



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN  
NICOLÁS DE HIDALGO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**MAESTRÍA EN INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE EN LA RAMA DE LAS  
VÍAS TERRESTRES**

***“Emulsiones asfálticas; análisis de sus propiedades y  
comportamiento mecánico en mezclas asfálticas para  
aplicaciones en mezclas asfálticas”.***

# **Tesis**

**Que para obtener el título de:**

**Maestro en Infraestructura del Transporte en la Rama de las Vías  
Terrestres.**

**Presenta:**

**Ingeniero Civil Isaid Campa Domínguez**

**Asesor:**

**Doctor en Ingeniería Mario Salazar Amaya**

Morelia Mich., septiembre del 2015

## **Agradecimientos**

### **A mis padres**

*Por dedicar su tiempo y esfuerzo a mi formación como persona, gracias a ustedes estoy cumpliendo un logro más agradezco con incondicional cariño.*

### **A mis hermanos y hermanas**

*Han sido y serán el motor de mis esfuerzos, agradezco por su ayuda en todo momento.*

### **A mis profesores**

*Por ser ejemplo de cabalidad y personas con una gran calidad humana.*

### **A mis colegas investigadores y expertos en asfaltos**

*Por permitirme ser parte de un grupo único, por su ayuda en la elaboración de los trabajos de tesis y sus consejos profesionales.*

### **Fernanda Dzoara Lázaro Oribio**

*Por ser quien me dio la fuerza de salir adelante y superar cada día los retos que la vida puso en mi camino.*

	<b>Índice</b>
<b>Resumen</b>	1
<b>Abstract</b>	1
<b>Capítulo I: Introducción</b>	
1.1.- Introducción	2
<b>Capítulo II: Generalidades</b>	
2.1.- Antecedentes históricos	5
2.1.2.- Antecedentes históricos de las Emulsiones Asfálticas en México	7
2.2.- Emulsión asfáltica	9
2.2.1.- Conceptos fundamentales	9
2.3.- Emulsificante	13
2.4.- Teoría de las emulsiones	14
2.5.- Clasificación de emulsiones asfálticas	16
2.5.1.- Clasificación según el origen	17
2.5.2.- Clasificación según el tipo de fase	17
2.5.3.- Clasificación de acuerdo con el emulsificante empleado	19
2.6.- Fabricación	19
2.6.1.- Técnica en México	19
2.6.2.- Fabricación contemporánea	20
2.7.- Almacenamiento	21
2.8.- Rotura de la emulsión	23
2.9.- Emulsificación de asfaltos; características del asfalto para ser emulsificado	23
2.10.- Toma de muestras en emulsiones asfálticas	24
2.11.- Ventajas en el uso de emulsiones asfálticas	25

### **Capítulo III: Caso práctico Pruebas de laboratorio**

3.1.- Pruebas en laboratorio	28
3.1.1.- Pruebas en emulsiones asfálticas	28
3.2.- Material de prueba para caso practico; emulsiones asfálticas	31
3.2.1.- Pruebas de laboratorio a emulsiones asfálticas	34
3.2.2.- Descripción de pruebas	35
3.2.2.1.- Carga eléctrica de las partículas de emulsiones asfálticas	35
3.2.2.2.- Destilación de emulsiones asfálticas	37
3.2.2.3.- Penetración en residuos asfálticos	40
3.2.2.4.- Determinacion del potencial de hidrogeno (pH)	44
3.2.2.5.- Viscosidad Saybolt - Furol en materiales asfálticos	45
3.2.2.6.- Punto de reblandecimiento	48
3.2.2.7.- Punto de inflamación Cleveland	51
3.2.2.8.- Ductilidad en residuos asfalticos	54
3.2.2.9.- Asentamiento de emulsiones asfálticas	57
3.3.- Resultados de las pruebas realizadas a las emulsiones asfálticas	60
3.4.- Material de prueba para caso practico; agregado pétreo	62
3.4.1.- Ubicación del banco de materiales “Los Nogales”	62
3.4.2.- Pruebas de laboratorio al material pétreo	64
3.4.2.1.- Muestreo de materiales pétreos	65
3.4.2.2. - Granulometría del material pétreo	67
3.4.2.3. - Peso volumétrico seco y suelto en materiales pétreos (P.V.S.S.)	73
3.4.2.4.- Desgaste mediante la prueba de los ángeles de materiales pétreos	76
3.4.2.5.- Equivalente de arena de materiales pétreos	79
3.4.2.6.- Densidad y absorción en materiales pétreos	83
3.4.2.7.- Calidad de materiales pétreos	86

## **Capítulo IV: Diseño y prueba de especímenes**

4.1.- Cálculo de porcentaje de material pétreo para especímenes de prueba	88
4.2.- Calculo del contenido mínimo de la emulsión asfáltico	92
4.3.- Calculo de diseños de pastillas de prueba con los contenidos mínimos	98
4.4.- Diseño y prueba de pastillas con contenidos mínimos	99
4.4.1.- Resultados muestras línea A	110
4.4.2.-Resultados muestras línea B	111
4.4.3.- Contenido mínimo promedio	113
4.4.4.- Interpretación de resultados	114
4.5.- Diseño y prueba de pastillas con contenidos mínimos elaborados con emulsión asfáltica modificada con SBS dibloque	115
4.5.1.- Marco de referencia	115
4.5.2.- Pruebas de laboratorio	116
4.5.2.1.- Métodos y sistemas constructivos en los que se emplean emulsiones modificadas actualmente	116
4.5.3.- Diseño de mezcla asfáltica en frío con emulsión asfáltica modificada	117
4.5.3.1.- Objetivo General	117
4.5.3.2.- Objetivos específicos	117
4.5.3.3.- Metodología de trabajo	118
4.5.3.4.- Calidad de la emulsión asfáltica modificada	119
4.5.4.- Datos de referencia para diseño	119
4.5.5.- Datos de especímenes elaborados	122
4.5.6.- Representación gráfica línea A	124
4.5.6.- Representación gráfica línea B	125
4.5.7.- Contenido mínimo promedio	126
4.5.8.- Contenido óptimo	126

## **Capítulo V: Comparativo**

5.1.- Comparativo: mezcla asfáltica elaborada con emulsión asfáltica convencional y emulsión asfáltica modificada con SBS dibloque 128

5.1.2.- Comparativo entre especímenes para la obtención del contenido mínimo de asfalto 128

5.6.2.- Comparativo especímenes en la obtención del contenido óptimo de asfalto 131

## **Capítulo VI: Interpretación de resultados**

6.1.- Resultados de la mezcla asfáltica elaborada con emulsión asfáltica convencional 135

6.1.1.- Resultados de ensayos para la obtención del contenido mínimo óptimo de material asfáltico en masa para una mezcla de emulsión convencional y agregado pétreo de origen volcánico 135

6.2.- Resultados de la mezcla asfáltica elaborada con emulsión asfáltica convencional 136

6.2.1.- Resultados de ensayos para la obtención del contenido mínimo óptimo de material asfáltico en masa para una mezcla de emulsión modificada con SBS dibloque y agregado pétreo de origen volcánico 136

## **Capítulo VI: Conclusiones y recomendaciones**

7.1.- Conclusiones y recomendaciones del comportamiento de ambas mezclas 140

## **Capítulo VIII: Bibliografía**

143

## **Resumen**

El presente documento es un trabajo de investigación enfocado a temas que competen a la ingeniería civil, en caso particular para México. El tema se enfoca en el estudio de un método de diseño para la elaboración de mezclas asfálticas elaboradas en frío con emulsiones asfálticas, siendo de tal forma que se presentan el documento desde los antecedentes en el país desde las primeras aplicaciones hasta los días actuales, haciendo con ello punto de partida a las técnicas empleadas actualmente; en caso particular el método de diseño conocido como “compresión axial y diametral”, siendo limitado para esta investigación adaptado solamente para efectuar la parte de diseño que comprende a la compresión axial y todas las pruebas y procesos que se realizan para lograr obtener un contenido mínimo óptimo de material ligante, para este caso en particular y motivo de estudio las emulsiones asfálticas. Este trabajo relaciona el acontecer actual de las emulsiones asfálticas así como de un caso práctico de diseño en el que se comparan el comportamiento de una mezcla asfáltica en frío elaborada con una emulsión estándar contra una mezcla asfáltica en frío elaborada con una emulsión asfáltica modificada con SBS dibloque.

## **Abstract**

This document is a research focused on issues that fall within the civil engineering, particularly for Mexico case. The theme focuses on the study of a design method for the production of cold asphalt mix made with asphalt emulsions, being such that the document presented from the background in the country since the first applications until today, making thereby starting point to the techniques currently used; particularly if the design method known as "axial and diametral compression", being limited to this research adapted only to perform the part design comprising axial compression and all tests and procedures that are performed in order to obtain a minimum content optimum binder material, for this particular case being studied and the asfalticas emulsions. This work relates the current events of asphalt emulsions as well as a case study design in which the behavior of a cold mix asphalt made with standard emulsion against a cold mix asphalt made with SBS diblock modified asphalt emulsion.

**Palabras clave:** emulsión, asfalto, SBS, mezcla asfáltica, carreteras.

**Key words:** emulsion, asphalt, SBS, asphalt mix, roads.

# Capítulo I

# Introducción

## **1.1.- Introducción**

En los últimos años, el esfuerzo de muchas empresas se ha dedicado al desarrollo de los materiales asfálticos para la construcción de carreteras ya que cada día aumentan las especificaciones y son aún más estrictas. La tecnología se ha enfocado en el desarrollo de carpetas asfálticas con mayor duración, impermeable, resistencia los rayos ultravioleta, mayor adhesión al asfalto, entre muchas otras. Todo esto nos permite tener un gran campo de investigación para nuevos materiales asfálticos.

Como se mencionó anteriormente existen distintas líneas de investigación en el campo de aplicación de las carpetas asfálticas, en nuestra investigación usaremos emulsiones asfálticas las cuales en los últimos años ha cobrado un gran interés debido a las ventajas que tiene este tipo de emulsiones para resolver problemas anteriormente planteados, ya que esta nos permite una aplicación a temperaturas bajas, así como un control en el tiempo de rompimiento de la emulsión asfáltica.

El objetivo de este trabajo es conocer el comportamiento de la emulsión asfáltica con la adhesión de polvo de neumático y conocer su comportamiento tanto en condiciones normales como bajo condiciones de saturación. Para ello conoceremos todas las características de la emulsión como del material pétreo en estudio.

# **Capítulo II**

# **Generalidades**

## **2.1.- Antecedentes históricos**

Cuando se pretende escribir la historia de un producto industrial o de un procedimiento tecnológico resulta, con frecuencia, difícil definir la fecha del descubrimiento, o el nombre de su autor. No hay duda de que los primeros ligantes utilizados en carretera fueron alquitranes (se considera el año 1854 como el año en el que se realizó la primera pavimentación de carreteras, en la plaza Sallinis en Auch <Gers, Francia>, utilizando alquitrán fluido procedente de una fábrica de gas).

El químico inglés Hugh Alan Mackay presentó una patente (nº 202.201, el 9 de mayo del 1922) sobre la emulsión de asfalto. Se puede decir que este acontecimiento marcó el punto de salida de una nueva generación de ligantes de carreteras que, en pocos años, cambiaría profundamente la técnica de los tratamientos superficiales.

En la construcción de caminos se empleó por primera vez la emulsión asfáltica en el año de 1905 en la ciudad de Nueva York siendo esta una emulsión aniónica que era utilizada en los riegos preventivos contra el polvo, en 1914 el estado de Indiana comenzó a realizar trabajos de reparación de caminos con las emulsiones. Este mismo año en Hamburgo, Alemania se construyó una carpeta asfáltica con un tratamiento superficial de varios riegos, empleando como ligante una emulsión estabilizada con arcilla, muy activa como emulsificante.

Aunque los resultados fueron buenos, posteriormente se observó que podría haber una acción reversible, como consecuencia de la humedad y el tránsito de vehículos.

Las emulsiones aniónicas se empezaron a usar en Europa en 1925, aprovechando los ácidos naftenicos contenidos en el asfalto que actúan como emulsiones al agregar agua con sosa cáustica y sometida a una energía de agitación de la masa de los líquidos. En México las emplearon por primera vez las compañías extranjeras que trabajaban en el país en los años de 1930 y 1935.

En 1953 aparecieron por primera vez Las emulsiones catiónicas en Europa y en 1958 en Estados Unidos. Al principio estas emulsiones se emplearon únicamente en la construcción de tratamientos superficiales con riegos de liga y de sello. Al reconocer la ventaja de las emulsiones catiónicas sobre las aniónicas y las rebajadas, se inició la búsqueda de un emulsificante que produjera una emulsión de rompimiento lento capaz de mezclarse con los materiales pétreos para bases y carpetas.

Por ello, al aparecer los rebajados asfálticos ganaron la preferencia del constructor durante más de 30 años y hasta principios de los 90's no habían podido ser desplazados totalmente.

En 1953 las emulsiones catiónicas aparecieron en Europa y en 1958 en Estados Unidos. Aparentemente, su aplicación inicial en la construcción de caminos coincidió con la aparición de nuevos productos químicos tensoactivos en el mercado, que además tienen otros empleos en la industria de la pintura, petrolera, textiles, etc. Al principio, tales emulsiones se usaron únicamente en la construcción de tratamientos superficiales cho riegos de liga y de sello. Al reconocer la ventaja de las emulsiones catiónicas sobre las aniónicas y los rebajados de inició la búsqueda se un emulsificante que produjera una emulsión de rompimiento lento, capaz de mezclarse con materiales de una granulometría para base o carpeta.

### **2.1.2.- Antecedentes históricos de las Emulsiones Asfálticas en México**

Las emulsiones catiónicas se conocieron en México en 1960. Se hicieron pruebas y varios ingenieros mexicanos presentaron en el Congreso Panamericano de Carreteras de Bogotá, Colombia, un trabajo titulado: "Primeras Investigaciones Realizadas en México con Emulsiones Asfálticas Catiónicas".

Desde esa fecha la Técnica mexicana ha progresado enormemente y aunque su producción no lo refleja debido a otros factores, la aplicación de las emulsiones asfálticas se hace con lo mejor de la ingeniería moderna.

El crecimiento de la población en el mundo se ha traducido en el crecimiento desmesurado de áreas urbanas existentes, así como en la planeación y construcción de nuevas vías de comunicación. Este fenómeno se encuentra aparejado con necesidades de orden social, económico, cultural, etc.

De manera frecuente podemos observar el crecimiento de las áreas urbanas en los que es palpable la carencia de viviendas, empleos, servicios de salud, etc. Problemas que no pueden ser resueltos satisfactoriamente por demandar para ello la aplicación de fuertes inversiones que en numerosas ocasiones deben realizarse a un ritmo menor que el correspondiente a la demanda.

En el renglón de servicios destaca el relativo a la pavimentación no solo por la importancia que en si reviste desde el punto de vista, sino por el monto de inversión inicial requerido y sobre todo, por el correspondiente costo de conservación y mantenimiento.

Las emulsiones aparecieron en el mercado a principios del siglo XX en diferentes lugares y con usos muy variados. La construcción de caminos empleó por vez primera la emulsión aniónica en riegos preventivos contra el polvo. Esto ocurrió en Nueva York en 1905 y lo reportó J.G. Campazzi en su libro; en 1914 en el estado

de Indiana comenzó a realizar trabajos de reparación de caminos empleando estas emulsiones.

El mismo año en Hamburgo, Alemania, se construyó una carpeta asfáltica con un tratamiento superficial de varios riegos, empleando como lingote una emulsión estabilizada, con arcilla muy activa como emulsionante. Aunque los resultados no fueron buenos, posteriormente se observó que podría haber una acción reversible, como consecuencia de la humedad y el tránsito de vehículos.

Las emulsiones aniónicas se comenzaron a emplear en Europa en 1925. Aprovecharon los ácidos naftenicos contenidos en el asfalto actúan como emulsificantes al agregar agua con sosa cáustica y sometido a una enérgica agitación la masa de los dos líquidos.

En México las usaron por primera vez las compañías extranjeras que trabajaban en el país en 1930-1935. Se les empleó en las carreteras de San Martín Texmelucan a Tlaxcala, (camino colonial), de México a Pachuca. de México a Laredo (km 65), y en calles de la ciudad de México, como Paseo de la reforma, San Juan de Letrán y Avenida Juárez. el gran inconveniente fue su prolongado tiempo de rompimiento, que en la época de lluvias causaba retrasos y graves problemas de construcción.

En 1973 los países árabes, poseedores de la mayoría del petróleo mundial, aumentaron el costo del barril de petróleo crudo resultando afectados los derivados del mismo, entre ellos los solventes empleados en los asfaltos.

Los usos dados a las emulsiones en los diferentes países obedecen al tipo de construcción predominantemente y a la política que siguen los diferentes departamentos de caminos.

## **2.2.- Emulsión asfáltica**

### **2.2.1.- Conceptos fundamentales**

Emulsión: Se define como *“una dispersión en forma de partículas muy finas de un líquido en el que no es soluble”*.

Un equivalente, podría ser la propuesta del estándar Francés NF EN ISO 862 (NF T73-000) de octubre de 1995: *“Sistema heterogéneo con dos o más fases líquidas consistiendo de una fase líquida continua y al menos una segunda fase líquida dispersa en la primera en la forma de gotas finas”*.

De la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada, quien identifica la nomenclatura de los compuesto químicos, proporciona la definición siguiente: La definición es suficientemente general en naturaleza, para aplicar a muchos productos de uso diario y que son tan diferentes como la leche, mayonesa, algunas cremas de belleza, mantequilla, pinturas o emulsiones asfálticas “inodoras”, todas compartiendo la propiedad de consistir al menos parcialmente en un líquido disperso en otro.

