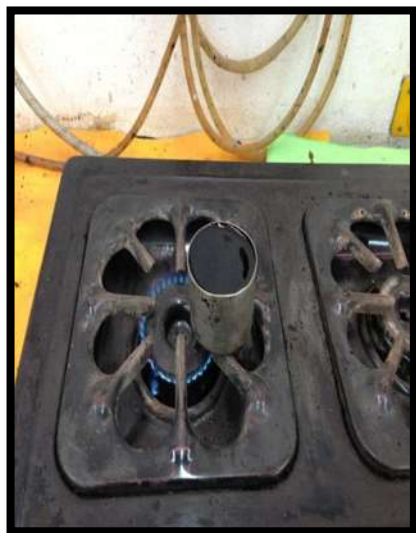
Con bulbo de 25 mm de longitud, con rango de -6 a 400 °C y aproximacion de 2 °C.

B.5.- Aplicador de flama

Con dimensiones aproximadas de 1.6 mm de diametro en el extremo de salida y orificio de 0.8 mm de diametro, acoplado al soporte de tal forma que le permita girar en eun plano horizontal que diste 2 mm como maximo del borde superior de la copa de Cleveland.

C.- Procedimiento de la prueba

De la muestra del residuo obtenido de la destilación de la emulsión asfáltica, se toma una porción mayor a la copa abierta de Cleveland y se calienta en un recipiente apropiado, hasta que adquiera la fluidez suficiente que facilite el vaciado en la copa, cuidando que la temperatura no exceda de 130 °C. Se monta y sujeta el termómetro de manera que el extremo inferior del bulbo quede a 6.4 mm del fondo de la copa abierta de Cleveland.



Se vacio lentamente en la copa abierta de Cleveland el material asfáltico preparado, hasta que la parte superior del menisco coincida con la marca de aforo de la copa, destruyendo cualquier burbuja que se forma en la superficie de la muestra vertida. A continuación se enciende el mechero y se ajusta esta para que tenga un diametro aproximado de 3 a 5 mm.

Se incrementara la temperatura de 5 a 6 °C/min y cuando la temperatura de la muestra de prueba sea 30 °C abajo del punto de inflamación probable se inicia la aplicación de la flama pasandola de lado a lado de la copa, sobre el centro de la misma y con un movimiento circular uniforme de manera que la duracion del paso sea de 1 segundo aproximadamente.



Se registra como punto de inflamacion la temperatura leida en el termometro cuando al pasar el aplicador se produzca una pequeña flama instantanea o destello en cualquier punto de la superficie de la muestra. Se continua incrementando la temperatura de la muestra a razon de 5 a 6 °C/min, hasta que se produzca flama que duren por lo menos 5 segundos.

D.- Resultado de la prueba

En la siguiente tabla se mostraran las temperaturas tomadas en las que se alcanzo tanto el punto de inflamacion y asi como el punto de combustion, los cuales son:

Punto de inflamacion Cleveland	
Temperatura	(°C)
Punto de inflamacion	225.00
Punto de combustion	247.00

7.- Ductilidad en residuos asfalticos

A.- Objetivo

Nos permite determinar la capacidad para deformarse sin romperse de los residuos asfalticos obtenidos de la prueba de destilacion de emulsiones. La prueba consiste en medir la maxima distancia a la cual una briqueta de dichos materiales, de geometria y bajo condiciones de temperatura y velocidad de deformacion especificas que puede ser estirada sin romperse.

B.- Equipo

El equipo necesario para la realización de la prueba es el siguiente

B.1.- Ductilómetro

Constituido fundamentalmente por un dispositivo para estirar la briqueta con el residuo asfáltico a una velocidad uniforme y sin vibraciones, así como también el control de la temperatura que mantiene una temperatura de 25 °C, de tal manera que la muestra permanezca sumergida en el agua del tanque, ubicada a no menos de 2.5 cm del nivel del agua y del fondo del tanque.

B.2.- Molde de latón (briqueta)

Para elaborar la briqueta, de latón, compuesto de dos mordazas y dos elementos laterales.

B.4.- Placa de apoyo

Plana, lisa y rígida, con recubrimiento de mercurio.

B.5.- Espátula de níquel

De borde recto y 20 cm de longitud

B.6.- Antiadherente (talco)

Aceite o grasa de silicón; una mezcla de glicerina y dextrina; talco o caolín, para recubrir la placa de apoyo y evitar su adherencia con el asfalto.

B.7.- Paño

Para aplicar antiadherente en la placa de apoyo.

C.- Procedimiento de la prueba

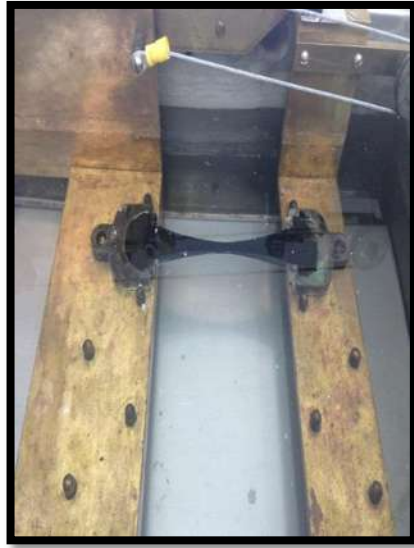
Se aplica con el paño el antiadherente seleccionado que en este caso es talco en los dos elementos laterales del molde de la briqueta y en la superficie de la placa de apoyo, para evitar que se adhiera el asfalto. Inmediatamente después se colca el residuo obtenido de la destilación de la emulsión asfáltica y se elabora una briqueta vertiendo cuidadosamente mediante un chorro delgado que se mueve a lo largo del molde. Finalmente se cubre adecuadamente para protegerla del polvo y se deja enfriar durante 30 o 40 minutos hasta que alcance la temperatura ambiente, y se enraza con la ayuda de la espátula previamente calentada para mayor facilidad para remover los excesos de residuo.



Se retira la briqueta de la placa quitando los elementos laterales del molde y de inmediato se instala con sus mordazas en el ductilómetro previamente preparado con agua a una temperatura de 25 °C, sujetando los extremos de estas en los postes del aparato, debiendo quedar la cara superior de la briqueta a no menos de 2.5 cm de la superficie. Durante la prueba la temperatura del agua se mantendrá estable a 25 °C.



Se pone en marcha el mecanismo de prueba a una velocidad de 5 cm/mm, con una variación de +0.5 °C o -5 °C, hasta la ruptura de briqueta, en este momento se lee el desplazamiento y se registra en centímetros el dato obtenido.



D.- Resultado de la prueba

Se reporta como resultado de la prueba de longitud que se desplaza la mordaza para lograr la ruptura de la briqueta en centímetros, y la cual fue la siguiente: 52 cm.

8.- Asentamiento de emulsiones asfálticas

A.- Objetivo

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

B.- Equipo

El equipo necesario para la realización de la prueba es el siguiente:

B.1.- Probetas de vidrio

Tres probetas, de base ensanchada, provistas de tapón de corcho o vidrio esmerilado, con diametro de 50 ± 5 mm y capacidad de 500 cm³.