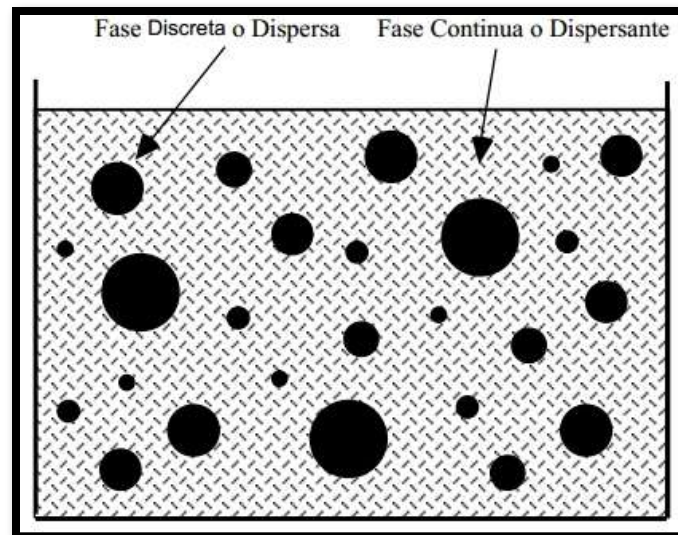
Por lo tanto, una emulsión cae en la categoría de las dispersiones, que incluyen la mezcla de una fase *“discontinua”* en forma de partículas dentro de otra fase *“continua”*. Un claro ejemplo son las suspensiones donde la fase dispersa en un sólido presente en una fase continua es líquida.

El mismo nombre de emulsión es más bien derivado directamente de leche, ya que en latín el verbo *emulgere*, cuyo pasado participio es *emulsus*, significa “ordeñar” o “extraer”.

Se llama suspensión al sistema material heterogéneo conformado por un sólido y un líquido; estando el primero disperso en el segundo. El sistema material

heterogéneo formado por dos fases líquidas (una dispersa en la otra) recibe el nombre de emulsión.

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.



**Imagen 2.1:** Fase discreta y continua en una emulsión.

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.

Las áreas de aplicación de las emulsiones son:

- En Física: Nucleación, metalurgia, aleaciones, cerámicas, cementos, polímeros, filtros, aerosoles, espumas, electroforesis, 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, emulsificante, colorantes, papel, lubricantes, recubrimientos, pigmentos, espesantes, etc.
- En Biología: Micro-encapsulación, virus, proteínas, ácidos nucleicos, hematología, alimentos, cosméticos, saborizantes, 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.

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.

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).

Una emulsión es diferente de una solución, que consiste en una mezcla de dos componentes miscibles, por ejemplo; agua y alcohol en las bebidas alcohólicas. En este caso, uno tiene que llegar a nivel molecular para encontrar la presencia de alguno de los dos componentes. En otras ocasiones, aunque no siempre, es suficiente examinar una emulsión bajo el microscopio para ver que consiste en varios componentes.

Una emulsión es vista como un estado mezclado, impuesto y calificado de manera general como termodinámicamente inestable o metaestable. Esto significa que todas las fuerzas naturales tienden a separar completamente los dos líquidos que formarían el estado estable, pero en escalas de tiempo que varían lo suficiente para permitir que una emulsión exista por un periodo tan corto como unos segundos o hasta por algunos años, dependiendo del caso particular. Las emulsiones son sistemas en evolución.

Lo anterior implica que una acción externa puede hacer que dos líquidos se mantengan en forma de una emulsión por cierto tiempo. En todos los casos, uno debe primero fragmentar el líquido que será dispersado en gotas, finas, por ejemplo mediante la aplicación de energía mecánica y después estabilizar las gotas formadas con uno o más componentes, conocidos como emulsificantes.

Podemos entonces definir a las emulsiones desde el punto de vista físico-químico, como una dispersión fina más o menos estabilizada de un líquido en otro, no miscibles entre sí.

### 2.3.- Emulsificante

El emulsificante es un compuesto orgánico de peso molecular relativamente elevado (entre 100 y 300); tienen una parte hidrofóbica (generalmente es una cadena hidrocarbonada ya sea lineal o cíclica) que es soluble en el medio orgánico (en nuestro caso en el asfalto) y una parte hidrofílica (generalmente es un grupo polar de tipo orgánico o inorgánico), soluble en el medio acuoso.

El emulsificante está compuesto generalmente por un radical alquilo R el cual es hidrofóbico y un componente hidrofílico, que se encuentran saponificados y con el contacto con el agua se disocian, quedando con cargas negativas o positivas según el tipo de emulsificante.

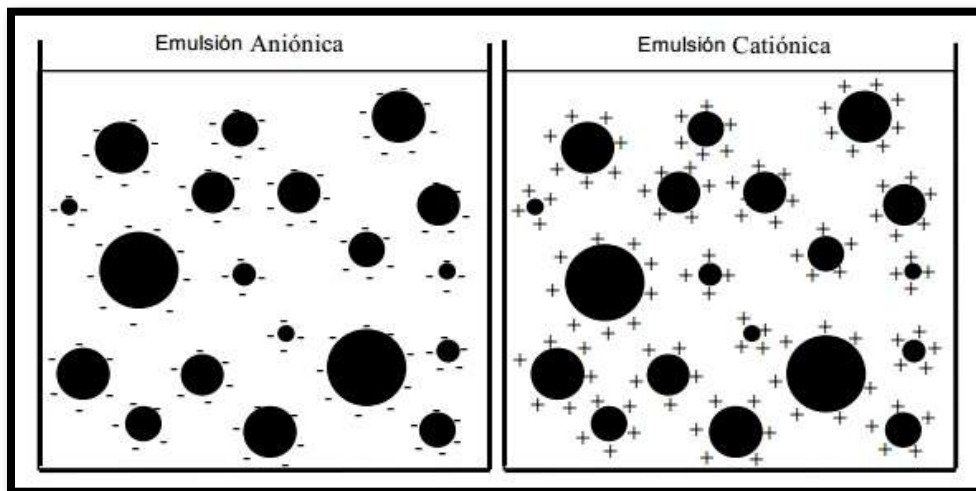


Imagen 2.2: Emulsión catiónica y aniónica.

El tipo de emulsificante define el tipo de emulsión: los emulsificantes aniónicos, tienen grupos ácidos en su parte hidrofílica, con carga eléctrica negativa; éstos tienen como fórmula general:  $R-COONa$

Los emulsificantes catiónicos son generalmente grupos aminos con carga eléctrica positiva y con fórmula general  $R-NH_3Cl$ .

## **2.4.- Teoría de las emulsiones**

Dentro de una emulsión, los líquidos que la forman constituyen dos partes que se llaman, respectivamente: a) Fase dispersa o discontinua b) Fase dispersan o continua

Existen dos tipos de emulsiones según la concentración de cada una de esas fases: *una emulsión directa* es aquella en que la fase acuosa hidrocarbonada está dispersa en la parte acuosa; *en la inversa*, la fase acuosa está dispersa en la parte hidrocarbonada. Las del primer tipo son las que más se emplean en la industria caminare. Las inversas han recibido el nombre de emulsiones de alta flotación ("high float") y han adquirid bastante popularidad en Estados Unidos.

Por razones de simetría en la acción capilar, los glóbulos de asfalto de la emulsión son de forma esférica.

Es preferible el empleo de las emulsiones directas por su baja viscosidad a temperatura ambiente. El tamaño promedio del glóbulo de asfalto es de 2 a 6 micras, tan pequeño que hace aumentar la superficie de contacto del asfalto. Esto favorece el mojado repartición y cohesión con el material pétreo. Para percatarse de la facilidad que representa una emulsión en el cubrimiento de los agregados, de puede analizar su dispersión.

Por ello se afirma que una emulsión tiene mas facilidad para cubrir los materiales pétreos que los rebajados o cementos asfálticos.

El emulsificante define el tipo de emulsión: las aniónicas con carga del glóbulo negativo y las catiónicas, positivas.

Los emulsificantes catiónicos y aniónicos son compuestos orgánicos de peso molecular relativamente elevado; su parte hidrocarbonada lineal o cíclica es

soluble en el asfalto. Los emulsificantes tienen grupos ácidos y los catiónicos grupos amónicos que *se encuentran saponificados; en su parte polar es soluble en el agua e hidrófila.*

Estos productos son los que, producida la emulsión, se sitúan en su mayor parte en la "interfase". Su parte polar orgánica se dirige hacia el asfalto y su parte polar inorgánica hacia el agua. Con estos emulsionantes iónicos. los glóbulos adquieren cargas eléctricas del mismo signo, repeliendo entre ellos.

Influyen sobre su comportamiento, de acuerdo con su tipo y concentración, en presencia de una superficie mineral. *Pasando un tiempo determinado, las emulsiones depositan sobre esa superficie una película de ligante. Este fenómeno se conoce como ruptura.*

Previamente, la emulsión pasa por un intervalo en el que se concentra su porcentaje de asfalto, convirtiéndose en una emulsión totalmente rota; imposible de revertirse aun en presencia de humedad.

En general, los factores que influyen en la ruptura de una emulsión aniónica son: la evaporación de la fase acuosa, la difusión del agua de la emulsión y, en menor grado, factores físico-químicos y la absorción superficial de una parte del emulsificante en el material pétreo.

*La absorción puede ser de la parte polar ácida y ácidos grasos que efectúan su reacción con el material, lo cual destruye la película protectora, haciendo depositar el ligante sobre el agregado, esto origina la ruptura de una emulsión catiónica.*

Esta absorción de la parte polar del jabón por los agregados, provoca la ruptura de la emulsión, haciendo que los glóbulos de asfalto se adhieran inmediatamente a las partículas del material pétreo, aun en presencia de humedad.

Ese fenómeno, en la mayoría de los casos, mejora la adherencia y permite una mejor distribución de la mezcla dentro de la masa.

Las citadas propiedades de las emulsiones catiónicas, permiten proseguir los trabajos en regiones con climas húmedos o durante la temporada de lluvias. La perfecta liga del asfalto con el material pétreo, garantiza la apertura de caminos al tránsito en un periodo corto de tiempo.

*La clasificación de las rocas tiene en cuenta la proporción de sílice que contienen: ácidas, son las que tienen más del 66 por ciento de dióxido de silicio (Si O<sub>2</sub>); intermedias, las que tienen entre 52 y 66 por ciento del mismo mineral y básicas, las que contienen menos de 52 por ciento.*

## **2.5.- Clasificación de emulsiones asfálticas**

Su clasificación puede hacerse basándose en un número de criterios que expresen las diferencias que todos pueden observar entre las emulsiones ampliamente conocidas que ya fueron mencionadas.

Podemos entonces clasificar por su origen (natural o artificial), en este aspecto también las emulsiones pueden distinguirse por sus componentes, y primeramente el tipo de fase, por ejemplo; continua, que a su vez puede ser acuosa o no acuosa.

La cantidad o tamaño de gotas de la fase dispersa pueden ser también un criterio, así como el tipo de emulsificante.

A continuación su clasificación:

### **2.5.1.- Clasificación según el origen**

En esta la distinción se esta volviendo cada vez más difícil de realizar, ya que la mayoría de las emulsiones naturales pasan por un número de tratamientos en el intervalo de su extracción natural y su uso final, así que llamar “emulsión natural” no es 100% “natural”.

El ejemplo más sencillo de una emulsión natural es bastante conocido, esta es la leche de los mamíferos; es una emulsión que contiene entre 1.5 y el 1.8% de materia grasa dispersa en un suero, en forma de gotas con un diámetro típico promedio de 4 micrones.

La mantequilla también forma una emulsión aunque en este caso en forma de una solución acuosa con 80-95% de materia grasa [1\*]. Se deriva de una fuente natural (leche) pero es obtenida después de un número de diferentes operaciones cuyo propósito es concentrar la materia grasa de la leche hasta que se convierte en una fase continua.

Existe también una sabia natural exudada de algunos árboles, como el árbol de hule, el cual deriva su nombre “látex” por la apariencia de la leche (en latín *látex* significa “licor” y viene de la misma raíz que “leche”), a tal punto que también son llamadas leches vegetales.

### **2.5.2.- Clasificación según el tipo de fase**

Habitualmente las emulsiones son clasificadas por el tipo de fase como fase continua. Ya que las emulsiones usadas con más frecuencia son las basadas en

una fase acuosa y una fase oleosa, aquellas con una fase acuosa continua y fase oleosa dispersa con conocidas como **emulsiones directas**.

Las emulsiones con un a fase continua oleosa y una fase acuosa dispersa con conocidas como emulsiones de agua en aceite.

En la realidad, las emulsiones tienen a menudo morfologías más complejas y la fase dispersa puede ser en sí una emulsión, controlada o no. En tales casos, el término usado es el de **doble emulsión** o **emulsión múltiple**.

Clasificación de acuerdo con el tamaño de partículas

Es con esta clasificación como las emulsiones son frecuentemente clasificadas basándose en el tamaño de sus partículas, esto es de sus gotas. Sin embargo, esto representa dificultad en la nomenclatura que ocasionalmente es contradictoria por antecedentes históricos.

Ejemplo de ello es debido a que con frecuencia se refieren a las **microemulsiones** como emulsiones extremadamente finas con tamaño de partícula en el rango de 10 a 50 nm. Tal tamaño de partícula limita las interacciones con la luz, haciéndolas esencialmente transparentes. Las patentes iniciales fueron archivadas a finales de los 20's pero no se registraron en contexto ni con los orígenes de la fórmula.

Hoy día, existen microemulsiones comerciales ara una gran variedad de aplicaciones. También están siendo intensamente estudiadas para la recuperación asistida de petróleo crudo, ya que éstas permiten que cerca del 20% del petróleo residual en los pozos sea extraído y que de otra manera permanecería sin usar.

### **2.5.3.- Clasificación de acuerdo con el emulsificante empleado**

Las emulsiones que usan un surfactante como emulsificante son denominadas con el mismo nombre del surfactante, así que uno habla de emulsiones aniónicas, emulsiones catiónicas, no iónicas o emulsiones anfotéricas.

El emulsificante es el encargado de aportarle a la emulsión su polaridad, generar un equilibrio físico entre el asfalto y el agua a nivel microscópico, y evitar que durante el almacenamiento de la emulsión estas dos fases no se vuelvan a juntar. Existen cuatro tipos diferentes de emulsificantes:

- Emulsificante catiónico.
- Emulsificante aniónico.
- Emulsificante no iónico.
- Emulsificante anfótero.

## **2.6.- Fabricación**

### **2.6.1.- Técnica en México**

El equipo de producción para la fabricación de emulsiones es muy sencillo y fácil de conseguir en el mercado. Lo que realmente tienen problema, es la formulación de las emulsiones que deben adaptarse a los materiales pétreos y no éstos a las emulsiones, como muchas empresas productoras creen.

Una fábrica puede ser muy reducida y tener todos los adelantos necesarios para estar al día en maquinaria y accesorios. Puede construirse en locales rústicos, adaptados únicamente para la producción, independientemente del aspecto arquitectónico.

En 1964, en México se instaló la primera fábrica de emulsiones en la ciudad de Irapuato, Gto., propiedad de C.P.F.I.S.C. (camino y puentes federales de ingresos y servicios conexos), que estaba equipada con todos los adelantos necesarios de automatización.

En 1966 la iniciativa privada construyó en el estado de Tabasco una fábrica no muy grande, con una producción de 10 a 20 millones de litros anuales, que cerró en 1971, por haberse instalado una del gobierno en la misma zona y se trasladó al Estado de Hidalgo, a 30 kilómetros de la Ciudad de México.

En 1970 C.P.F.I.C. instaló en la Chontalpa, Tab., una segunda planta que ha tenido bastante éxito por estar localizada en una de las zonas más lluviosas del país. Esta fábrica y la de Irapuato, Gto. tienen una producción máxima de 60 millones de litros anuales cada una, gracias al equipo y capacidad de almacenamiento con que cuentan.

Se instalaron plantas desde entonces de empresas como: CIA. GUERRA, S.A., en Tabasco, BITUMEX, S.A., en Veracruz, y SELLOS ASFALTICOS en Guadalajara Jal.

### **2.6.2.- Fabricación contemporánea**

Las emulsiones asfálticas se fabrican en instalaciones que constan de equipamientos para la dispersión del ligante asfáltico en agua. La calidad del producto, dependerá de ciertos elementos mecánicos que son los siguientes:

- Sistemas de almacenamiento de materias primas.
- Sistemas de calentamiento, alimentación, transporte del ligante y del agua.
- Sistemas de fabricación compuestos por homogeneizadores, difusores y molino coloidal.

El molino coloidal consta de un rotor y un estator en el cual el primero gira entre 3000 y 3500 rpm contra el estator fijo. Este sistema produce un efecto de corte y cizallamiento a la mezcla que se introduzca en el mismo, en el cual el asfalto puede ser suministrado al molino por gravedad o inyectado bajo presión. La distancia de separación entre rotor y estator es un punto fundamental a hora de formar la emulsión, ya que una separación menor entre ellos producirá una mejor dispersión del asfalto en la fase acuosa.

## **2.7.- Almacenamiento**

El almacenamiento de emulsiones puede hacerse en fosas, tanques enterrados, a nivel, etc. Las únicas precauciones que se deben tomar son las siguientes:

- Los depósitos deben estar libres de grandes natas de otros productos asfálticos.
- No estar contaminados con materiales extraños o emulsiones deferentes a las que se van a almacenar.
- Cuando se hayan almacenado emulsiones un tanque, se debe identificar el tipo de emulsión existente.

*Si contuvo emulsión aniónica y se va almacenar emulsión catiónica, será necesario neutralizar la acción de aquella lavando el tanque; primero con agua y posteriormente ácido clorhídrico diluido al uno por ciento.*

*En caso contrario, cuando se trata de almacenar emulsión catiónica, pero el tanque ha sido utilizado con emulsión catiónica, se tendrá que lavar con agua y neutralizado con sosa cáustica al 0.3 por ciento.*

Durante la construcción en el campo, no es posible tomar todas las precauciones que se deben para lograr un manejo adecuado, de acuerdo con lo que se señalará enseguida:

- Para descargar más emulsión sobre la ya almacenada, es necesario que el tubo de descarga llegue al fondo para no romper la nata de la superficie.
- De otra forma, se corre el riesgo de obstruir las bombas.

Sin embargo, el problema de bombeo es el mismo, por lo que se deben tomar las precauciones necesarias.

Las bombas que se emplean pueden ser de engranes o centrífugas, cubiertas de epoxi o nylon, todo dependerá de la viscosidad que tengan las emulsiones. *Cuando son muy viscosas, ocasionalmente se les puede calentar ligeramente a no mas de 40 grados centígrados, pues se corre el riesgo de afectar su estabilidad química y causar su rompimiento.*

En algunos casos especiales, cuando el laboratorio vigila muy estrictamente la calidad de la emulsión, se tomarán muestras de cada envío que salga de la fábrica.

La viscosidad de las emulsiones no debe aumentar más de treinta por ciento (30%) al bajar su temperatura de veinte grados (20°C) a diez grados centígrados (10°C), ni bajar más de treinta por ciento (30%) al subir la temperatura de veinte grados centígrados (20°C) a cuarenta grados centígrados (40°C).

## **2.8.- Rotura de la emulsión**

Es un paso importantísimo en cualquiera de las mezclas en frío que se formulen, el rompimiento ocurre principalmente cuando la emulsión entra en contacto con los agregados. Este proceso indica que el equilibrio físico-químico entre las moléculas de asfalto y las de agua, se rompió. Debido a esto, el agua presente en la emulsión empieza a evaporarse dejando tapizados los agregados con una película de asfalto.

La velocidad de rotura de la emulsión depende del tipo de emulsificante utilizado, del pH de la emulsión, de la reactividad del árido y de la emulsión, y del ambiente de colocación, teniendo en cuenta humedad y temperatura.

## **2.9.- Emulsificación de asfaltos; características del asfalto para ser emulsificado**

Los asfaltos fáciles de emulsificar deben tener las características siguientes:

Índice de acidez: (+) 0.5

Contenido de azufre: bajo

Ph: (-) 7

Un asfalto difícil de emulsificar tiene las características siguientes:

Índice de acidez: (-) 0.5

Contenido de azufre: alto

Ph: (+) 7

En este caso, su residuo fue lavado con sosa cáustica. De manera general el asfalto mexicano tiene un índice de acidez menor a 0.5.

## **2.10.- Toma de muestras en emulsiones asfálticas**

La toma de muestras de un camión a carro-tanque cuando se esté cargando se realizará en diferentes tiempos de la carga y finalmente se hará una muestra integral. La emulsión se pasará por el tamiz número 20 y se envasará en botellas perfectamente limpias y tratadas con el jabón de misma emulsión que se va a envasar. Se pondrá toda la información para su identificación.

Se dará la muestra de un litro sellada al transportista y la otra idéntica se guardará en la fábrica hasta que haya sido aceptada y aplicada la emulsión por el constructor.

Un caso muy particular es, cuando se presentan temperaturas muy bajas capaces de congelar la emulsión total o parcialmente, dando como resultado el rompimiento de ésta en los tanques de almacenamiento y aún en algunos casos ya aplicada y rota parcialmente. Las precauciones que se deben tomar son obvias, puesto que es conocido que el agua comienza a congelarse a los 4 grados centígrados y la emulsión, al contener agua en su composición, queda expuesta a este riesgo.

Cuando la fábrica o compañía está establecida permanentemente en una región donde se registran temperaturas muy bajas, los tanques deben tener un sistema de calentamiento o estar adecuados con algún sistema aislante, para evitar la congelación. Cuando los tanques de almacenamiento sean los que usa una compañía constructora en el campo de trabajo, los depósitos se protegerán con mechones alrededor, de lo que será suficiente para que baje la temperatura. Si los tanques están enterrados, no hay necesidad de tomar otra medida para evitar la congelación.

*También, como consecuencia de las bajas temperaturas, han habido algunos casos que en trabajos de sello con grava en lugares extremos el sellado realizado durante el día con temperaturas entre los 25 °C y 18°C, durante la noche*

fueron sometidos a temperaturas abajo de los cero grados. Al no haber sido eliminada totalmente el agua, ésta se congeló, causando el desprendimiento del material pétreo. En las recomendaciones oficiales de la Asociación Internacional de Fabricantes de Emulsiones se recomendó que la temperatura mínima en la superficie del pavimento sea de 25°C a 30°C, para evitar problemas de ese tipo. Un caso no usual, pero que ha ocurrido, es cuando se ha abandonado una emulsión por mucho tiempo y se desconoce el tipo del que se trata, o cuando, por alguna causa, se envía emulsión inadecuada para el tipo de trabajo que se efectúa. El productor puede identificar, rehabilitar una emulsión en casi el 80 por ciento de los casos en el lugar de la obra, sin tener que transportar la emulsión a la fábrica.

## **2.11.- Ventajas en el uso de emulsiones asfálticas**

Los asfaltos provenientes de la refinación del crudo del petróleo, son producidos en una variedad de tipos y grados que van desde sólidos duros y frágiles a líquidos poco viscosos. El asfalto empleado en pavimentación para poder utilizarlo es necesario fluidificarlo, bien sea calentándolo, diluyéndolo o emulsionándolo. El tercer método gasta menos energía que el calentamiento directo y no produce contaminación ambiental, ya que se evapora agua en lugar del solvente que se utiliza en la dilución o el volátil presente en el asfalto a la temperatura de operación, constituye lo que denominamos emulsión asfáltica.

Una emulsión asfáltica consiste en una fina dispersión de partículas de asfalto en agua. Las pequeñas gotas de asfalto se mantiene uniformemente dispersadas en la fase acuosa gracias a la ayuda de una agente emulsificante que al rodear la gota proporciona la repulsión necesaria para conservar la estabilidad del sistema hasta su uso. Las emulsiones en México se adaptan a los materiales y no como sucede en algunas coacciones, que se buscan materiales educados a las emulsiones de línea que existen en el mercado, tal como ocurre en Estados Unidos.

Las especificaciones mexicanas, en principio, fueron una copia exacta de las estadounidenses de la "American Society of Testing Materials" (A.S.T.M.); suficientes para las necesidades que se tienen al momento de la elaboración del presente documento. Y con las especificaciones particulares de la Secretaria de comunicaciones y Transportes (SCT) en México.

Cabe señalar que las especificaciones que se tienen hoy día en el tratamiento global de las emulsiones asfálticas son de carácter internacional, pero las modificaciones marcan la diferencia entre la experiencia de la ingeniería mexicana y la experiencia mundial. Estas diferencias son muy significativas, ya que por las propias necesidades y recursos locales, se desarrollan técnicas propias apoyadas en las condiciones de clima, materiales pétreos y asfaltos. Resulta relevante hacer la mención de que además de buscar una estandarización de las normas para prueba y verificación de materiales asfálticos como es el caso que nos ocupa de las emulsiones asfálticas, cada región debe hacer las modificaciones e implementar estándares que se liguen con los mundialmente aceptados e incorporando la experiencia regional, a fin de tener las herramientas necesarias para implementar un funcionamiento acorde a la región.

# **Capítulo III:**

## **Caso práctico**

### **Pruebas de laboratorio**

### **3.1.- Pruebas en laboratorio**

#### **3.1.1.- Pruebas en emulsiones asfálticas**

Se comenzó a realizar las pruebas a emulsiones asfálticas y residuo de las mismas en el laboratorio de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo “Ing. Luis Silva Ruelas”.

Dentro del proceso de prueba en laboratorio de emulsiones asfálticas es importante ofrecer para mejor comprensión una breve descripción de pruebas básicas en control de calidad a emulsiones asfálticas, lo que a continuación se enuncia:

Viscosidad: la viscosidad es una característica de las emulsiones que puede falsearse, dado que la emulsión puede irse rompiendo a la salida del orificio del viscosímetro e ir cerrando parcialmente el espacio durante la prueba. Esto nos ha hecho pensar en disminuir el tiempo que tarde en salir la emulsión. Para esto, se vio la posibilidad de pasar de 25 a 50 grados centígrados la temperatura de prueba, con el objeto de disminuir la viscosidad. Esta temperatura podría provocar una inestabilidad en la emulsión por lo que es conveniente verifica este hecho.

Otra posibilidad, es la de usar un viscosímetro que tenga una salida construida con materiales no compatibles con las propiedades de la emulsión, para evitar hacerla romper. En Francia se ha llegado a emplear con bastante éxito, una pipeta de vidrio para un rápido control de laboratorio de campo. También se acostumbra lavar la copa del viscosímetro con el mismo tipo de jabón que el de la emulsión, antes de efectuar la prueba.

Es necesario realizar un estudio más completo, para poder establecer si la prueba con los viscosímetros estándar proporcionan datos verídicos.

La obtención de residuo que tiene la emulsión, es una prueba muy difícil de realizar, pues la mayoría de las coacciones el martas puede "vomitarse" al subir la espuma. Durante la prueba de destilado, se ha visto la posibilidad de que se oxide el residuo por la presencia de agua en la emulsión. Las penetraciones se ven afectadas y los valores que se obtienen son menores a los del asfalto original.

El residuo por evaporación es la forma más rápida para hallar el porcentaje de residuo que tiene la emulsión, a pesar de que se pierden los solventes. Si se requiere de un cálculo más preciso, será necesario realizar la prueba de destilado. Algunos de los laboratorios recurren a argucias basadas en la experiencia para poder analizar el residuo de la emulsión.

Con el objeto de no tener la cantidad de agua original que provoca el "vomito" del martas, se hace rompe la emulsión con algún producto que no altere las propiedades del ligante.

En el caso de las emulsiones aniónicas con ácido clorhídrico u otro similar, se puede hacer que rompa y el agua se separe del residuo. Para las catiónicas, se tendrán los mismos resultados agravando alcohol comercial.

Este ligante residual casi se puede secar totalmente con una tela de algodón, ya que estando húmedo no se adhiere a ésta. Al final, se le somete a la destilación, el tiempo de exposición a la temperatura especificada, será menor y, por lo tanto, se correrá el riesgo de que se altere.

También en este caso, se requiere de una investigación más profunda para lograr definir los efectos que pudiera tener este método en los laboratorios.

En la prueba de asentamiento se respetaron casi en su totalidad los valores que se presentan en los métodos de prueba y especificaciones de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes, con una variante: las emulsiones que tienen un residuo con cemento asfáltico puro presentan con un asentamiento mucho mayor que el de las que contienen solventes.

Este hecho resulta lógico, ya que los cementos asfálticos mexicanos tienen una densidad ligeramente mayor a la unidad (1.020 a 1.037). Si el medio en que está disperso es agua, por diferencia de densidades los glóbulos de asfalto tienden a sedimentarse, siguiendo la Ley de Stokes. En cambio, cuando la densidad es ligeramente menor a la unidad debido a los solventes adicionados, por diferencia de densidades los glóbulos tienden a flotar. En algunos casos, presentan una sedimentación inversa llamada cremamiento.

Por ello, el límite de sedimentación propuesto del 7 por ciento en los casos del residuo de cemento asfáltico puro, tiene una justificación fundamentada. Se ha tratado de contrarrestar la sedimentación aumentando el contenido de residuo hasta tener valores de 65 a 67 por ciento, pero esto disminuye el contenido de agua y emulsificante, dos factores básicos en el comportamiento de las emulsiones durante el mezclado. El residuo recomendable máximo es de 62 a 63 por ciento, cantidad que permite un buen manejo y no aumenta la sedimentación arriba del 7 por ciento propuesto.

La prueba de miscibilidad con cemento hidráulico, se deja exclusivamente para realizarse con las emulsiones aniónicas, para las cuales fue diseñada. No es aplicable para las emulsiones catiónicas, por lo cual se propone el cambio definitivo en las especificaciones para este caso.

La miscibilidad con finos ácidos normalizados, substituye la prueba anterior para el caso de las emulsiones catiónicas.

### **3.2.- Material de prueba para caso practico; emulsiones asfálticas**

Las emulsiones analizadas fueron adquiridas a productores de la región a las cuales se realizaron las pruebas básicas para clasificación así como de calidad, tanto para el producto original como para el residuo producto de la destilación, siendo estas nombradas con un código clave a continuación de presentan:

- 1.- E1-PiF1 (ECR-65): Emulsión Asfáltica 1 - Pruebas indice Fase 1 (Adquirida en Morelia Michoacán, Mexico).
- 2.- E2-PiF1 (ECR-65): Emulsión Asfáltica 2 - Pruebas indice Fase 1 (Adquirida en Salamanca Guanajuato, México).
- 3.- E3-PiF1 (ECM-65): Emulsión Asfáltica 3 - Pruebas indice Fase 1 (Adquirida en Estado de México, México).
- 4.- E4-PiF1(ECM-65): Emulsión Asfáltica 4 - Pruebas indice Fase 1 (Adquirida directamente en aplicación en obra por contratista).
- 5.- E5-PiF1 (ECL-65): Emulsión Asfáltica 5 - Pruebas indice Fase 1 (Adquirida directamente en aplicación en obra por contratista).
- 6.- E6-PiF1 (ECL-65): Emulsión Asfáltica 6 - Pruebas indice Fase 1 (Adquirida directamente en aplicación en obra por contratista).
- 7.- E7-PiF1 (ECS-60): Emulsión Asfáltica 7 - Pruebas indice Fase 1 (Adquirida directamente en aplicación en obra por contratista).

Las emulsiones asfálticas se solicitaron bajo las mismas especificaciones, es decir; deberían teóricamente cumplir con los requisitos de calidad que marca la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT), acorde a su normativa vigente para control de calidad.

Se analizaron las emulsiones asfálticas de los siguientes tipos:

- **De rompimiento rápido**, que generalmente se utilizan para riegos de liga y carpetas por el sistema de riegos, a excepción de la emulsión ECR-60, que no se utilizará en la elaboración de estas últimas.
- **De rompimiento medio**, que normalmente se emplean para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta, especialmente cuando el contenido de finos en la mezcla es igual que dos por ciento o menor, así como en trabajos de conservación tales como bacheos, nivelaciones y subcarpetas.
- **De rompimiento lento**, que comúnmente se utilizan para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta y para estabilizaciones asfálticas.
- **Para impregnación**, que particularmente se utilizan para impregnaciones de subbases y/o bases hidráulicas.
- **Superestables**, que principalmente se emplean en estabilizaciones de materiales y en trabajos de recuperación de pavimentos.

Acorde a la normativa de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes se tienen los siguientes tipos de emulsiones:

Clasificación	Contenido de cemento asfáltico en masa %	Tipo	Polaridad
EAR-55	55	ROMPIMIENTO RÁPIDO	ANIÓNICA
EAR-60	60		
EAM-60	60	ROMPIMIENTO MEDIO	
EAM-65	65		
EAL-55	55	ROMPIMIENTO LENTO	
EAL-60	60		
EAI-60	60	PARA IMPREGNACIÓN	
ECR-60	60	ROMPIMIENTO RÁPIDO	CATIONICA
ECR-65	65		
ECR-70	70		
ECM-65	65	ROMPIMIENTO MEDIO	
ECL-65	65	ROMPIMIENTO LENTO	
ECI-60	60	PARA IMPREGNACIÓN	
ECS-60	60	SOBRESTABILIZADA	

**Tabla 3.1** : Clasificación de emulsiones asfálticas en México según la SCT.

Las pruebas realizadas a las muestras acorde a normativa fueron las siguientes:

Viscosidad Saybolt-Furol en materiales asfálticos	M-MMP-4-05-004
Penetración en cementos y residuos asfálticos	M-MMP-4-05-006
Ductilidad de cementos y residuos asfálticos	M-MMP-4-05-011
Destilación de emulsiones asfálticas	M-MMP-4-05-012
Asentamiento de emulsiones asfálticas	M-MMP-4-05-013
Retenido en mallas N°20 y N°60 en emulsiones asfálticas	M-MMP-4-05-014
Carga eléctrica de las partículas de emulsiones asfálticas	M-MMP-4-05-017

### **3.2.1- Pruebas de laboratorio a 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:

- Carga eléctrica de las partículas de emulsiones asfálticas
- Destilación de emulsiones asfálticas
- Penetración en residuos asfálticos
- Determinación del potencial de hidrogeno (pH)
- Viscosidad Saybolt - Furol en materiales asfálticos
- Punto de reblandecimiento
- Punto de inflamación Cleveland
- Ductilidad en residuos asfálticos
- Asentamiento de emulsiones asfálticas
- Calidad de materiales asfálticos

## **3.2.2.- Descripción de pruebas**

### **3.2.2.1.- 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.- Electrodo:**

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 cm<sup>3</sup> de capacidad.