B.2.- Pipeta de vidrio

De 60 cm³ de capacidad.

B.3.- Vaso de precipitado

Seis vasos, de vidrio refractario o aluminio, con capacidad de 600 ó 1000 cm³.

B.4.- Agitadores

Seis varillas de vidrio con extremos redondos, de 6.4 mm de diametro y 18 cm de longitud.

B.5.- Balanza

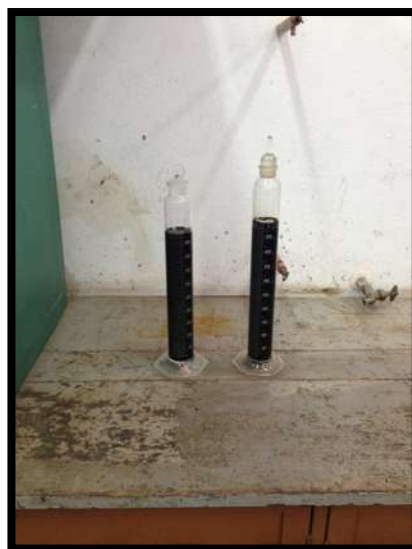
De 500 gr de capacidad y aproximacion de 0.1 gr.

B.6.- Horno

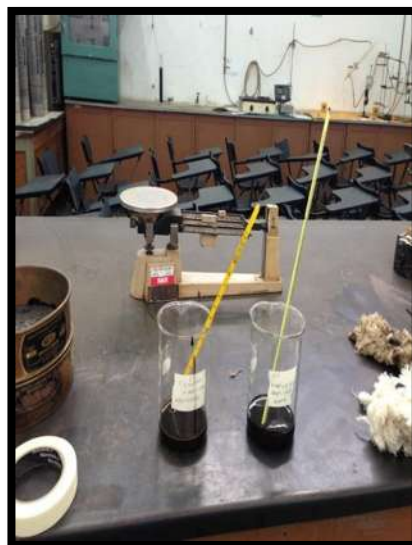
Provisto de termostato que mantenga temperaturas hasta de 175 °C, con aproximacion de 2 °C.

C.- Procedimiento de la prueba

En nuestro caso se tomaran 2 probetas contapones de vidrio, las cuales seran llenadas con 500 cm³ de la emulsion en estudio, la cual dejaremos durante 5 dias en reposo.



Transcurridos los 5 días, se tomaran de cada una de las muestras 55 cm³ de la emulsion y se colocaran en los vasos de presipitados y se marcaran como la parte superior de la muestra. Posteriormente se liminran los 390 cm³ de cada una de las muestras y los 55 cm³ se uniformizan con la vailas de vidrio.



Se colocaran las muestras en el horno a una temperatura de $163 \pm 3^\circ\text{C}$ durante un periodo de 2 horas, una vez transcurrido este tiempo se sacan las muestras y se uniformizan con las varillas de vidrio, colocando de nuevo las muestras en el horno durante una 1 hora mas.



Se sacan del horno los vasos con su contenido y varilla, se dejan enfriar a la temperatura ambiente, se obtiene la masa, en gramos, de cada conjunto y se registran. Se calcula el contenido de residuo asfáltico de la emulsion, correspondiente a cada muestra.

D.- Resultado de la prueba

Teniendo los resultados de cada muestra y realizando las operaciones necesarias para obtener el resultado de la prueba realizada anteriormente, dichos resultados se muestran en la siguiente tabla:

Asentamiento de emulsiones asfálticas							
Datos	Probeta 1		Probeta 2		Asentamiento (%)		Promedio (%)
	Wi (gr)	Wf (gr)	Wi (gr)	Wf (gr)	Probeta 1	Probeta 2	
Superior	275.0	226.5	276.0	225.5	88.18	91.82	90.00
Inferior	255.0	244.0	253.0	240.7	20.00	22.36	21.18

9.- Calidad de materiales asfálticos

A.- Objetivo

Obtenidos todos los resultados de las pruebas realizadas a la emulsión en estudio se pretende conocer el tipo de emulsión asfáltica con el que se harán las pruebas de ejemplares.

B.- Procedimiento de la prueba

Las emulsiones asfálticas son materiales asfálticos líquidos estables, constituidos por dos fases no miscibles, en los que la fase continúa de una emulsión está formada por agua y un agente emulsificante, y la fase discontinua por pequeños glóbulos de cemento asfáltico. Se denominan emulsiones asfálticas aniónicas cuando el agente emulsificante confiere polaridad electronegativa los glóbulos y emulsiones asfálticas catiónicas, cuando les confiere polaridad electropositiva.

Las emulsiones asfálticas pueden ser de los siguientes tipos

- Rompimiento rápido: generalmente se utilizan para riegos de liga y carpetas por el sistema de riegos, a excepción de la emulsión ECR – 60, que no se utilizara en la elaboración de estas últimas.
- De rompimiento medio, que normalmente se emplean para carpetas de mezcla en frío elaborados en planta, especialmente cuando el contenido de finos en la mezcla es igual que 2 % o menor, así como en trabajos de conservación tales como bacheos, re nivelaciones y sobre carpetas.

En las siguientes tablas se muestra los requisitos de calidad de las emulsiones asfálticas según el tipo de carga de la emulsión (catiónica o aniónica):

- Requisitos de calidad para emulsiones asfálticas catiónicas:

Características	Clasificación						
	ECR-60	ECR-65	ECR-70	ECM-65	ECL-65	ECI-60	ECS-60
De la emulsión:							
Contenido de cemento asfáltico en masa; %, mínimo	80	85	88	65	65	60	80
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
Cubrimiento del agregado seco; %, mínimo	—	—	—	90	90	—	90
Cubrimiento del agregado húmedo; %, mínimo	—	—	—	75	75	—	75
Carga eléctrica de las partículas	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
Disolvente en volumen; %, máximo	—	3	3	5	—	15	—
Índice de ruptura; %	< 100	< 100	< 100	80 – 140	> 120	—	> 120
Del residuo de la destilación:							
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa·s (P ¹¹)	50 ± 10 (500 ± 100)	50 ± 10 (500 ± 100)	50 ± 10 (500 ± 100)	50 ± 10 (500 ± 100)	50 ± 10 (500 ± 100)	50 ± 10 (500 ± 100)	50 ± 10 (500 ± 100)
Penetración ¹² a 25°C, en 100 g y 5 s; 10 ⁻¹ 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	—

- Requisitos de calidad para emulsiones asfálticas aniónicas:

Características	Clasificación						
	EAR-55	EAR-60	EAM-60	EAM-65	EAL-55	EAL-60	EAL-60
De la emulsión:							
Contenido de cemento asfáltico en masa; %, mínimo	55	60	80	65	55	60	60
Viscosidad Saybolt-Furol a 25°C; s, mínimo	5	—	—	—	20	20	5
Viscosidad Saybolt-Furol a 50°C; s, mínimo	—	40	50	25	—	—	—
Asentamiento en 5 días; diferencia en %, máximo	5	5	5	5	5	5	5
Retenido en malla N° 20 en la prueba del tamiz; %, máximo	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
Cubrimiento del agregado seco; %, mínimo	—	—	90	90	90	90	—
Cubrimiento del agregado húmedo; %, mínimo	—	—	75	75	75	75	—
Miscibilidad con cemento Portland; %, máximo	—	—	—	—	2	2	—
Carga eléctrica de las partículas	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Demulsibilidad; %	60 mín	50 mín	30 máx	30 máx	—	—	—
Del residuo de la destilación:							
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa·s (P ¹¹)	50 ± 10 (500 ± 100)	100 ± 20 (1 000 ± 200)	50 ± 10 (500 ± 100)	100 ± 20 (1 000 ± 200)	50 ± 10 (500 ± 100)	100 ± 20 (1 000 ± 200)	50 ± 10 (500 ± 100)
Penetración a 25°C, en 100 g y 5 s; 10 ⁻¹ mm	100–200	50–90	100–200	50–90	100–200	50–90	150–250
Solubilidad; %, mínimo	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5
Ductilidad a 25°C; cm, mínimo	40	40	40	40	40	40	40

Con los datos obtenidos de las pruebas y tablas anteriores se seleccionara el tipo de emulsión asfáltica dependiendo el tipo de carga de la misma.

C.- Resultado de la prueba

Lo primero que tenemos que mencionar es que la emulsión asfáltica tiene una carga positiva, por lo que es una emulsión asfáltica catiónica. Con ello sabremos que tabla elegir para conocer el tipo de emulsión que se tiene.

Conocida la carga de la emulsión y teniendo todos los datos de las pruebas anteriores se llega a la conclusión de que el tipo de emulsión asfáltica con la que se trabajara es del tipo: ECR - 60

Capítulo IV:

Diseño y prueba de ejemplares

4.1.- Calculo de porcentaje de material pétreo para pastillas de prueba

Una vez conocidos todos los datos tanto del material pétreo como de la emulsión asfáltica procederemos con el diseño de los especímenes para conocer el contenido óptimo de diseño.

Primeramente conoceremos la cantidad de cada tipo de material desde la malla de $\frac{3}{4}$ de pulgada que corresponde a las gravas, hasta la parte de los finos que corresponde a la malla N° 200. Para conocer dichos datos nos basaremos en la granulometría obtenida en las pruebas de laboratorio.

El total de material que utilizaremos para cada espécimen será de 4000 gr (4.000 kg), y en base a este peso se obtendrá el peso necesario de cada material.

En la siguiente tabla se puede observar los cálculos realizados para conocer dichos valores:

Calculo de porcentaje de material pétreo para pastillas de prueba				
Malla N°	Peso retenido (kg)	% retenido	% retenido acumulado	% que pasa la malla
2"	0.000	0.000	0.000	100.000
1 ½"	0.000	0.000	0.000	100.000
1 ¼"	0.000	0.000	0.000	100.000
1"	0.000	0.000	0.000	100.000
$\frac{3}{4}$ "	0.607	5.017	5.017	94.983
$\frac{1}{2}$ "	1.825	15.070	20.087	79.913
$\frac{3}{8}$ "	3.022	24.962	45.049	54.951
$\frac{1}{4}$ "	1.829	15.107	60.156	39.844
4	1.235	10.201	70.357	29.643
10	2.117	17.485	87.842	12.158
20	0.479	3.956	91.798	8.202
40	0.273	2.258	94.056	5.944
60	0.109	0.900	94.956	5.044
100	0.133	1.098	96.054	3.946
200	0.248	2.050	98.104	1.896
Pasa 200	0.230	1.896	100.000	0.000
Total	12.108	100.000		

Como se puede observar en la tabla se colocaron todas las medidas de material pétreo desde el mayor hasta el menor, así como los datos de peso retenido, porcentaje retenido, porcentaje retenido acumulado, porcentaje que pasa la malla. Todos estos datos nos permiten conocer el peso de cada material aplicando la siguiente formula como se muestra a continuación para la malla de $\frac{3}{4}$ ":

Peso total de la pastilla: 4000.000 gr

Porcentaje retenido: 5.017 %

Se utiliza la siguiente formula:

$$\left[\frac{\% \text{ retenido}}{100} \right] \times \text{Peso pastilla} = \text{Peso}$$

Sustituyendo valores:

$$\left[\frac{5.017}{100} \right] \times 4000.000 = 200.680 \text{ gr}$$

Esto nos da como resultado, que del material retenido en la malla de $\frac{3}{4}$ " se tiene que colocar 200.680 gr de material para la pastilla que se realice. Esta misma fórmula se aplica para cada una de las mallas restantes y se obtienen sus pesos los cuales se muestrean en la siguiente tabla:

Peso de material por pastilla (4000.0 gr)			
Malla N°	Peso (gr)	Malla N°	Peso (gr)
2"	0.000	4	408.040
1 ½"	0.000	10	699.400
1 ¼"	0.000	20	158.240
1"	0.000	40	90.320
¾"	200.680	60	36.000
½"	602.800	100	43.920
⅜"	998.480	200	82.000
¼"	604.280	Pasa 200	75.840

Una vez finalizado los cálculos optemos los pesos de cada material basándonos en la curva granulométrica antes obtenida, esto nos indica que dicha proporción de pesos cumple con los requerimientos necesarios.

Se realizó el cribado del material que se trajo del banco y que había sido guardado y se pasó a través de las mallas y así obtener la cantidad de material necesario de cada tamaño para el diseño de los ejemplares.



Sabiendo los pesos de cada material se procedió al pesado cuidadosamente de los pesos de cada material para el diseño de las pastillas con un peso de 4000.00 gr.



Teniendo los pesos de cada material pesado y separado, estos se colocaron en 2 bolsas de plástico una con todo el material de la malla $\frac{3}{4}$ " a N° 4 que son todas las gravas y en otra de la malla N° 10 a pasa N° 200 que corresponde a la parte fina de la muestra. Estas fueron colocadas con etiquetas donde se describe cuidadosamente su composición granulométrica y fueron guardadas en un espacio limpio y protegido para evitar su contaminación.



4.2.- Calculo del contenido mínimo de la emulsión asfáltico

Como se observa ya se obtuvo los pesos necesarios para cada tamaño de material pétreo para el desarrollo de las pastillas, ahora procedemos con la obtención de contenido mínimo de emulsión asfáltica con el que se elaboraran las pastillas para conocer el contenido óptimo de diseño.

Para conocer este contenido mínimo usaremos dos métodos diferentes para la obtención de valor requerido, compararemos ambos resultados y seleccionaremos el de mayor porcentaje. Los métodos a usar son los siguientes:

- A) Se aplicara a materiales graduados que contienen finos
- B) Se aplicara a materiales graduados que tienen pocos finos.

A continuación se mostraran la aplicación de cada uno de estos métodos y se compararan sus resultados obtenidos.