##### **B.4.- Cronometro**

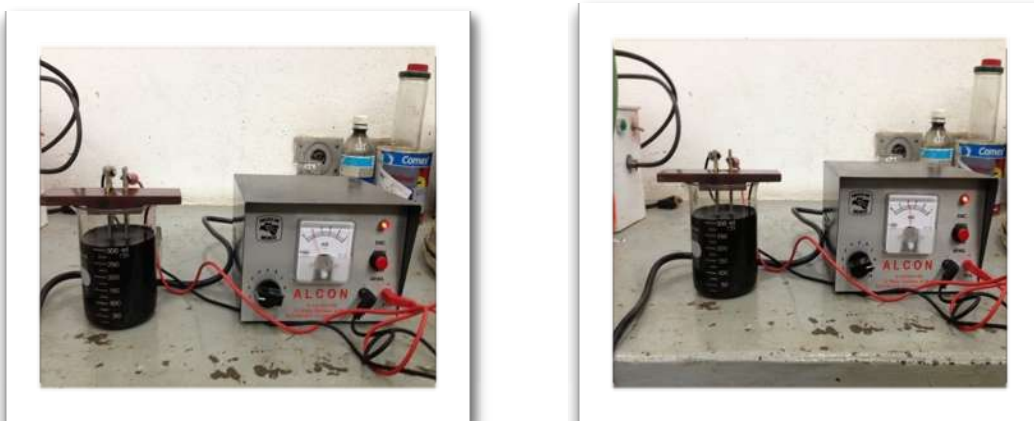
Con aproximación de 0.2 segundos.

### **C.- Procedimiento de la prueba**

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



**Imagen 3.1 :** Llenado de baso de precipitados con emulsión asfáltica



**Imagen 3.2 :** Encendido de la fuente de poder de 12 V

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 quedó adherido el asfalto y así conocer si es catiónica o aniónica.



**Imagen 3.3 :** Identificación de carga de la emulsión asfáltica

#### **D.- Resultado de la prueba**

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

### **3.2.2.2.- 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 cm<sup>3</sup> de capacidad y con graduaciones a cada 1 cm<sup>3</sup>.

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.



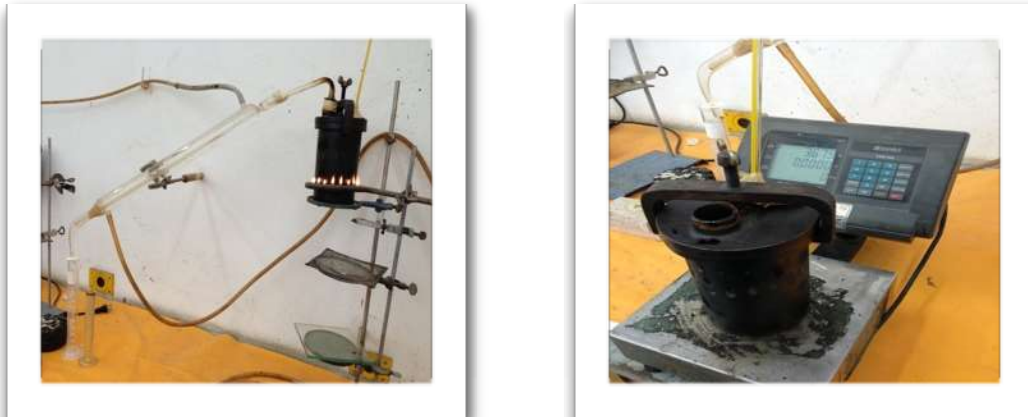
**Imagen 3.4 :** Pesado del alambique y accesorios

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.



**Imagen 3.5 :** Colocación del alambique para prueba de destilación

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.



**Imagen 3.6:** Pesado del alambique terminada la destilación con accesorios

### **3.2.2.3.- 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.- Penetrómetro 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.- Cápsula 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  $200 \times 10^{-1}$  mm; o diámetro interior de 70 mm y altura interior de 45 mm para penetraciones entre 200 y  $350 \times 10^{-1}$  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 cápsula 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 utilizado y se llena la cápsula de penetración con sumo cuidado ya que se encuentra a muy alta temperatura, ya que se realizó el llenado de las cápsulas se deja enfriar hasta que alcance la temperatura ambiente.



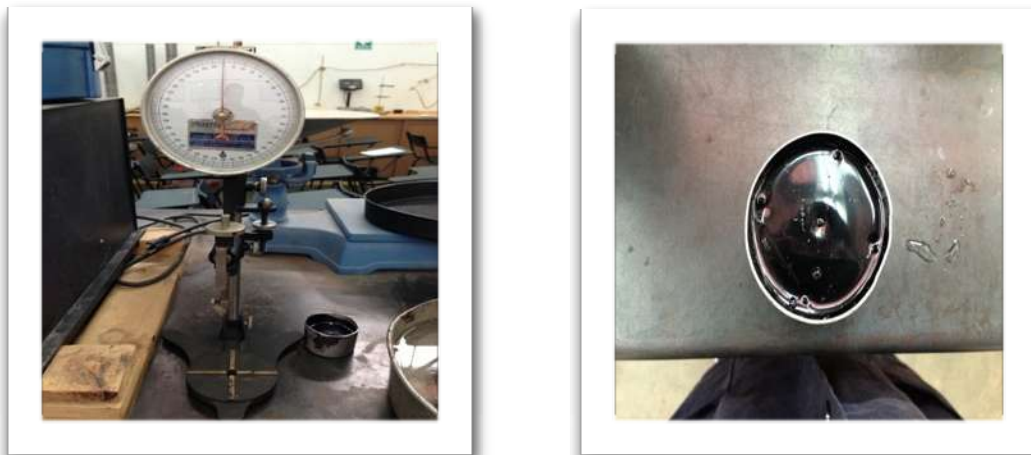
**Imagen 3.7 :** Llenado de las cápsulas con el residuo de la destilación

Se coloca la cápsula 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.



**Imagen 3.8 :** Colocacion de la capsula en agua a 25 °C durante 2 horas

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  $100 \pm 0.1$  g y se nievela 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.



**Imagen 3.9** : Obtencion de la lectura del penetrometro de la capsula

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.

### **3.2.2.4.- Determinación del potencial de hidrogeno (pH)**

#### **A.- Objetivo**

La prueba nos permite determinar el potencial hidrogeno (pH) de la emulsion asfáltica, 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 cm<sup>3</sup> 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 cm<sup>3</sup> de la emusion asfaltica en estudio coloborando que la temperatua 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.



Imagen 3.10 : Lector de pH

### **D.- Resultado de la prueba**

Una ves transcurrido unos minutos y que el lector de pH se estabiliso se pudo tomar el valor del pH final.

### **3.2.2.5.- Viscosidad Saybolt - Furol en materiales asfálticos**

#### **A.- Objetivo**

Nos permite conocer la concistecia del material asfaltico medainte sus caracteristicas de fluo a una temperatura de 25 y 50 °C para las amulsiones, con el proposito de estudiar la susceptibilidad al calor del material asfaltico y determinar las viscosidad apropiada para su utilizacion.

#### **B.- Equipo**

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

B.1.- Viscosimetro Saybolt – Furol

Se usara el equipo con el que cuenta el laboratrio de materiales vituminosos.

#### B.2.- Matraz aforado

Matraz con capacidad de  $60 \pm 0.05$  o  $- 0.05$  cm<sup>3</sup>, aforado a la temperatura de 20 °C, con marca de aforo en el cuello.

#### B.3.- 2 termómetros

Termommetros 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 cm<sup>3</sup> 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 cm<sup>3</sup>.

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 (Figura ).



**Imagen 3.11** : Colocacionde la emulsión asfaltica en baño maría

A continuación se vierte en el tubo de viscosidad la muestra de emulsión asfáltica donde se realizan movimientos circulares evitando la formación de burbujas, teniendo cuidado de no golpear el fondo para no pesionar la emulsion a través 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 permanezca así durante 1 minuto.



**Imagen 3.12 :** Viscosímetro

Inmediatamente después se coloca el matraz debajo del tubo de viscosidad, se retira el tapon y simultáneamente se toma el tiempo con el cronómetro, el cual se detiene en el momento que la muestra alcance la marca de aforo del matraz y se registra el tiempo medido.



**Imagen 3.13 :** Llenado de matraz aforado en prueba

## **D.- Resultado de la prueba**

Se registra el tiempo en segundos que tardo en llenarse el matraz con el material asfáltico hasta llegar a la marca de aforo, así como también se indicara la temperatura en la que se realizo la prueba.

### **3.2.2.6.- 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 baño de 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.- Baño 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 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  $16 \pm 3$  mm o  $-3$  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  $-0.05 \text{ gr}$  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 lleva a cabo 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.



**Figura 3.14:** Llenado y enrazado de 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 ne el fondo del vaso y se introduce el sistema de soporte y se deja el conjunto durante 15 minutos, manteniendo la temperatura indicada.



**Imagen 3.15 :** Colocacion de los anillos dentro del baso de precipitados

Se extrae el sistema del doporte, con las pinzas colocamos las esferas con la ayuda de las guias e inmediatamente se vuelve a introducir en el vaso. Se coloca el conjunto sobre el mechero y se incrementa uniformemente la temperatura del liquido a razon de 5 °C/min. Se registra para cada anillo la temperatura en el momento en que el materialasfaltico toque la placa inferior del soporte (Figura ).



**Imagen 3.16 :** Colocacionde esferas sobre los anillos de latón

## **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.

### **3.2.2.7.- 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

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

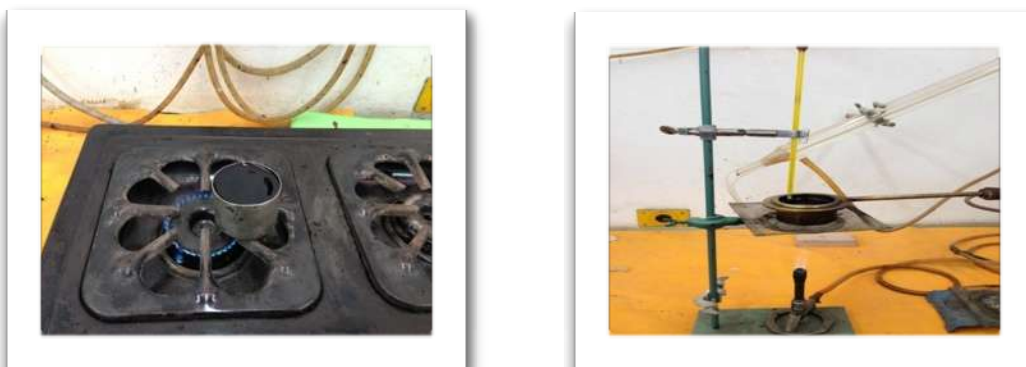
Con bulbo de 25 mm de longitud, con rango de -6 a 400 °C y aproximacion de 2 °C.

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 un 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 destilacion de la emulsion asfaltica, se toma una porcion 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 termometro de manera que el extremo inferior del bulbo quede a 6.4 mm del fondo de la copa abierta de Cleveland.



**Imagen 3.17 :** Llenado de la copa de Cleveland con el residuo de la emulsion asfaltica

Se vacio lentamente en la copa abierta de Cleveland el material asfaltico 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 continuacion 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 inflamacion probable se incia 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 duración del paso sea de 1 segundo aproximadamente.



**Imagen 3.18 :** Incremento de la temperatura en la copa de Cleveland

Se registra como punto de inflamación la temperatura leída en el termómetro cuando al pasar el aplicador se produzca una pequeña flama instantánea o destello en cualquier punto de la superficie de la muestra. Se continúa incrementando la temperatura de la muestra a razón de 5 a 6 °C/min, hasta que se produzca flamas que duren por lo menos 5 segundos.

#### **D.- Resultado de la prueba**

Se mostrarán las temperaturas tomadas en las que se alcanzó tanto el punto de inflamación y así como el punto de combustión.

### **3.2.2.8.- Ductilidad en residuos asfálticos**

#### **A.- Objetivo**

Esta prueba permite determinar la capacidad para deformarse sin romperse de los residuos asfálticos obtenidos de la prueba de destilación de emulsiones. La prueba consiste en medir la máxima distancia a la cual una briqueta de dichos materiales, de geometría y bajo condiciones de temperatura y velocidad de deformación específicas 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)**

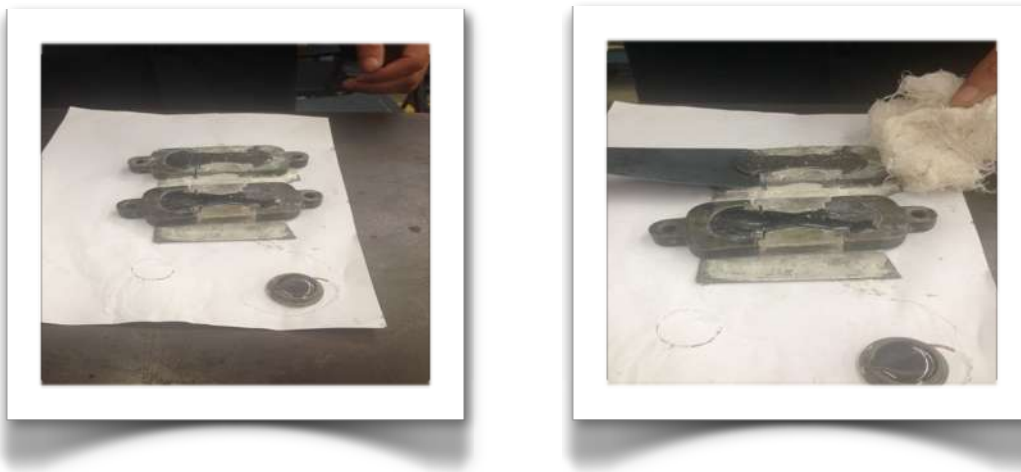
Aceite o grasa de silicón; una mezcla de glicerina y dextrina; talco o caolín, para recubrir la placa de apoyo y evitar su adherencia con el asfalto.

## 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 coloca 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 enrasa con la ayuda de la espátula previamente calentada para mayor facilidad para remover los excesos de residuo.



**Imagen 3.19:** Llenado de molde (briqueta) con residuo de emulsión asfáltico

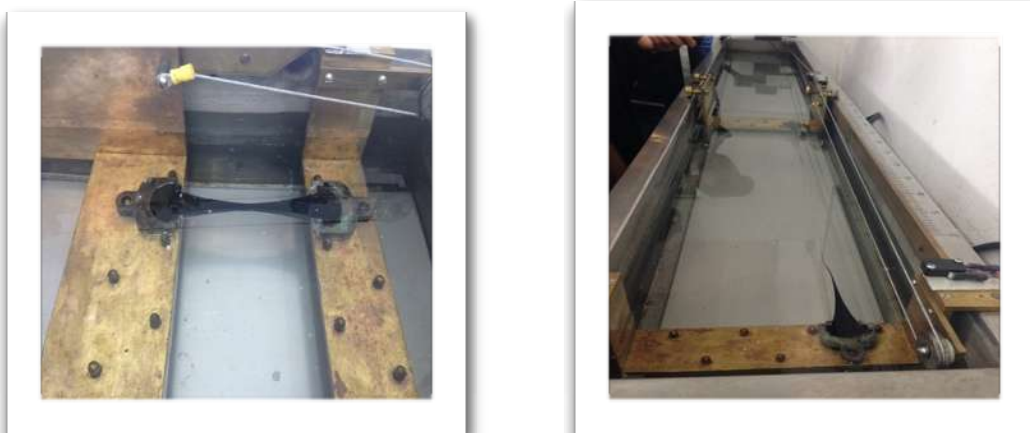
Se retira la briqueta de la placa quitando los elementos laterales del molde y de inmediato se instala con sus mordazas en el ductilómetro previamente preparado con agua a una temperatura de 25 °C, sujetando los extremos de estas en los postes del aparato, debiendo quedar la cara superior de la briqueta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

2.5 cm de la superficie. Durante la prueba la temperatura del agua se mantendrá estable a 25 °C.



**Imagen 3.20:** Colocación de la briqueta en el ductilómetro

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.



**Imagen 3.21 :** Ruptura de briqueta

#### **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.

### **3.2.2.9.- 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  $50 + \text{ó} - 5\text{mm}$  y capacidad de  $500\text{ cm}^3$ .

##### **B.2.- Pipeta de vidrio**

De  $60\text{ cm}^3$  de capacidad.

##### **B.3.- Vaso de precipitado**

Seis vasos, de vidrio refractario o aluminio, con capacidad de  $600\text{ ó }1000\text{ cm}^3$ .

##### **B.4.- Agitadores**

Seis varillas de vidrio con extremos redondos, de  $6.4\text{ mm}$  de diametro y  $18\text{ cm}$  de longitud.

##### **B.5.- Balanza**

De  $500\text{ gr}$  de capacidad y aproximacion de  $0.1\text{ gr}$ .

##### **B.6.- Horno**

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

### **C.- Procedimiento de la prueba**

En nuestro caso se tomaran 2 probetas contapones de vidrio, las cuales seran llenadas con 500 cm<sup>3</sup> de la emulsion en estudio, la cual dejaremos durante 5 dias en reposo.



**Imagen 3.22 :** Llenado de probetas con emulsion asfaltica

Transcurridos los 5 dias, se tomaran de cada una de las muestras 55 cm<sup>3</sup> 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 cm<sup>3</sup> de cada una de las muestras y los 55 cm<sup>3</sup> se uniformizan con la vaillas de vidrio de la paret inferior.



**Imagen 3.23:** Toma de muestras parte superior e inferior

Se colocaran las muestras en el horno a una temperatura de  $163 \pm 3$  °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.



**Imagen 3.24:** Colocacion de las muestras en el horno por 2 horas

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.

**Las emulsiones asfálticas analizadas en esta primera etapa fueron emulsiones asfálticas con carga eléctrica positiva (catiónicas) no modificadas.**

### 3.3.- Resultados de las pruebas realizadas a las emulsiones asfálticas

Prueba	Normativa SCT	E1- PiF1	E2- PiF1	E3- PiF1	E4- PiF1	E5- PiF1	E6- PiF1	E7- PiF1
Viscosidad Saybolt-Furol en materiales asfálticos; a 25 °C, s, mínimo	25					20		
	5						4	
	25							27
Viscosidad Saybolt-Furol en materiales asfálticos; a 50 °C, s, mínimo	5	8						
	40		35					
	50			45				
	25				22			
Penetración en cementos y residuos asfálticos; a 25 °C, en 100 g y 5 s.	110-250	135						
	110-250		143					
	110-250			156				
	110-250				135			
	110-250					145		
	100-400						275	
	100-250							145
Ductilidad de cementos y residuos asfálticos; a 25 °C, cm, mínimo.	40	55						
	40		56					
	40			60				
	40				57			
	40					65		
	40						65	

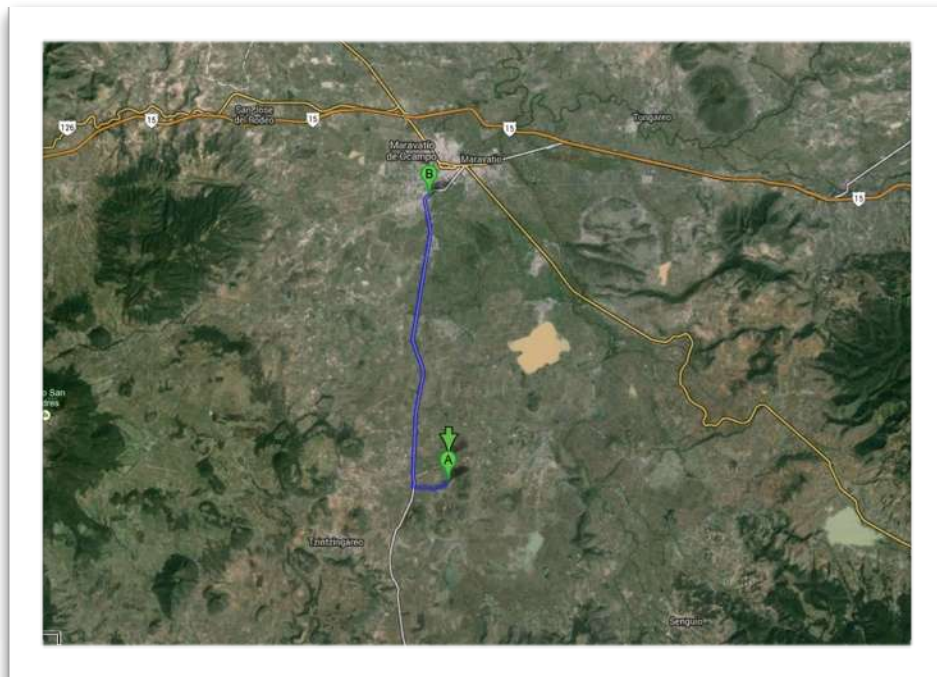
Contenido de cemento asfáltico en masa; %, mínimo.	65	62						
	65		62					
	65			58				
	65				56			
	65					61		
	60						40	
	60							56
Asentamiento de emulsiones asfálticas 5 días; diferencia en %, máximo.	5	3						
	5		4					
	5			3				
	5				3			
	5					6		
	10						12	
	5							7
Pasa malla N° 20 y se retiene en mala N° 60 en la prueba del tamiz, %, máximo.	0.25	1.3						
	0.25		1.1					
	0.25			1.2				
	0.25				0.8			
	0.25					1.0		
	0.25						1.1	
	0.25							0.9
Carga eléctrica de las partículas	(+)	(+)						
	(+)		(+)					
	(+)			(+)				
	(+)				(+)			
	(+)					(+)		
	(+)						(+)	
	(+)							(+)
% de cumplimiento		71.42	51.14	42.85	51.14	42.86	42.85	42.85

### **3.4.- Material de prueba para caso practico; agregado pétreo**

#### **3.4.1.- Ubicación del banco de materiales “Los Nogales”**

El banco que se eligió para su estudio en una primera etapa, se encuentra en el Municipio 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.



**Imagen 3.25:** Localización del banco de materiales “Los Nogales”

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 2555 m. A continuación se mostrara una imagen satelital del sitio en estudio obtenida mediante Google Earth.



**Imagen 3.26 :** Imagen satelital del banco de materiales “Los Nogales”

### **3.4.2.- Pruebas de laboratorio al material pétreo**

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 (Secretaria 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:

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

### **3.4.2.1.- 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 m<sup>3</sup>.



**Imagen 3.27:** Muestreo en banco de materiales

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.



**Imagen 3.28 :** Muestreo del material pétreo

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 efectuaron para obtener las muestras requeridas para su estudio en el laboratorio, las cuales fueron obtenidas y guardadas como lo mencionamos anteriormente.

### **3.4.2.2. - 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

**Tabla 3.1:** Juego de mallas para granulometría parte gruesa

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

**Tabla 3.2 :** Juego de mallas para granulometría parte fina

## B.2.- Maquina agitadora para las mallas

De acción mecánica, activada por un motor eléctrico o manivela de velocidad constante, mediante el cual se transmite 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.



**Imagen 3.29:** Preparación de muestra

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.



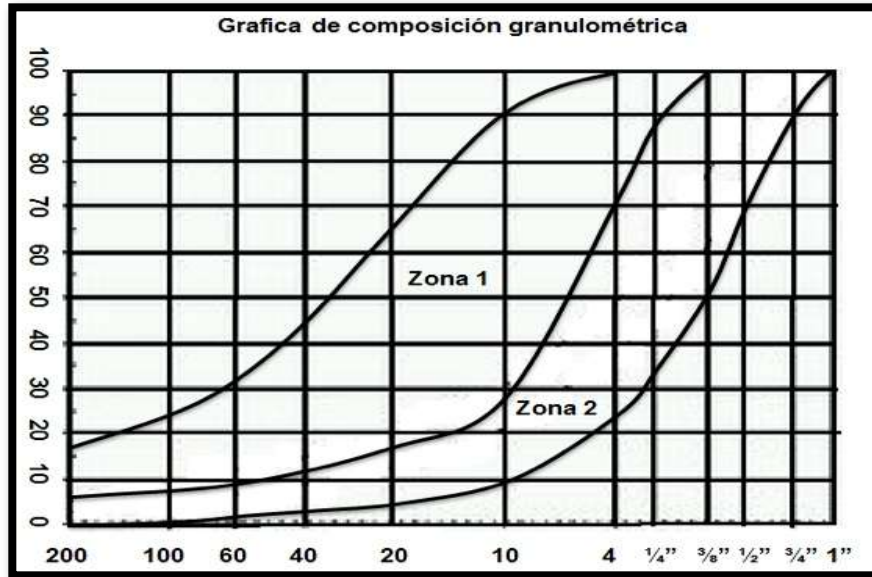
**Imagen 3.30:** Cribado del material.

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.



**Imagen 3.31:** Cribado material fino

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



**Imagen 3.32:** Gráfica de 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:

<b>Granulometría gravas</b>				
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
¾”	0.607	5.017	5.017	94.983
½”	1.825	15.070	20.087	79.913
⅜”	3.022	24.962	45.049	54.951
¼”	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		

<b>Granulometría arenas y finos</b>				
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:

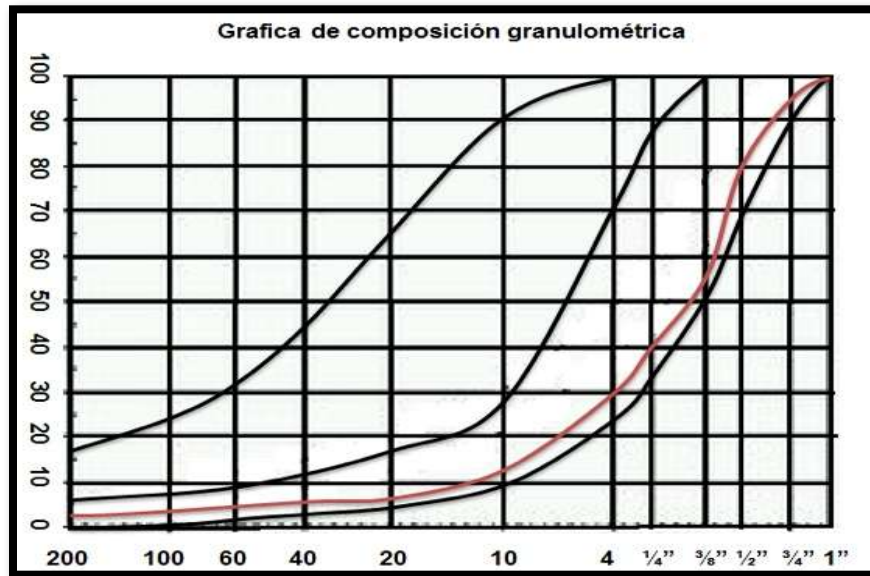


Imagen 3.33: Gráfica de granulometría de banco de material "Los Nogales"

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

### 3.4.2.3. - 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 esté completamente lleno y se enrasa cuidadosamente evitando aplicar presión sobre el material.



**Imagen 3.34:** Llenado de recipiente para P.V.S.S.

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.



**Imagen 3.35:** Pesado del material pétreo

#### **D.- Resultado de la prueba**

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

<b>Peso volumétrico seco y suelto en materiales pétreos</b>		
Datos	Tara	Tara + material
Peso (kg)	3.630	18.625
Volumen (m <sup>3</sup> )	0.00812	0.00812
PVSS (kg/m <sup>3</sup> )	1846.677	

### **3.4.2.4.- 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

**Tabla 3.3:** Carga abrasiva

Para nuestro caso se tomó el tipo B de la composición de la muestra y el tamaño del material fue de  $\frac{1}{2}$  y  $\frac{3}{8}$  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.



**Imagen 3.36:** Colocación del material y esferas de acero en la máquina de los ángeles

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.



**Imagen 3.37:** Cribado del material triturado por la máquina de los ángeles

## **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:

<b>Desgaste mediante la prueba de los ángeles de materiales pétreos</b>	
Peso inicial (gr)	Peso final (gr)
5000.00	3261.00
Desgaste (%)	34.78

**Tabla 3.4:** Resultado prueba de desgaste de los Ángeles

### **3.4.2.5.- 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.- Cápsula

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 cápsula, 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.



**Imagen 3.38:** Cápsula con material

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.



**Imagen 3.39:** Agitación del material durante 90 ciclos

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.



**Imagen 3.40:** Introducción del tubo irrigador

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.

### **3.4.2.6.- 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.



**Imagen 3.41:** Colocación del material 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.



**Imagen 3.42:** Saturación del material 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.



**Imagen 3.43:** Pesado y secado del material pétreo

#### **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:

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

**Tabla 3.5:** Resultados de prueba densidad y absorción

### 3.4.2.7.- Calidad de materiales pétreos

**TABLA 3.- Requisitos de granulometría del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa (para cualquier valor de  $\Sigma L$ )**

Malla		Tamaño nominal del material pétreo mm (in)				
Abertura mm	Designación	9,5 ( $\frac{3}{8}$ )	12,5 ( $\frac{1}{2}$ )	19 ( $\frac{3}{4}$ )	25 (1)	37,5 ( $1\frac{1}{2}$ )
Porcentaje que pasa						
50	2"	---	---	---	---	100
37,5	1½"	---	---	---	100	90 - 100
25	1"	---	---	100	90 - 100	74 - 90
19	¾"	---	100	90 - 100	79 - 90	62 - 79
12,5	½"	100	90 - 100	72 - 90	58 - 71	46 - 60
9,5	⅜"	90 - 100	76 - 90	60 - 76	47 - 60	39 - 50
6,3	¼"	70 - 81	56 - 69	44 - 57	36 - 46	30 - 39
4,75	N°4	56 - 69	45 - 59	37 - 48	30 - 39	25 - 34
2	N°10	28 - 42	25 - 35	20 - 29	17 - 24	13 - 21
0,85	N°20	18 - 27	15 - 22	12 - 19	9 - 16	6 - 13
0,425	N°40	13 - 20	11 - 16	8 - 14	5 - 11	3 - 9
0,25	N°60	10 - 15	8 - 13	6 - 11	4 - 9	2 - 7
0,15	N°100	6 - 12	5 - 10	4 - 8	2 - 7	1 - 5
0,075	N°200	2 - 7	2 - 6	2 - 5	1 - 4	0 - 3

**TABLA 4.- Requisitos de calidad del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa (para cualquier valor de  $\Sigma L$ )**

Característica	Valor
Densidad relativa, mínimo	2,4
Desgaste de Los Ángeles; %, máximo	30
Partículas alargadas y lajeadas; %, máximo	35
Equivalente de arena; %, mínimo	50
Pérdida de estabilidad por inmersión en agua; %, máximo	25

Imagen 3.44: requisitos de calidad según Normativa SCT

# **Capítulo IV: Diseño y prueba de especímenes**

#### **4.1.- Cálculo de porcentaje de material pétreo para especímenes 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:

<b>Cálculo de porcentaje de material pétreo para pastillas de prueba</b>				
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
¾"	0.607	5.017	5.017	94.983
½"	1.825	15.070	20.087	79.913
⅜"	3.022	24.962	45.049	54.951
¼"	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 fórmula como se muestra a continuación para la malla de  $\frac{3}{4}$ ”:

Peso total de la pastilla: 4000 gr

Porcentaje retenido: 5.017 %

Se utiliza la siguiente fórmula:

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

Sustituyendo valores:

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

Esto 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 muestran en la siguiente tabla:

<b>Peso de material por pastilla (4000.0 gr)</b>			
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
$\frac{3}{4}$ ”	200.680	60	36.000
$\frac{1}{2}$ ”	602.800	100	43.920
$\frac{3}{8}$ ”	998.480	200	82.000
$\frac{1}{4}$ ”	604.280	Pasa 200	75.840

Una vez finalizados 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 especímenes de prueba.



**Imagen 4.1:** Cribado de material

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 gr.



**Imagen 4.2:** Obtención del peso de cada material

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.



**Imagen 4.3:** Muestras de materia con etiquetas de composición granulométrica

## **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.

Se suma el % retenido de las mallas que corresponden al tamaño como se muestra en la siguiente tabla.

<b>Calculo de porcentaje retenido</b>				
Malla N°	% que pasa la malla	Peso (gr.)	% retenido	Sumatoria % retenido
2"	100.000	0.000	0.000	0.000
1 ½"	100.000	0.000	0.000	
1 ¼"	100.000	0.000	0.000	
1"	100.000	0.000	0.000	5.017
¾"	94.983	200.680	5.017	
½"	79.913	602.800	15.070	65.340
⅜"	54.951	998.480	24.962	
¼"	39.844	604.280	15.107	
4	29.643	408.040	10.201	
10	12.158	699.400	17.485	23.699
20	8.202	158.240	3.956	
40	5.944	90.320	2.258	
60	5.044	36.000	0.900	4.048
100	3.946	43.920	1.098	
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 <sup>2</sup> /kg)
1" a ¾"	0.27
¾ 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 un 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.

<b>Calculo de porcentaje retenido</b>				
Malla N°	% que pasa la malla	Peso (gr)	% retenido	Sumatoria % retenido
2"	100.000	0.000	0.000	87.842
1 ½"	100.000	0.000	0.000	
1 ¼"	100.000	0.000	0.000	
1"	100.000	0.000	0.000	
¾"	94.983	200.680	5.017	
½"	79.913	602.800	15.070	
⅜"	54.951	998.480	24.962	
¼"	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 redondeado 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 realizaran 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 4.0% como punto de partida.

### **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 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:

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

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

#### **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 privas 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 tomaran los pesos de la cuchara y de la charola, los cuales se anotaran de la forma siguiente en una tabla con los datos del material y la emulsión asfáltica:

<b>Prueba de especímenes</b>	
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.



**Imagen 4.4:** Colocación del material en la mesa de trabajo

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 en su totalidad el agua y la emulsión a la hora de verterla.



**Imagen 4.5:** Colocación del material en bandejas dependiendo de su tamaño

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.



**Imagen 4.6:** Colocación del agua al agregado pétreo

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.



**Imagen 4.7:** Colocación de la emulsión asfáltica en el material grueso

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.



**Imagen 4.8:** Se agregara la parte fina al material grueso

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 el agua se evapore de forma equitativa.



**Imagen 4.9:** Exposición del material a los rayos del sol para el rompimiento de la emulsión asfáltica

8.- Para conocer el momento en que la ruptura de la emulsión se ha 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.



**Imagen 4.10:** Mezcla asfáltica lista para compactar

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.



**Imagen 4.11:** Engrasado de los moldes

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.



**Imagen 4.12:** Colocación del material dentro del molde

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 ce que la placa quede centrada de tal forma que no toque los bordes del cilindro de diseño de las probetas o especímenes.



**Imagen 4.13:** Preparación previa a compactación

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.



**Imagen 4.14:** Compactación del material con la prensa hidráulica

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.



**Imagen 4.15:** Colocación del molde en la estructura junto con el gato hidráulico

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.



**Imagen 4.16:** Extracción del espécimen del molde

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 su lectura.