A) Como se mencionó anteriormente en este caso se contienen finos en la granulometría de la muestra en estudio. Como ya se tiene los datos de la granulometría tomaremos el % que pasa la malla, el peso y el % retenido, los cuales nos permiten obtener la sumatoria de % retenido. Simplemente consiste en sumar el % retenido de las mallas que corresponden al tamaño como se muestra en la siguiente tabla.

Calculo de porcentaje retenido				
Malla N°	% que pasa la malla	Peso (gr)	% retenido	Sumatoria % retenido
2"	100.000	0.000	0.000	

1 1/2"	100.000	0.000	0.000	0.000
1 1/4"	100.000	0.000	0.000	
1"	100.000	0.000	0.000	
3/4"	94.983	200.680	5.017	5.017
1/2"	79.913	602.800	15.070	
3/8"	54.951	998.480	24.962	
1/4"	39.844	604.280	15.107	65.340
4	29.643	408.040	10.201	
10	12.158	699.400	17.485	
20	8.202	158.240	3.956	23.699
40	5.944	90.320	2.258	
60	5.044	36.000	0.900	
100	3.946	43.920	1.098	4.048
200	1.896	82.000	2.050	
Pasa 200	0.000	75.840	1.896	1.896

Para calcular la superficie total del agregado se emplearan las constantes de áreas que muestran en la siguiente tabla:

Tamaño del material	Constante área específica (m ² /kg)
1" a 3/4"	0.27
3/4 a N° 4	0.41
N° 4 a N° 40	2.05
N° 40 a N° 200	15.38
Pasa 200	53.30

El valor del índice asfáltico varía con la rugosidad y porosidad del agregado pétreo dependiendo de la procedencia del material en estudio:

Material	Índice asfáltico
Gravas o arenas de río o material redondeado.	0.0055
Gravas angulosas o redondas trituradas de baja absorción.	0.0060
Gravas o arenas redondas de alta absorción y rocas trituradas de absorción media.	0.0070
Roca triturada de alta absorción.	0.0080

Sabiendo que existen 4 distintos índices asfálticos dependiendo del material en estudio, que en nuestro caso proviene de una banco de materiales donde fue triturada y separada, así como una absorción baja (1.33). Entonces corresponde un índice asfáltico de 0.60, pero también se hará el cálculo con los demás índices asfálticos para comparar su comportamiento.

1.- Índice asfáltico de 0.0055, por lo tanto:

Tamaño del material	% que pasa	Constante área específica	Superficie parcial	Índice asfáltico	Contenido mínimo
1" a ¾"	5.017	0.27	0.014	0.0055	0.000077
¾ a N° 4	65.340	0.41	0.268	0.0055	0.001474
N° 4 a N° 40	23.699	2.05	0.486	0.0055	0.002673
N° 40 a N° 200	4.048	15.38	0.623	0.0055	0.003427
Pasa 200	1.896	53.30	1.011	0.0055	0.005561
Total	100.000				0.013212

2.- Índice asfáltico de 0.0060, por lo tanto:

Tamaño del material	% que pasa	Constante área específica	Superficie parcial	Índice asfáltico	Contenido mínimo
1" a ¾"	5.017	0.27	0.014	0.0060	0.000084
¾ a N° 4	65.340	0.41	0.268	0.0060	0.001608
N° 4 a N° 40	23.699	2.05	0.486	0.0060	0.002916
N° 40 a N° 200	4.048	15.38	0.623	0.0060	0.003738
Pasa 200	1.896	53.30	1.011	0.0060	0.006066
Total	100.000				0.014412

3.- Índice asfáltico de 0.0070, por lo tanto:

Tamaño del material	% que pasa	Constante área específica	Superficie parcial	Índice asfáltico	Contenido mínimo
1" a ¾"	5.017	0.27	0.014	0.0070	0.000098
¾ a N° 4	65.340	0.41	0.268	0.0070	0.001876
N° 4 a N° 40	23.699	2.05	0.486	0.0070	0.003402
N° 40 a N° 200	4.048	15.38	0.623	0.0070	0.004361
Pasa 200	1.896	53.30	1.011	0.0070	0.007077
Total	100.000				0.016814

4.- Índice asfáltico de 0.0080, por lo tanto:

Tamaño del material	% que pasa	Constante área específica	Superficie parcial	Índice asfáltico	Contenido mínimo
1" a ¾"	5.017	0.27	0.014	0.0080	0.000112
¾ a N° 4	65.340	0.41	0.268	0.0080	0.002104
N° 4 a N° 40	23.699	2.05	0.486	0.0080	0.003888
N° 40 a N° 200	4.048	15.38	0.623	0.0080	0.004984
Pasa 200	1.896	53.30	1.011	0.0080	0.008088

Total	100.000				0.019176
-------	---------	--	--	--	----------

En la tabla se pueden observar los datos obtenidos con los distintos índices asfálticos, se puede observar la variación de uno a otro.

Prueba numero	Índice asfáltico	Contenido mínimo	Contenido mínimo (%)
1	0.0055	0.013212	1.3212
2	0.0060	0.014412	1.4412
3	0.0070	0.016814	1.6814
4	0.0080	0.019176	1.9176

B) Al contrario del inciso anterior en este caso la granulometría cuenta con pocos finos por lo que se procede a usar la siguiente fórmula para obtener el contenido mínimo.

$$(Cm)_{C.A} = 0.020 a + 0.0045 b + c d$$

Dónde:

a = % de material retenido en la malla N° 10.

b = % de material que pasa la malla N° 10 y se retiene en la malla N° 200.

c = % de material que pasa la malla N° 200.

d = Coeficiente asfáltico.

Nuevamente necesitamos obtener la sumatoria de % retenido, solo que esta ocasión cambiara las mallas que se sumaran, el procedimiento es el mismo que en el caso anterior.

Calculo de porcentaje retenido				
Malla N°	% que pasa la malla	Peso (gr)	% retenido	Sumatoria % retenido
2"	100.000	0.000	0.000	87.842
1 1/2"	100.000	0.000	0.000	
1 1/4"	100.000	0.000	0.000	
1"	100.000	0.000	0.000	
3/4"	94.983	200.680	5.017	
1/2"	79.913	602.800	15.070	
3/8"	54.951	998.480	24.962	
1/4"	39.844	604.280	15.107	
4	29.643	408.040	10.201	

10	12.158	699.400	17.485	
20	8.202	158.240	3.956	10.262
40	5.944	90.320	2.258	
60	5.044	36.000	0.900	
100	3.946	43.920	1.098	
200	1.896	82.000	2.050	
Pasa 200	0.000	75.840	1.896	1.896

Teniendo estos datos, solo hace falta obtener el valor de “d” y para ellos usaremos la siguiente tabla que nos muestra los distintos valores del coeficiente asfáltico.

Material	d
Gravas y arenas de río o material redondeados de baja absorción	0.15
Gravas trituradas de baja absorción	0.20
Rocas trituradas de absorción media	0.30
Rocas trituradas de alta absorción	0.35

Observando los coeficientes sabemos que el valor que corresponde a nuestra muestra es la de 0.20. Nuevamente se realizarán los cálculos con todos los valores para comparar los resultados.