**Imagen 4.17:** Carga de compresión axial al espécimen

El procedimiento que se llevó acabo fue el mismo para cada uno de los 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

#### 4.4.1.- Resultados; muestras línea A

Prueba de especímenes		Prueba de especímenes	
Cilindro	1 - A	Cilindro	2 - A
Contenido mínimo (%)	4.0	Contenido mínimo (%)	4.5
Charola (gr)	4601.00	Charola (gr)	4527.00
Cuchara (gr)	168.00	Cuchara (gr)	168.00
Material pétreo (gr)	4000.00	Material pétreo (gr)	4000.00
Emulsión asfáltica (gr)	260.00	Emulsión asfáltica (gr)	292.00
Agua (mL)	53.20	Agua (mL)	53.20
Resistencia (kg)	1092.29	Resistencia (kg)	1113.80

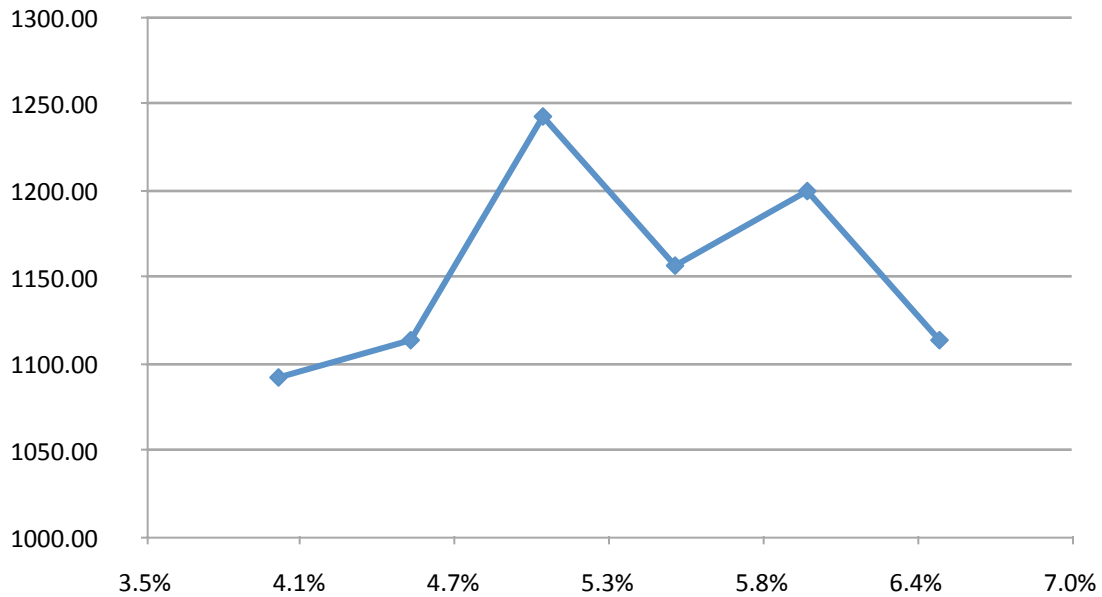
Prueba de especímenes		Prueba de especímenes	
Cilindro	3 - A	Cilindro	4 - A
Contenido mínimo (%)	5.0	Contenido mínimo (%)	5.5
Charola (gr)	4527.00	Charola (gr)	4456.00
Cuchara (gr)	169.00	Cuchara (gr)	176.00
Material pétreo (gr)	4000.00	Material pétreo (gr)	4000.00
Emulsión asfáltica (gr)	324.00	Emulsión asfáltica (gr)	356.00
Agua (mL)	53.20	Agua (mL)	53.20
Resistencia (kg)	1242.85	Resistencia (kg)	1156.82

Prueba de especímenes		Prueba de especímenes	
Cilindro	5 - A	Cilindro	6 - A
Contenido mínimo (%)	6.0	Contenido mínimo (%)	6.5
Charola (gr)	3788.00	Charola (gr)	4665.00
Cuchara (gr)	171.00	Cuchara (gr)	176.00
Material pétreo (gr)	4000.00	Material pétreo (gr)	4000.00
Emulsión asfáltica (gr)	388.00	Emulsión asfáltica (gr)	420.00
Agua (mL)	53.20	Agua (mL)	53.20
Resistencia (kg)	1199.83	Resistencia (kg)	1113.80

\*Las resistencias mostradas se ven afectadas en una reducción del 50% para futuros cálculos debido a la ecuación de calibración de la prensa en la que fueron probadas.

Una vez obtenidos los resultados de las pruebas se graficará 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.



**Gráfica 4.1:** Contenido mínimo línea A

#### 4.4.2.-Resultados muestras línea B

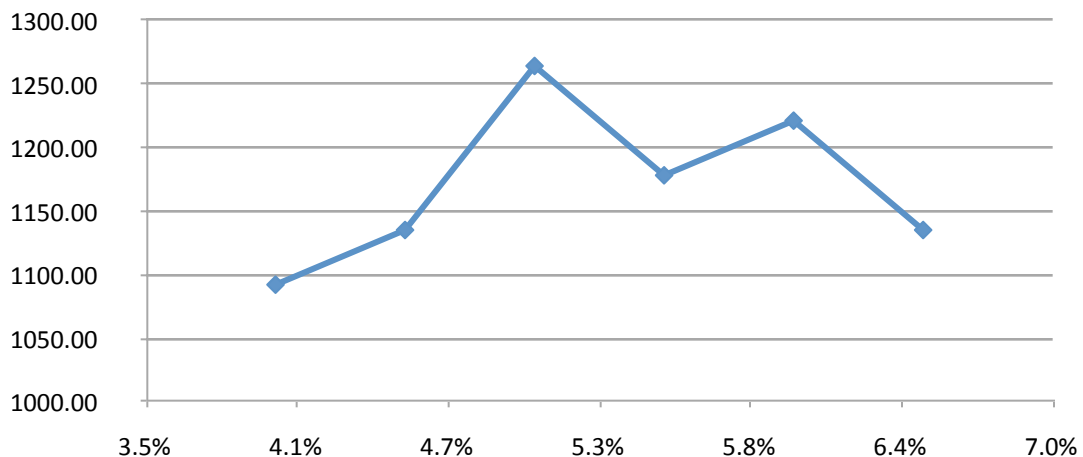
Prueba de especímenes		Prueba de especímenes	
Cilindro	1 - B	Cilindro	2 - B
Contenido mínimo (%)	4.0	Contenido mínimo (%)	4.5
Charola (gr)	4600.00	Charola (gr)	4603.00
Cuchara (gr)	176.00	Cuchara (gr)	286.00
Material pétreo (gr)	4000.00	Material pétreo (gr)	4000.00
Emulsión asfáltica (gr)	260.00	Emulsión asfáltica (gr)	292.00
Agua (mL)	53.20	Agua (mL)	53.20
Resistencia (kg)	1092.29	Resistencia (kg)	1135.31

Prueba de especímenes		Prueba de especímenes	
Cilindro	3 - B	Cilindro	4 - B
Contenido mínimo (%)	5.0	Contenido mínimo (%)	5.5
Charola (gr)	3740.00	Charola (gr)	4561.00
Cuchara (gr)	172.00	Cuchara (gr)	169.00
Material pétreo (gr)	4000.00	Material pétreo (gr)	4000.00
Emulsión asfáltica (gr)	324.00	Emulsión asfáltica (gr)	356.00
Agua (mL)	53.20	Agua (mL)	53.20
Resistencia (kg)	1264.36	Resistencia (kg)	1178.33

Prueba de especímenes		Prueba de especímenes	
Cilindro	5 - B	Cilindro	6 - B
Contenido mínimo (%)	6.0	Contenido mínimo (%)	6.5
Charola (gr)	3740.00	Charola (gr)	4674.00
Cuchara (gr)	176.00	Cuchara (gr)	166.00
Material pétreo (gr)	4000.00	Material pétreo (gr)	4000.00
Emulsión asfáltica (gr)	388.00	Emulsión asfáltica (gr)	420.00
Agua (mL)	53.20	Agua (mL)	53.20
Resistencia (kg)	1221.34	Resistencia (kg)	1135.31

\*Las resistencias mostradas se ven afectadas en una reducción del 50% para futuros cálculos debido a la ecuación de calibración de la prensa en la que fueron probadas.

Nuevamente se gráficán 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.



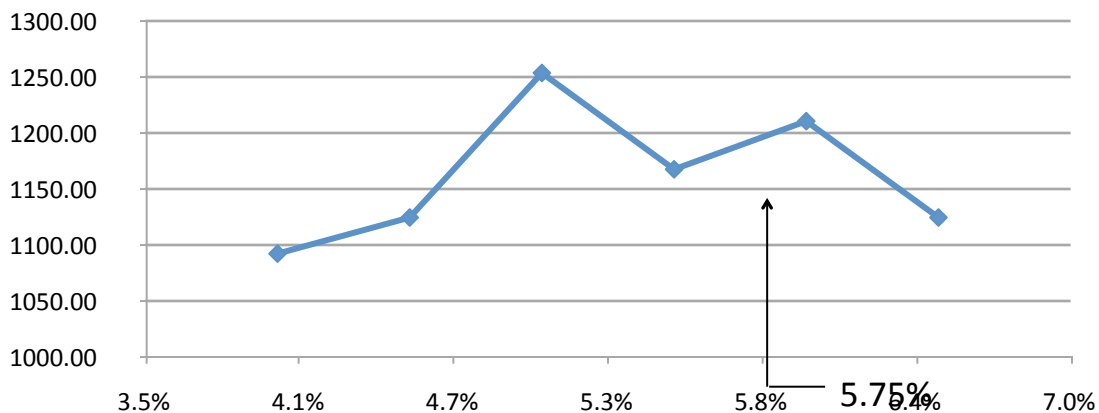
Gráfica 4.2: Contenido mínimo línea B

#### 4.4.3.- Contenido mínimo promedio

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, tomando como referencia el segundo máximo de la gráfica como valor de referencia, ya que es donde mayormente se encuentra el valor del contenido óptimo.

Contenido mínimo Emulsión asfáltica (%)	Resistencia (kg)		Promedio (kg)
	Línea A	Línea B	
4.0	1092.29	1092.29	1092.29
4.5	1113.80	1135.31	1124.56
5.0	1242.85	1264.36	1253.61
5.5	1156.82	1178.33	1167.58
6.0	1199.83	1221.34	1210.59
6.5	1113.80	1135.31	1124.56

\*Las resistencias mostradas se ven afectadas en una reducción del 50% para futuros cálculos debido a la ecuación de calibración de la prensa en la que fueron probadas.



Gráfica 4.3: Contenido mínimo promedio

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 %.

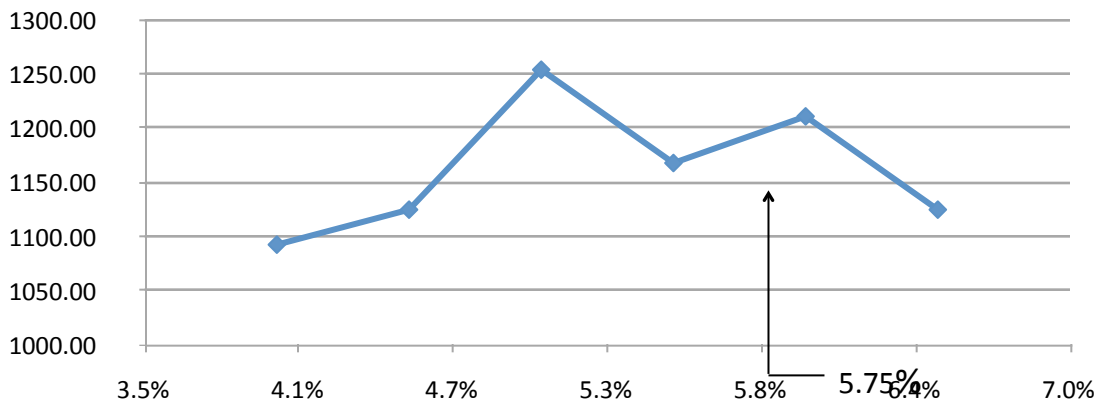
#### 4.4.4.- Interpretación de resultados

Como podemos observar tenemos ya los resultados de las pruebas realizados con los especímenes, tanto para conocer el contenido óptimo de diseño así como el diseño de los especímenes con el agregado de polvo de neumático.

Primeramente hablaremos acerca del contenido óptimo de diseño. Como podemos observar una vez que se realizaron los 12 especímenes y estos fueron probados pudimos conocer la resistencia que tiene cada uno de ellos y como este varía dependiendo de la cantidad de emulsión asfáltica que se colocó.

Durante la realización de dichos especímenes pudimos observar que con el contenido de diseño de 4% que fue el inicial, el material no quedaba completamente cubierto con la emulsión asfáltica, pero en cambio con el 6.5% se observa un exceso de emulsión asfáltica.

Al graficar los resultados observamos el comportamiento del material conforme al aumento de la emulsión asfáltica lo que nos permitió obtener el contenido óptimo de diseño.



**Gráfica 4.4:** Contenido mínimo promedio

El contenido óptimo se encuentra entre el 5.5% y 6.0% que es el segundo máximo, esto debido a que el 5.75% de contenido de emulsión asfáltica nos permite tener un cubrimiento del material uniforme sin llegar a un exceso o falta del mismo.

## **4.5.- Diseño y prueba de pastillas con contenidos mínimos elaborados con emulsión asfáltica modificada con SBS dibloque.**

### **4.5.1.- Marco de referencia**

El empleo de modificadores está condicionado al análisis de las ventajas que se obtengan de ellos para mejorar el comportamiento mecánico y duración de los trabajos de pavimentación en cada caso específico y de acuerdo con las condiciones climáticas, de tránsito, la rigidez de la estructura del pavimento, la disponibilidad de los materiales, el periodo de vida útil considerado en el diseño, la estrategia de mantenimiento y el costo de operación de los vehículos, entre otros. Su uso depende de la evaluación económica de su aplicación, en comparación con otras opciones. Corresponde al proyectista la selección del modificador a emplear y su dosificación, para cumplir con los parámetros de comportamiento deseados.

#### **Modificadores**

##### **Polímero Tipo I**

Es fabricado con base en bloques de estireno, en polímeros elastómeros radiales de tipo bibloque o tribloque, mediante configuraciones como Estireno-Butadieno-Estireno (SBS) o Estireno-Butadieno (SB), entre otras.

##### **Polímero Tipo II**

Es fabricado con base en polímeros elastoméricos lineales, mediante una configuración de caucho de Estireno, Butadieno-Látex o Neopreno-Látex.

##### **Polímero Tipo III**

Es fabricado con base en un polímero de tipo platomero, mediante configuraciones como Etil-Vinil-Acetato (EVA) o polietileno de alta o baja densidad (HDPE, LDPE), entre otras.

##### **Hule molido de neumáticos**

## **4.5.2.- Pruebas de laboratorio**

Viscosidad Saybolt-Furol en materiales asfálticos	M-MMP-4-05-004
Penetración en cementos y residuos asfálticos	M-MMP-4-05-006
Ductilidad de cementos y residuos asfálticos	M-MMP-4-05-011
Destilación de emulsiones asfálticas	M-MMP-4-05-012
Asentamiento de emulsiones asfálticas	M-MMP-4-05-013
Retenido en mallas N°20 y N°60 en emulsiones asfálticas	M-MMP-4-05-014
Carga eléctrica de las partículas de emulsiones asfálticas	M-MMP-4-05-017

### **4.5.2.1.- Métodos y sistemas constructivos en los que se emplean emulsiones modificadas actualmente.**

#### Mezclas agregado-emulsión

- Mezcla abierta
- Mezcla densa
- Reciclado

#### Mezclas in situ

- Mezcla abierta
- Mezcla densa
- Arena
- Reciclado

#### Riegos y tratamientos superficiales

- Riego de gravilla
- Riego de liga
- Riego Negro

- Impregnación
- Lechada asfáltica
- Lechada asfáltica de rotura controlada
- Microcarpeta

#### **4.5.3.- Diseño de mezcla asfáltica en frío con emulsión asfáltica modificada**

Para la elaboración comparativa de los resultados obtenidos con una emulsión asfáltica convencional en comparación con una emulsión asfáltica modificada con SBS dibloque, se opta por seguir la misma metodología, el mismo agregado pétreo así como de controlar en lo posible todas las variables empleadas para el proceso de diseño de una mezcla asfáltica por el Método de compresión axial, a fin de poder realizar un comparativo efectivo.

A continuación se presentan los datos base para el diseño de la mezcla asfáltica a comparar, así como de la descripción del proceso en su elaboración, seguida del comparativo final.

##### **4.5.3.1.- Objetivo General**

Analizar el comportamiento de mezclas en frío fabricadas con una emulsión modificada con polímeros.

##### **4.5.3.2.- Objetivos específicos**

- 1.- Fabricar especímenes por el método de diseño “Determinación del contenido óptimo de asfalto por compresión axial y diametral”.
- 2.- Ensayar en la prensa para conocer su comportamiento a la compresión bajo carga axial.
- 3.- Analizar el comportamiento de la emulsión asfáltica en contacto con el agregado pétreo y en la mezcla como agente ligante.

#### **4.5.3.3.- Metodología de trabajo**

Determinación de la proporción óptima de material asfáltico para una mezcla mediante las pruebas de compresión axial y compresión diametral.

*Aclaratoria*

*Para este trabajo solo se plantea realizar la parte de pruebas bajo compresión axial.*

La elaboración de probetas se llevo a cabo en Laboratorio de Materiales “Ing. Luis Silva Ruelas” UMNSH, Morelia, Mich.

- *Inicio de trabajos en mezcla: domingo 13 de julio del 2015*
- *Elaboración del primer lote de especímenes: martes 14 de julio*
- *Tiempo de curado: 48 horas. (propuesto según procedimiento)*
- *Tiempo promedio de elaboración de probetas: - Mezcla 30 min.; secado 4 horas a 60 °C - compactación 5 min.*
- *Fin de elaboración de probetas: lunes 20 de julio del 2015*

*Prueba de probetas en prensa*

- *Inicio: 22 de julio del 2015*
- *Fin: 23 de julio del 2015*

#### **4.5.3.4.- Calidad de la emulsión asfáltica modificada**

Resultados de las pruebas de laboratorio en control de calidad

- Emulsión ECL-60P Contenido de sólidos: 61%
- Viscosidad Saybolt Furol a 50°C: 35 SSF
- Retenido en malla #20: 0.03%
- Penetración del residuo a 25°C: 115 dmm
- Ductilidad del residuo a 25°C: 60 cm

#### **4.5.4.- Datos de referencia para diseño**

Calidad de material pétreo

**Peso volumétrico seco suelto (kg/m<sup>3</sup>)= 1846.70**

**Desgaste de los ángeles (%)= 34.78**

**Equivalente de arena** = No se detecta presencia de material fino o arcilloso.

**Densidad y absorción en materiales pétreos**

**Absorción (%)= 1.33, Densidad(grs/ cm<sup>3</sup>)= 2.37**

## Granulometría

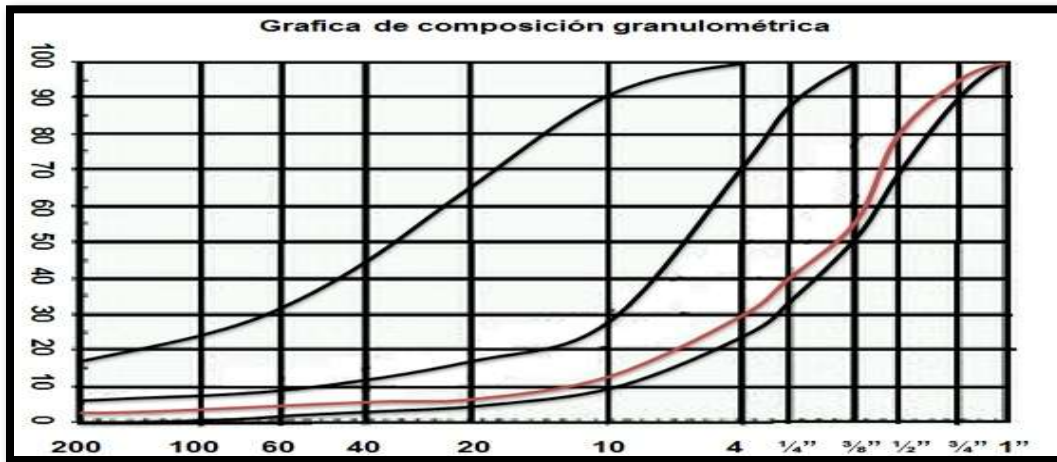


Imagen 4.18: Contenido mínimo promedio

Tabla : Granulometría parte gruesa

Granulometría parte gruesa				
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		

<b>Granulometría parte fina</b>				
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		

**Tabla:** Granulometría fina del material pétreo.

<b>Material para probetas</b>			
Malla N°	Peso (grs.)	Malla N°	Peso (grs.)
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
Total			4,000

**Tabla 4.1:** Peso de material por tamaño de malla empleado en la elaboración de las probetas.

#### **4.5.5.- Datos de especímenes elaborados**

Contenido de material asfáltico en masa 4.0%

Fecha de elaboración: 13/07/2015    Fecha de prueba: 22/07/2015

\*Las resistencias mostradas se ven afectadas en un incremento para futuros cálculos debido a la ecuación de calibración de la prensa en la que fueron probadas.

<b>#</b>	<b>Peso inicial grs.</b>	<b>Peso en prueba grs.</b>	<b>Resistencia Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Dimensiones cm</b>
1	3511	3444	29	18.5 x 12.5
2	3508	3445	38	18.4 x 12.5
3	3640	3532	37	18.5 x 12.5

Contenido de material asfáltico en masa 4.5%

Fecha de elaboración: 14/07/2015    fecha de prueba: 22/07/2015

<b>#</b>	<b>Peso inicial grs.</b>	<b>Peso en prueba grs.</b>	<b>Resistencia Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Dimensiones cm</b>
4	3670	3570	41	18.5 x 12.5
5	3770	3672	40	18.5 x 12.5
6	3856	3782	32	18.5 x 12.5

Contenido de material asfáltico en masa 5.0%

Fecha de elaboración: 18/07/2015      Fecha de prueba: 22/07/2015

#	Peso inicial grs.	Peso en prueba grs.	Resistencia Kg/cm <sup>2</sup>	Dimensiones cm
7	3798	3781	30	18.5 x 12.5
8	3881	3862	37	18.5 x 12.5
9	3560	3551	36	18.5 x 12.5

Contenido de material asfáltico en masa 5.5%

Fecha de elaboración: 19/07/2015      Fecha de prueba: 23/07/2015

#	Peso inicial grs.	Peso en prueba grs.	Resistencia Kg/cm <sup>2</sup>	Dimensiones cm
10	3840	3828	54	18.5 x 12.5
11	3766	3748	57	18.5 x 12.5
12	3886	3828	56	18.5 x 12.5

Contenido de material asfáltico en masa 6.0%

Fecha de elaboración: 20/07/2015      Fecha de prueba: 23/07/2015

#	Peso inicial grs.	Peso en prueba grs.	Resistencia Kg/cm <sup>2</sup>	Dimensiones cm
13	3563	3540	50	17.0 x 12.5
14	3682	3631	46	17.5 x 12.5
15	2902	3822	47	18.0 x 12.5

Contenido de material asfáltico en masa 6.5%

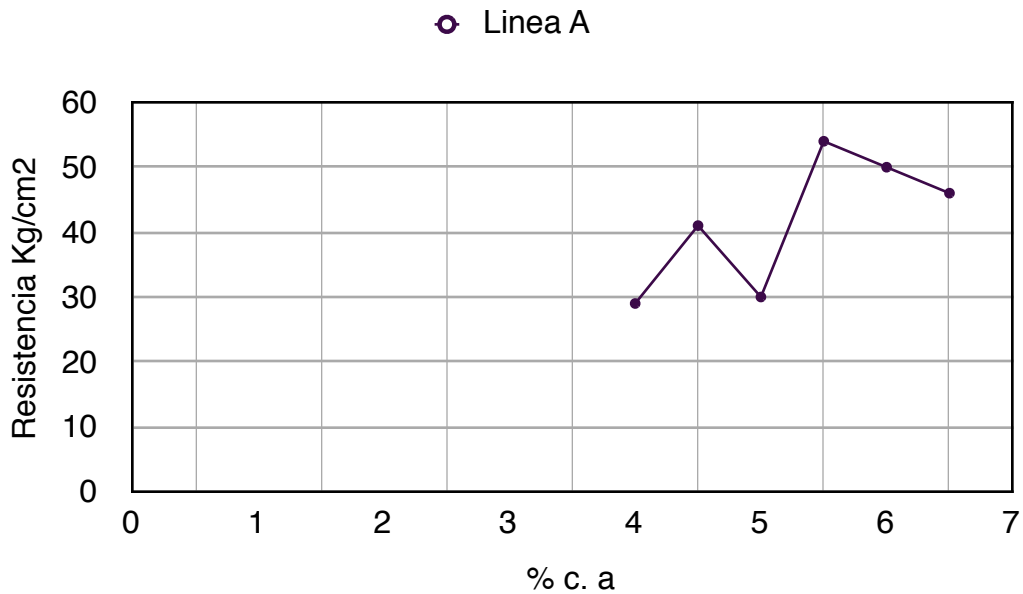
Fecha de elaboración: 20/07/2015

Fecha de prueba: 23/07/2015

#	Peso inicial grs.	Peso en prueba grs.	Resistencia Kg/cm <sup>2</sup>	Dimensiones cm
16	4000	3920	46	18.0 x 12.5
17	3781	3727	42	17.5 x 12.5
18	3764	3708	42	17.5 x 12.5

\*Las resistencias mostradas se ven afectadas en un incremento para futuros cálculos debido a la ecuación de calibración de la prensa en la que fueron probadas.

**4.5.6.- Representación gráfica línea A**

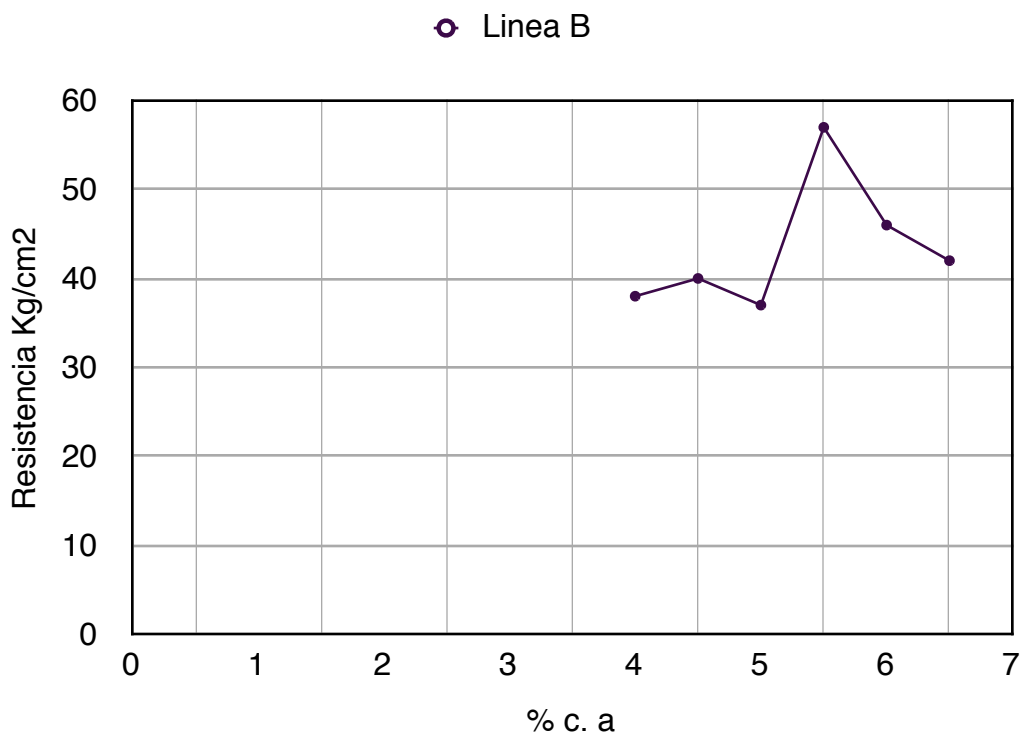


% c.a	Resistencia
4.0	29
4.5	41
5	30
5.5	54

% c.a	Resistencia
6	50
6.5	46

\*Las resistencias mostradas se ven afectadas en un incremento para futuros cálculos debido a la ecuación de calibración de la prensa en la que fueron probadas.

#### 4.5.6.- Representación gráfica línea B

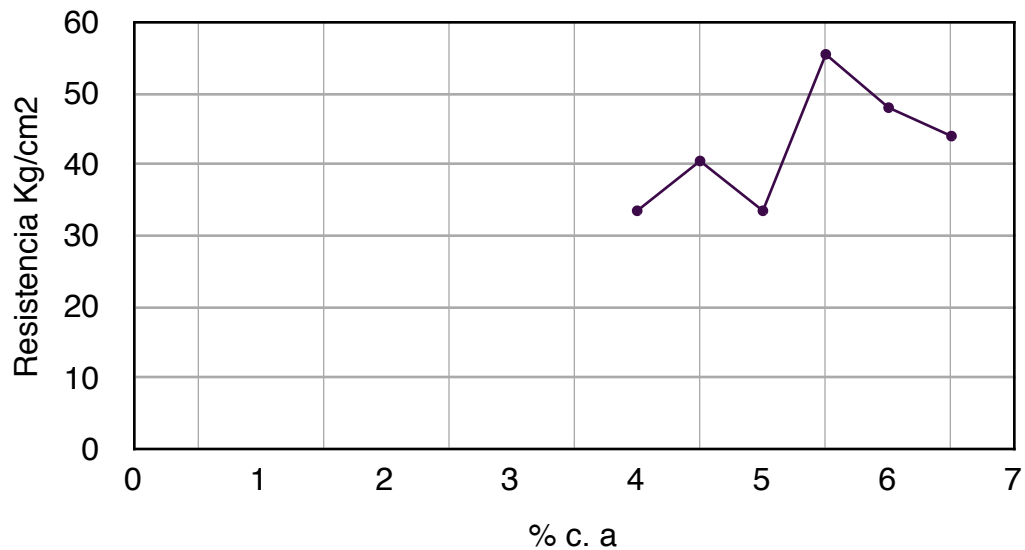


% c.a	Resistencia
4.0	38
4.5	40
5	37
5.5	57
6	46
6.5	42

#### 4.5.7.- Contenido mínimo promedio

% c.a	Resistencia kg		Promedio kg
	Linea A	Linea B	
4.0	29	38	33.5
4.5	41	40	40.5
5	30	37	33.5
5.5	54	57	55.5
6	50	46	48
6.5	46	42	44

○ Contenido promedio



#### 4.5.8.- Contenido óptimo

Contenido óptimo de c.a. = Punto medio (Resistencia kg %c.a 5.0% + Resistencia kg %c.a 5.5%\*

$$\underline{\text{Contenido óptimo de c.a.} = (33.5 + 55.5)/2 = 44.5 \text{ kg}}$$

Por lo tanto:

$$\underline{\text{Contenido. óptimo. c.a} = 5.25\%}$$

# **Capítulo V: Comparativo**

## **5.1.- Comparativo: mezcla asfáltica elaborada con emulsión asfáltica convencional y emulsión asfáltica modificada con SBS dibloque**

### **5.1.2.- Comparativo entre especímenes para la obtención del contenido mínimo de asfalto.**

En este apartado las resistencias mostradas han sido afectadas por las respectivas calibraciones de la prensa en la que fueron probadas a fin de no alterar los resultados.

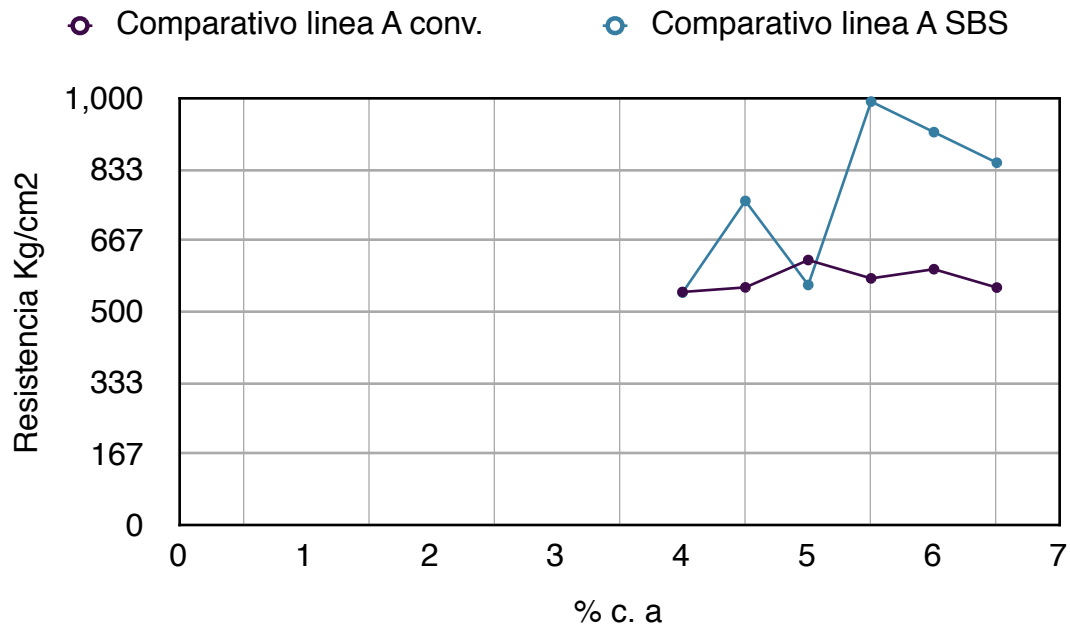
#### **Linea A especímenes convencionales**

<b>% c.a</b>	<b>Resistencia Kg/cm2</b>
4.0	546.14
4.5	556.90
5	621.00
5.5	578.00
6	599.50
6.5	556.50

#### **Linea A especímenes con modificador**

<b>% c.a</b>	<b>Resistencia Kg/cm2</b>
4.0	544.63
4.5	759.55
5	562.54
5.5	992.38
6	920.74
6.5	849.10

En este apartado las resistencias mostradas has sido afectadas por las respectivas calibraciones de la prensa en la que fueron probadas a fin de no alterar los resultados.