Valor de a	Valor de b	Valor de c	Valor de d	Contenido mínimo
87.842	10.262	1.896	0.15	2.087
87.842	10.262	1.896	0.20	2.182
87.842	10.262	1.896	0.30	2.372
87.842	10.262	1.896	0.35	2.467

Como se puede observar en los cálculos realizados por ambos métodos para la obtención del contenido mínimo de emulsión asfáltica son menores conforme a lo que marca las normas el cual es del 4 %. Por lo tanto se tomara como el valor de contenido mínimo para las pruebas como de 4 %.

Esto nos indica que los contenidos mínimos que utilizaremos para obtener el contenido óptimo, son los siguientes:

Contenido mínimo calculado
3.5 %
4.0 %
4.5 %
5.0 %
5.5 %
6.0 %

6.5 %

Cabe mencionar que se colocó adicionalmente el 6.5 %, debido a que una vez que se estén elaborando las muestras de 4.0 %, si se observa que esta no se adhiere con suficiente resistencia como para mantener su forma se omitirá la prueba con el 3.5 % sustituyéndola por la de 6.5 %.

4.3.- Calculo de diseños de pastillas de prueba con los contenidos mínimos

Como mencionamos anteriormente las pastillas a realizar tienen un peso de 4000.00 gr, como ya se cuenta tanto con los pesos del material pétreo como el contenido mínimo de emulsión asfáltica podremos obtener los datos faltantes para el diseño.

Los datos faltantes son el peso de la emulsión en gramos dependiendo del porcentaje mínimo de emulsión asfáltica, así como el agua necesaria por pastilla que se realice. Estos valores se calculan en la siguiente tabla:

% contenido mínimo	% de emulsión	Peso pastilla (gr)	Emulsión (gr)	Agua (mL)	% absorción	% residuo
3.5	0.056	4000.00	224.00	53.20	1.33	62.00
4.0	0.062	4000.00	248.00	53.20	1.33	62.00
4.5	0.073	4000.00	292.00	53.20	1.33	62.00
5.0	0.081	4000.00	324.00	53.20	1.33	62.00
5.5	0.089	4000.00	356.00	53.20	1.33	62.00
6.0	0.097	4000.00	388.00	53.20	1.33	62.00
6.5	0.105	4000.00	420.00	53.20	1.33	62.00

A continuación se muestran las fórmulas utilizadas para el cálculo de la tabla anterior:

$$\% \text{ de emulsión} = \frac{\% \text{ residuo}}{\% \text{ contenido mínimo}}$$

$$\text{Emulsión} = (\text{Peso pastilla}) (\% \text{ de emulsión})$$

$$\text{Agua} = (\text{Peso pastilla}) (\% \text{ absorción})$$

4.4.- Diseño y prueba de pastillas con contenidos mínimos

A.- Objetivo

Teniendo ya todos los datos necesarios damos pie al diseño de los ejemplares para con ello obtener el contenido óptimo de diseño. Se harán dos pastillas por cada contenido mínimo, esto nos indica que tendremos que hacer 12 distintos ejemplares los cuales fueron realizados con sumo cuidado y con las especificaciones necesarias para que los resultados obtenidos al final de las pruebas sean correctos.

B.- Equipo

El primer paso que se realizó fue tener a la mano todo el equipo necesario para la realización de los especímenes, a continuación se describirá dicho material:

1.- Emulsión asfáltica

Con la que fue provista por el laboratorio para el diseño y de la cual se conocen sus características por las pruebas antes mencionadas.

2.- Bolsa de material graduado

Con un peso de 4000.00 gr, con todos los pesos de cada material conforme a la curva granulométrica.

3.- Balanza

Con capacidad mínima de 6500 gr y aproximación de 0.1 gr.

4.- Prensa hidráulica

Con la que cuente el laboratorio en la que se puedan privar los especímenes.

5.- Molde metálico

Conformado un cilindro de acero de 12.7 cm de diámetro interior y con una altura de 20 cm, placa metálica de 14.00 x 14.00 cm con sujetadores laterales.

6.- Placas metálicas

De acero con un diámetro de 12.7 cm y con una altura de 2.00 cm de grosor.

7.- Probeta graduada

Con capacidad de 100 mL graduada.

8.- Varilla de punta de bala

Varilla de acero de 60 cm de largo con terminación en uno de sus extremos en forma curvada.

9.- Baso metálico

Limpio y sin deformaciones

10.- Aspersor

Con capacidad de 250 mL.

11.- Cuchara

En buen estado y limpia.

12.- Charola

De lámina galvanizada, de forma rectangular de aproximadamente 40 x 70 x 20 cm y de forma circular de 206 mm de diámetro y 68 cm de altura.

13.- Aceite

En este caso será para automóvil para evitar que se adhiera al molde.

14.- Estopa y gasolina

Para limpiar el equipo y el caso de derrames de emulsión asfáltica.

C.- Procedimiento de la prueba

A continuación se describirá detalladamente el procedimiento que se realizó en los especímenes para conocer el contenido óptimo, este se siguió paso a paso de la misma manera en cada una de ellas para evitar que los datos obtenidos sean diferentes.

Teniendo todo el equipo antes mencionado en la mesa de trabajo, procederemos con el desarrollo de los especímenes con el material pétreo y la emulsión asfáltica, siguiendo los siguientes pasos:

1.- Primeramente se tomarán los pesos de la cuchara y de la charola, los cuales se anotarán de la forma siguiente en una tabla con los datos del material y la emulsión asfáltica:

Prueba de especímenes	
Cilindro	

Contenido mínimo (%)	
Charola (gr)	
Cuchara (gr)	
Material pétreo (gr)	
Emulsión asfáltica (gr)	
Agua (mL)	
Resistencia	

2.- Después de tomar dichos pesos se coloca la bolsa de material junto a la charola y la cuchara así como también la probeta con el agua necesaria para la prueba. Cabe mencionar que la emulsión asfáltica debe de estar agitada para evitar que esta se asiente y se separe.



3.- Se tomara el material el cual se encuentra dividido en gravas y finos los cuales se colocaran en charolas separadas, esto se hace para evitar que la parte fina absorba toda el agua y la emulsión a la hora de verterla



4.- Se tomara el aspersor y se humedecerá la charola que contenga la parte de que corresponde a las gravas y se moverá el material con la ayuda de la cuchara para que no quede alguna partícula seca. En cuanto a la parte fina nuevamente con ayuda del aspersor se le verterá el agua hasta que quede completamente húmeda.



5.- La charola con la parte del material fino por el momento se colocara en un lado de la mesa de trabajo y se trabajara con la charola del material grueso. Se tomara la emulsión asfáltica que previamente había sido pesada conforme al contenido mínimo para el que se esté realizando este espécimen, se verterá casi en su totalidad toda la emulsión dejando un poco de ella en recipiente, se moverá con la

cuchara de tal forma que todo el material grueso quede cubierto por la emulsión asfáltica.



6.- Una vez que se observe que el material que corresponde a la parte gruesa está en su totalidad cubierto, se tomara la parte del material fino que se encuentra en la otra bandeja y se colocara en la parte gruesa así como también la emulsión que se guardó en el recipiente se verterá en dicha charola. Nuevamente con la ayuda de la cuchara se revolverá el material para que este se impregne con la emulsión asfáltica.



7.- Una vez que el material ha sido totalmente cubierto se tomara la bandeja y se expondrá esta al sol, lo cual provocara que el agua se evapore de la emulsión asfáltica que también se le conoce como “ruptura de la emulsión asfáltica”. Es de

suma importancia continuar revolviendo el material con ayuda de la cuchara para asegurar que toda el agua se evapore de forma equitativa.



8.- Para conocer el momento en que la ruptura de la emulsión se a realizado en la mezcla asfáltica, podemos tener como referente el color del material. Se puede ver en la imagen anterior que el color de la muestra es de un tono negro brillante, conforme transcurra el tiempo y con la ayuda del movimiento con la cuchara, el color cambiara a un tono negro mate lo cual nos indica que el agua se ha evaporado en su totalidad, como se muestra en la siguiente imagen.

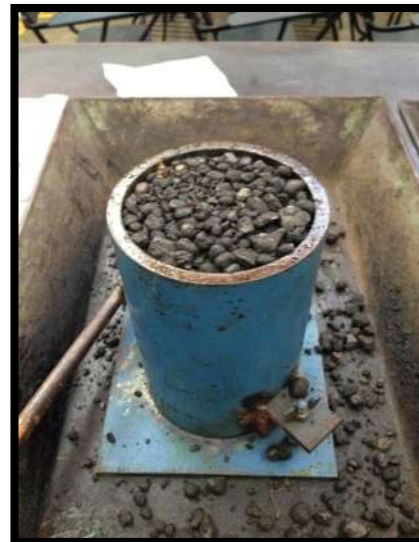


9.- Culminado el proceso de ruptura de la emulsión asfáltica, se tomara la bandeja que contiene al material y se llevara de nueva cuenta al laboratorio. Una vez dentro se tomaran los cilindros que darán forma a los ejemplares los cuales

previamente habrán sido recubiertos en su interior con ayuda de una estopa con aceite lo que evitara que se adhiriera al cilindro, así como también se colocara un círculo de papel en el fondo del cilindro.



10.- Se colocara el cilindro dentro de una bandeja para que el material que salga de este ensucie el lugar de trabajo. La bandeja del material asfáltico se colocara a la derecha de la bandeja que contiene al cilindro y este se tomara colocándolo en 3 capas del mismo grosor, entre cada capa se darán 25 golpes con la varilla de punta de bala para compactar el material.



11.- Nuevamente se colocara un círculo de papel con el diámetro interior del cilindro en la parte superior de la muestra, así como también se pondrá una placa de forma cilíndrica que previamente ha sido impregnada con la ayuda de una

estopa y aceite. Cabe mencionar que se debe tener mucho cuidado de que la placa quede centrada de tal forma que no toque los bordes del cilindro de diseño de los ejemplares.



12.- Se tomara con sumo cuidado el cilindro metálico y se colocara en la prensa hidráulica cuidando que esta quede en el centro para que al aplicar la carga para su compactación se distribuya de manera equitativa. El cilindro se compacta a una presión de 13.000 toneladas (127.53 KN), cuidando que una vez llegada a la presión indicada esta se aplicara durante 5 segundos y se detendrá.

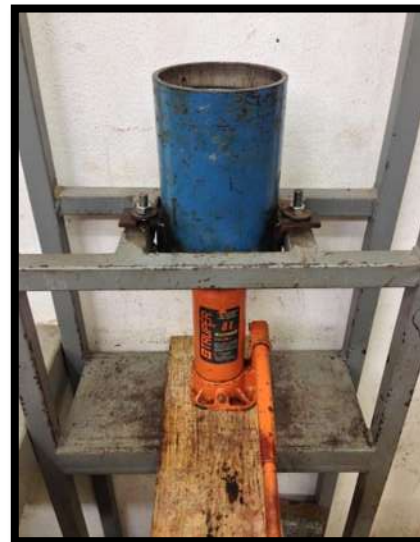


13.- El cilindro se desmontara de la prensa y se pondrá en la mesa de trabajo, y se retirara la placa metálica que se colocó en el cilindro, en caso de que no se pueda retirar dicha placa se pueden dar unos pequeños golpes en los costados del

cilindro para que se afloje un poco. Una vez hecho esto se dejara durante 24 horas la muestra dentro del cilindro para que el material tenga una buena adherencia entre sus partículas.



14.- Transcurrido las 24 horas se procede con la extracción del espécimen del molde con sumo cuidado, para ello nos auxiliaremos de un gato hidráulico y una estructura de donde se ajusta el molde. Se aflojan las abrazaderas del molde para quitar la placa inferior y se coloca en la estructura de apoyo donde se ajustara con tornillos, y se coloca el gato hidráulico debajo de este.



15.- Con sumo cuidado se comenzara con la extracción del espécimen poco a poco para evitar que este se fracture. Se debe sacar con la ayuda del gato completamente la muestra, esto quiere decir que debe salir del molde la parte

superior del gato hidráulico y es ahí cuando se retira el espécimen, el cual se dejara 24 horas en reposo antes de ser probado.



16.- Una vez que pasaron las 24 horas es momento de probar el espécimen, para ello se colocara previamente durante 1 hora al intemperie para que este simule las condiciones a las que está expuesta la carpeta. Se tomara la muestra y se colocara en la prensa hidráulica y se aplicará carga hasta que esta falle y se tomara la lectura.



El procedimiento que se llevó acabo fue el mismo para cada uno de las especímenes probados para la obtención del contenido óptimo de diseño.

D.- Resultado de la prueba

Los resultados obtenidos de los contenidos mínimos usados (4.0 % a 6.5 %) se mostraran en las siguientes tablas las cuales se mostraran en dos columnas distintas las cuales nombraremos como muestras de la línea A y muestras de la línea B

Resultados muestras línea A

Prueba de especímenes	
Cilindro	1 - A
Contenido mínimo (%)	4.0
Charola (gr)	4601.00
Cuchara (gr)	168.00
Material pétreo (gr)	4000.00
Emulsión asfáltica (gr)	260.00
Agua (mL)	53.20
Resistencia (kg)	726.65

Prueba de especímenes	
Cilindro	2 - A
Contenido mínimo (%)	4.5
Charola (gr)	4527.00
Cuchara (gr)	168.00
Material pétreo (gr)	4000.00
Emulsión asfáltica (gr)	292.00
Agua (mL)	53.20
Resistencia (kg)	425.53

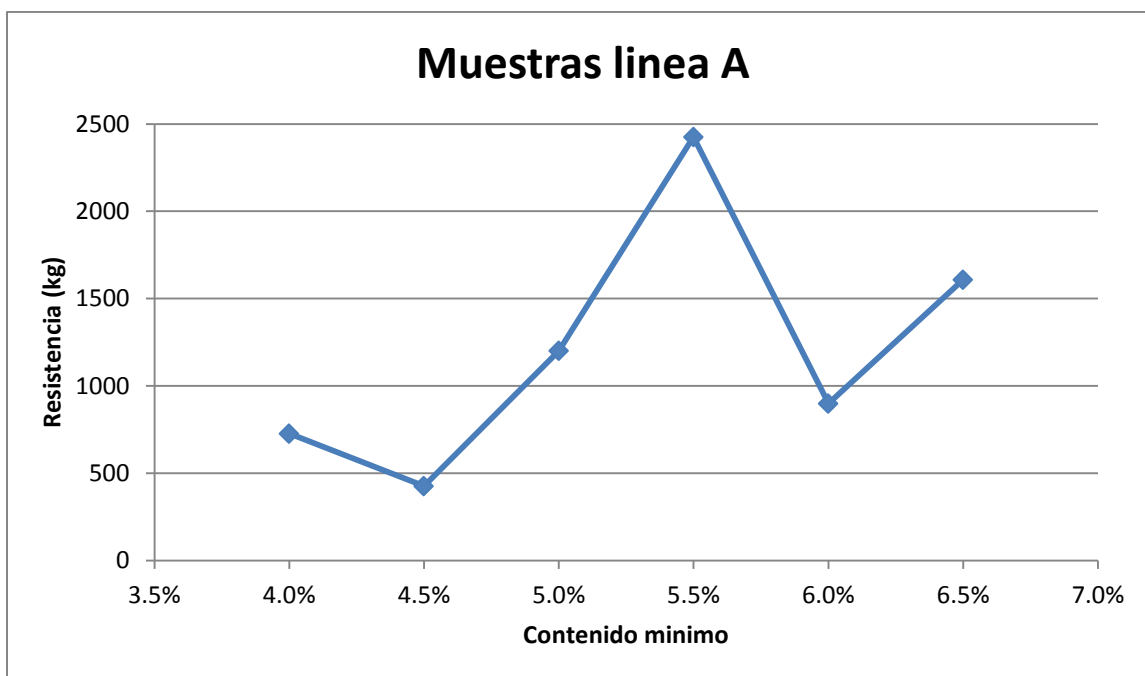
Prueba de especímenes	
Cilindro	3 - A
Contenido mínimo (%)	5.0
Charola (gr)	4527.00
Cuchara (gr)	169.00
Material pétreo (gr)	4000.00
Emulsión asfáltica (gr)	324.00
Agua (mL)	53.20
Resistencia (kg)	1199.83

Prueba de especímenes	
Cilindro	4 - A
Contenido mínimo (%)	5.5
Charola (gr)	4456.00
Cuchara (gr)	176.00
Material pétreo (gr)	4000.00
Emulsión asfáltica (gr)	356.00
Agua (mL)	53.20
Resistencia (kg)	2425.81

Prueba de especímenes	
Cilindro	5 - A
Contenido mínimo (%)	6.0
Charola (gr)	3788.00
Cuchara (gr)	171.00
Material pétreo (gr)	4000.00
Emulsión asfáltica (gr)	388.00
Agua (mL)	53.20
Resistencia (kg)	898.72

Prueba de especímenes	
Cilindro	6 - A
Contenido mínimo (%)	6.5
Charola (gr)	4665.00
Cuchara (gr)	176.00
Material pétreo (gr)	4000.00
Emulsión asfáltica (gr)	420.00
Agua (mL)	53.20
Resistencia (kg)	1608.49

Una vez obtenidos los resultados de las pruebas se graficara el porcentaje de contenido mínimo de emulsión asfáltica contra la resistencia obtenida de cada muestra. Esta grafica nos permite conocer el comportamiento de los especímenes y nos facilita la obtención del contenido óptimo de emulsión.



Resultados muestras línea B

Prueba de especímenes	
Cilindro	1 - B
Contenido mínimo (%)	4.0
Charola (gr)	4600.00
Cuchara (gr)	176.00
Material pétreo (gr)	4000.00
Emulsión asfáltica (gr)	260.00
Agua (mL)	53.20
Resistencia (kg)	748.16

Prueba de especímenes	
Cilindro	2 - B
Contenido mínimo (%)	4.5
Charola (gr)	3740.00
Cuchara (gr)	176.00
Material pétreo (gr)	4000.00
Emulsión asfáltica (gr)	292.00
Agua (mL)	53.20
Resistencia (kg)	490.06

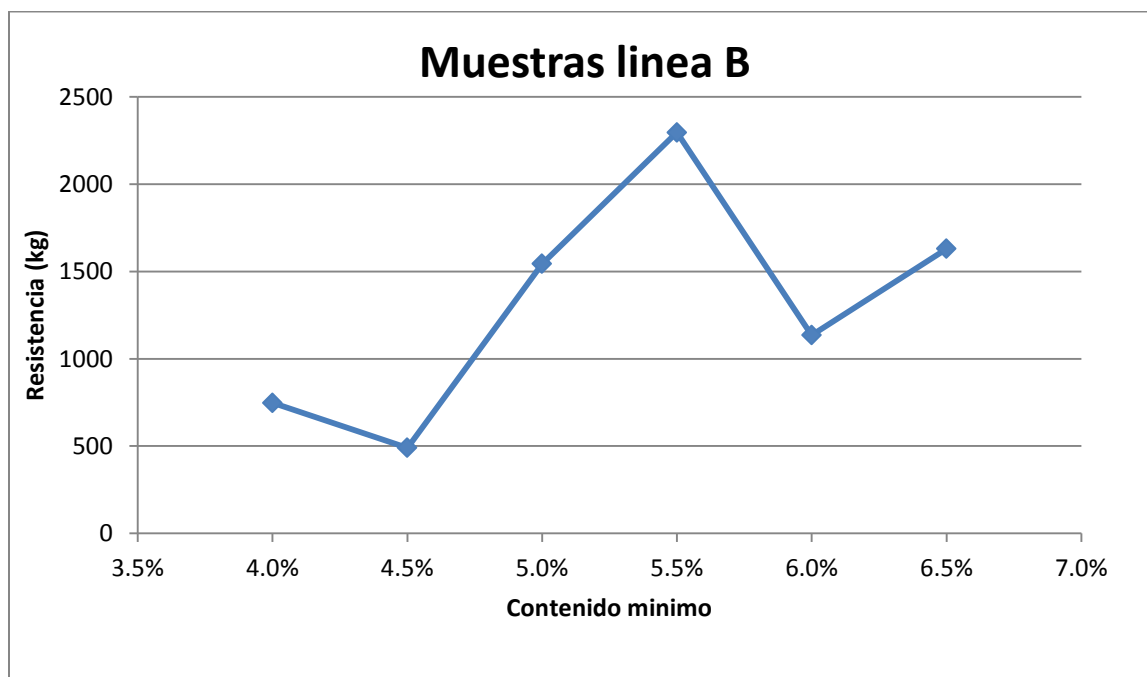
Prueba de especímenes	
Cilindro	3 - B
Contenido mínimo (%)	5.0
Charola (gr)	3740.00
Cuchara (gr)	172.00
Material pétreo (gr)	4000.00
Emulsión asfáltica (gr)	324.00
Agua (mL)	53.20
Resistencia (kg)	1543.97

Prueba de especímenes	
Cilindro	4 - B
Contenido mínimo (%)	5.5
Charola (gr)	4603.00
Cuchara (gr)	286.00
Material pétreo (gr)	4000.00
Emulsión asfáltica (gr)	356.00
Agua (mL)	53.20
Resistencia (kg)	2296.76

Prueba de especímenes	
Cilindro	5 – B
Contenido mínimo (%)	6.0
Charola (gr)	4561.00
Cuchara (gr)	169.00
Material pétreo (gr)	4000.00
Emulsión asfáltica (gr)	388.00
Agua (mL)	53.20
Resistencia (kg)	1135.31

Prueba de especímenes	
Cilindro	6 – B
Contenido mínimo (%)	6.5
Charola (gr)	4674.00
Cuchara (gr)	166.00
Material pétreo (gr)	4000.00
Emulsión asfáltica (gr)	420.00
Agua (mL)	53.20
Resistencia (kg)	1630.00

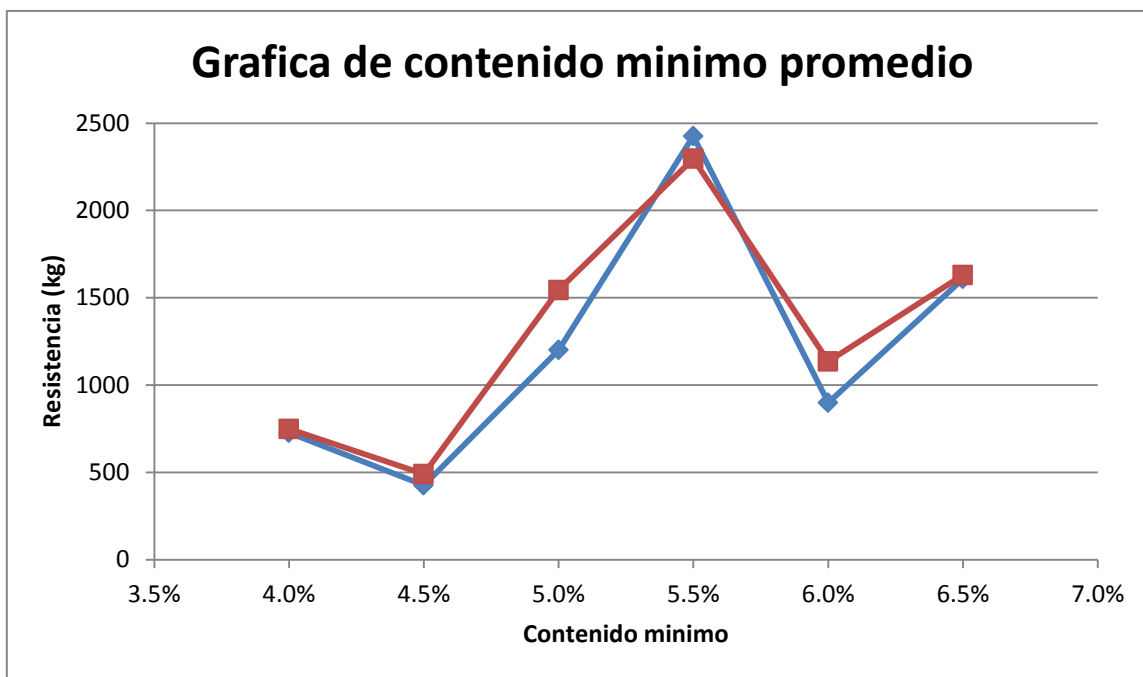
Nuevamente se graficarán los resultados de las pruebas entre el porcentaje de contenido mínimo de emulsión asfáltica contra la resistencia obtenida de cada muestra. Esta gráfica nos permite conocer el comportamiento de los especímenes y nos facilita la obtención del contenido óptimo de emulsión.



Teniendo los datos de ambas líneas de prueba así como sus gráficas, compararemos los resultados obtenidos y trazaremos una nueva gráfica obtenida del promedio de cada contenido mínimo, el cual nos permitirá obtener el contenido óptimo de diseño.

Contenido mínimo Emulsión asfáltica (%)	Resistencia (kg)		Promedio (kg)
	Línea A	Línea B	
4.0	726.65	748.16	737.41
4.5	425.53	490.06	457.80
5.0	1199.83	1543.97	1371.90

5.5	2425.81	2296.76	2361.29
6.0	898.72	1135.31	1017.02
6.5	1608.49	1630.00	1619.25



Como se puede observar el contenido mínimo se encuentra antes del segundo máximo de la gráfica, lo que nos da como resultado un contenido óptimo de diseño de **5.75 %**.

Capítulo V:

Conclusión y

recomendación

Una vez que se pudieron observar los comportamientos de los especímenes que se adicionaron con polvo de neumático, en ambos casos que serían en condiciones normales y saturadas. Pudimos ver su comportamiento en cuanto a cómo afecta el agua al material a comportarse en este estado.

Primeramente al realizar los especímenes pudimos observar que los espacios vacíos se llenaron por el polvo de neumático y por lo tanto se esperaba que la resistencia aumentara, debido a que la transmisión de las cargas aplicadas a cada uno de ellos también se disiparía a través del polvo de neumático.

Esto se pudo corroborar ya que la resistencia sí aumentó conforme al aumento del porcentaje de polvo de neumático, esto nos arrojó un dato esencial ya que se comprobó uno de los problemas a resolver en este trabajo.

En cuanto a los especímenes que se saturaron y que fueron probados de igual manera. Se pudo observar que disminuyó un poco la resistencia pero que la curva que se forma con los demás especímenes sigue la de los especímenes en condiciones normales. Esto nos indica que nuevamente aumenta la resistencia debido al polvo de neumático.

Finalmente obtenemos el veredicto final que nos indica que el uso de polvo de neumático sí mejora la resistencia del material junto con la emulsión asfáltica. Como se mencionó antes ayuda a la disipación de las cargas.

Se recomienda el uso de polvo de neumático para el desarrollo de carpetas asfálticas siempre y cuando tanto la granulometría como la emulsión asfáltica cumplan con todos los requisitos normados por la SCT.

Basándonos en estudios también se puede saber que este es uno de los materiales más difíciles de reciclar y el uso de polvo de neumático nos da la oportunidad de darle un correcto uso a este material que prácticamente se desecha y no se recicla.

Por lo que es una manera muy fácil de ayudar al medio ambiente para evitar la contaminación de zonas de desperdicio de neumáticos que solo generan una gran cantidad de desperdicio.