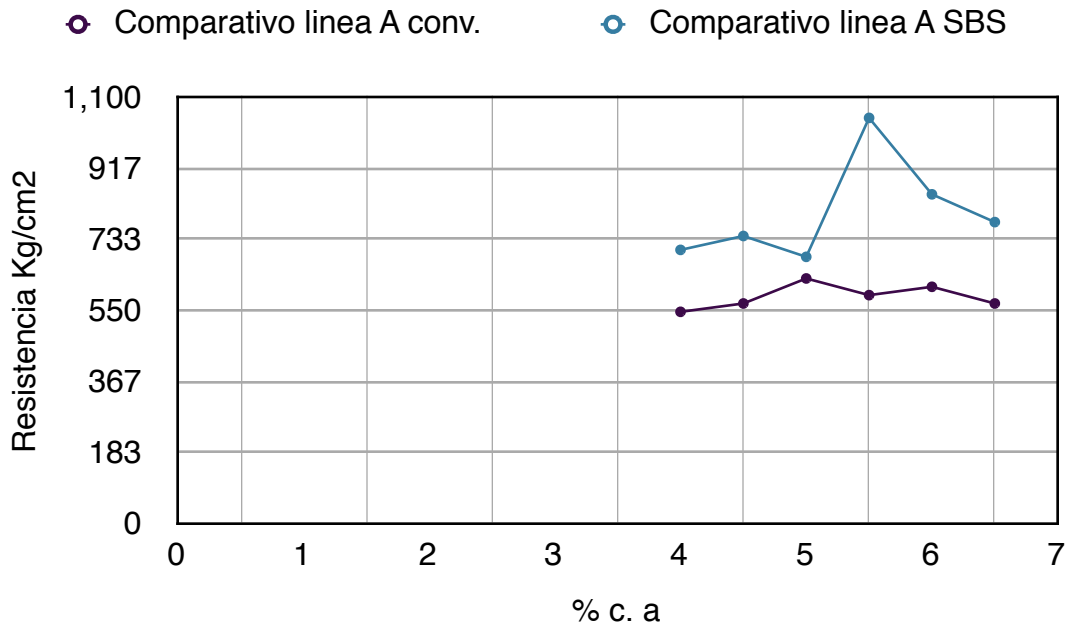


### Linea B especímenes convencionales

% c.a	Resistencia Kg/cm2
4.0	546.14
4.5	567.66
5	632.18
5.5	589.17
6	610.67
6.5	567.66

### Línea B especímenes con modificador

% c.a	Resistencia Kg/cm <sup>2</sup>
4.0	705.82
4.5	741.64
5	687.91
5.5	1046.11
6	849.10
6.5	777.46

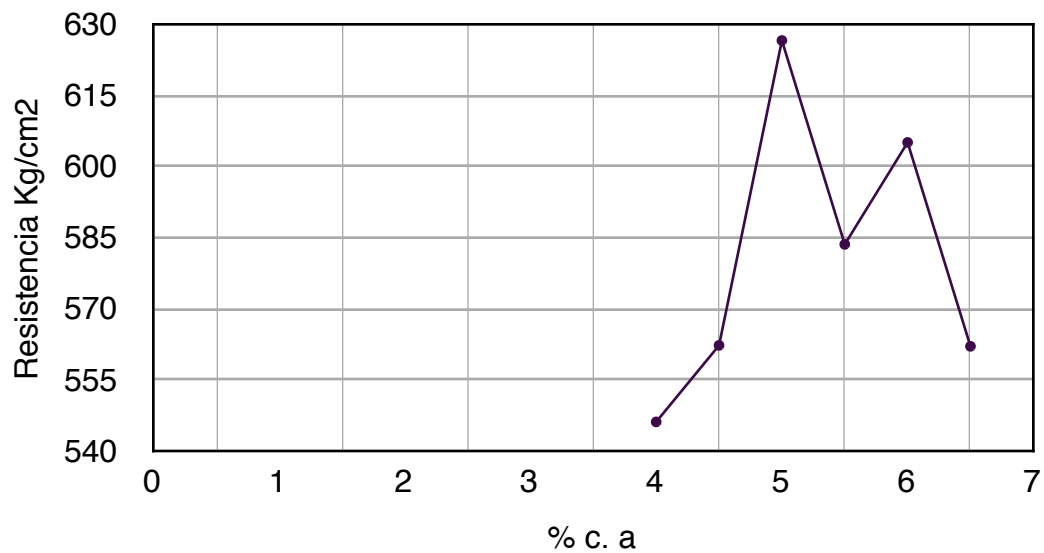


#### 4.6.2.- Comparativo especímenes en la obtención del contenido óptimo de asfalto

##### Emulsión convencional

Contenido mínimo Emulsión asfáltica (%)	Resistencia (kg)		Promedio (kg)
	Línea A	Línea B	
4.0	546.14	546.14	546.14
4.5	556.90	567.66	562.28
5.0	621.00	632.18	626.59
5.5	578.00	589.17	583.585
6.0	599.50	610.67	605.085
6.5	556.50	567.66	562.08

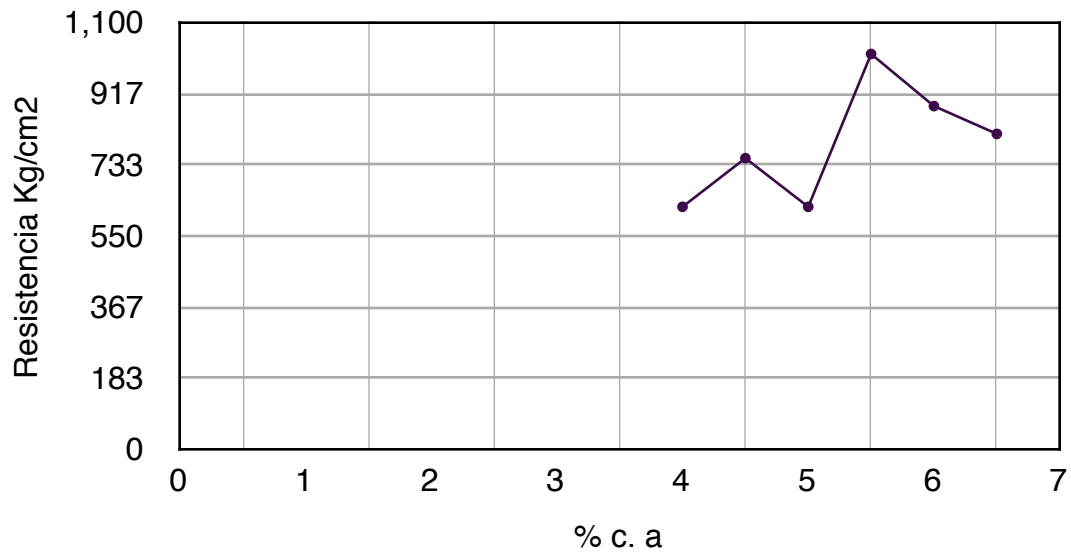
○ Comparativo óptimo convencional



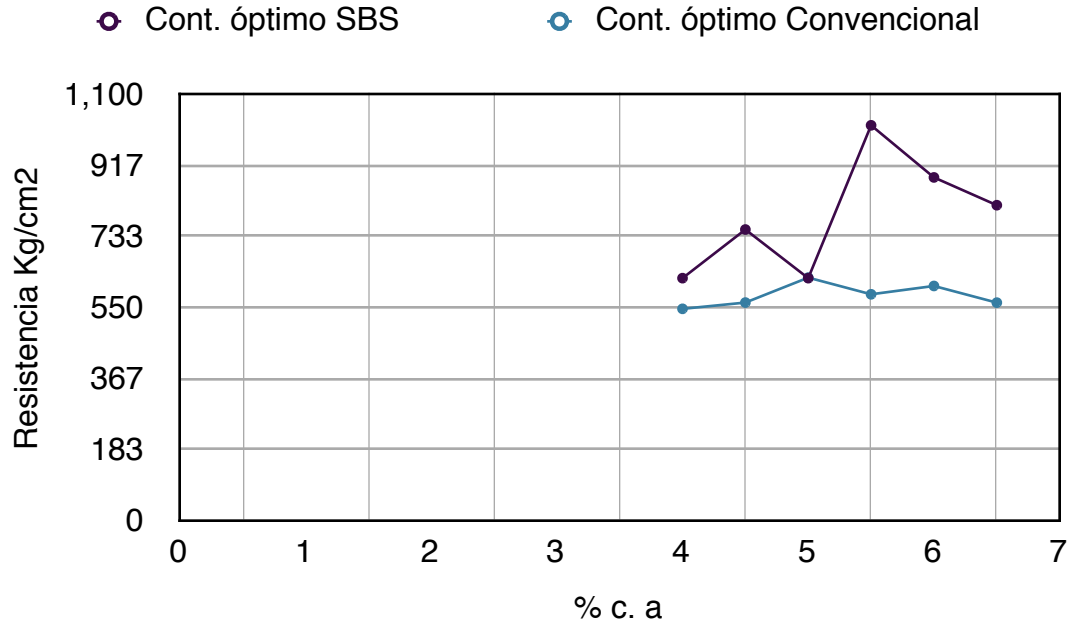
## Emulsión modificada SBS

Contenido mínimo Emulsión asfáltica (%)	Resistencia (kg)		Promedio (kg)
	Línea A	Línea B	
4.0	544.63	705.82	625.225
4.5	759.55	741.64	750.595
5.0	562.54	687.91	625.225
5.5	992.38	1046.11	1019.245
6.0	920.74	849.10	884.92
6.5	849.10	777.46	813.28

○ Comparativo óptimo SBS



**Comparativo del contenido óptimo de la emulsión convencional y la emulsión modificada con SBS dibloque.**



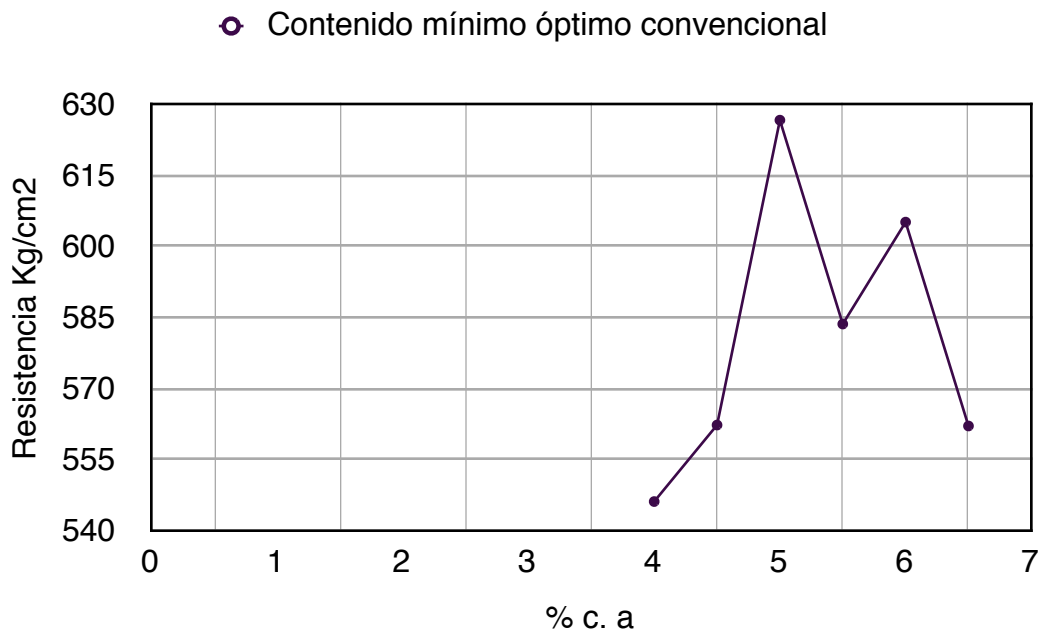
# **Capítulo VI: Interpretación de resultados**

## 6.1.- Resultados de la mezcla asfáltica elaborada con emulsión asfáltica convencional

Se tiene que de la elaboración de los especímenes por el método de compresión axial para mezclas elaboradas en frío, en el cual se empleo una emulsión convencional y agregado pétreo de origen volcánico el un resultado para un contenido mínimo optimo de asfalto (contenido óptimo) un valor del 5.75% de material asfáltico en masa para una perfecta cobertura entre agregados así como de garantizar una liga adecuada entre los mismos. Siendo los resultados siguientes:

### 6.1.1.- Resultados de ensayos para la obtención del contenido mínimo optimo de material asfáltico en masa para una mezcla de emulsión convencional y agregado pétreo de origen volcánico.

Contenido mínimo Emulsión asfáltica (%)	Resistencia (kg)		Promedio (kg)
	Línea A	Línea B	
4.0	546.14	546.14	546.14
4.5	556.90	567.66	562.28
5.0	621.00	632.18	626.59
5.5	578.00	589.17	583.585
6.0	599.50	610.67	605.085
6.5	556.50	567.66	562.08



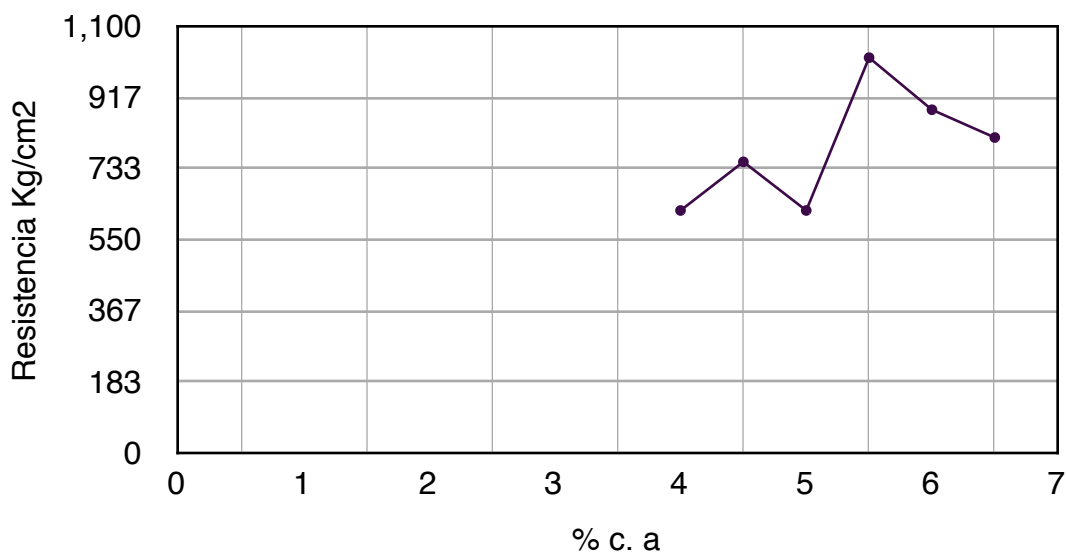
## 6.2.- Resultados de la mezcla asfáltica elaborada con emulsión asfáltica convencional

De los resultados obtenidos con la elaboración y prueba de los especímenes elaborados con una emulsión modificada con SBS dibloque, se tiene que el contenido mínimo óptimo para dicha mezcla de agregado-emulsión asfáltica su contenido óptimo de asfalto es de un 5.25% de material asfáltico en masa. Como resultado de los cálculos y resultados que se muestran a continuación.

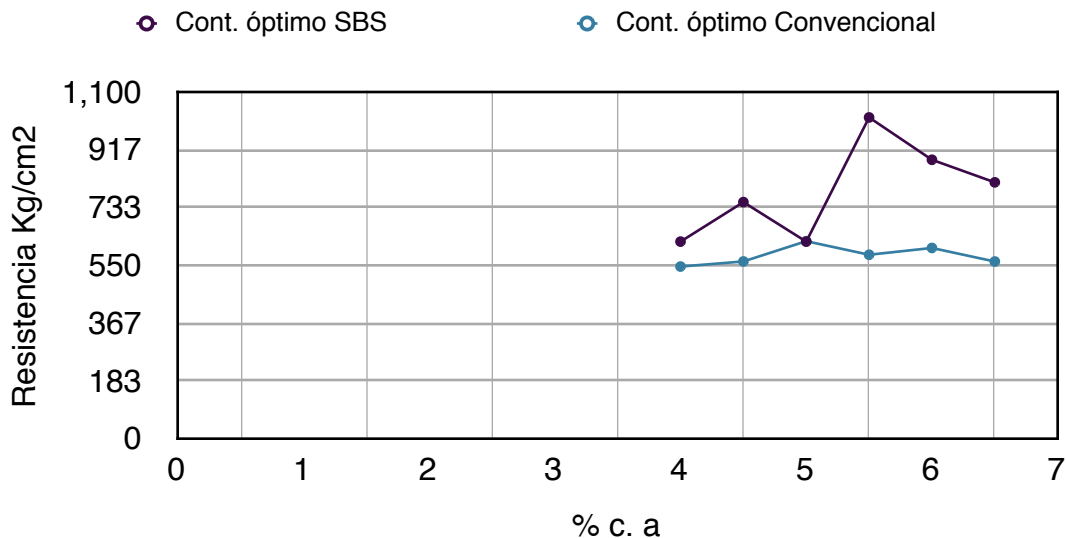
### 6.2.1.- Resultados de ensayos para la obtención del contenido mínimo óptimo de material asfáltico en masa para una mezcla de emulsión modificada con SBS dibloque y agregado pétreo de origen volcánico.

Contenido mínimo Emulsión asfáltica (%)	Resistencia (kg)		Promedio (kg)
	Línea A	Línea B	
4.0	544.63	705.82	625.225
4.5	759.55	741.64	750.595
5.0	562.54	687.91	625.225
5.5	992.38	1046.11	1019.245
6.0	920.74	849.10	884.92
6.5	849.10	777.46	813.28

○ Contenido mínimo óptimo SBS



De los comparativos entre los contenidos mínimos óptimos para la combinación entre agregado pétreo de origen volcánico y de emulsiones asfálticas; convencional y modificada con SBS dibloque se tiene lo siguiente:



Se observa que ambas gráficas muestran una tendencia similar, con sus dos primeros puntos que representan el 4.0% y el 4.5% de material asfáltico en masa respecto a la mezcla, en los cuales su tendencia es al alza; sin embargo se observa que para el caso de la emulsión modificada con SBS dibloque el primer máximo se logra en el segundo punto de diseño (4.5%), con medio punto porcentual por debajo de la mezcla elaborada con emulsión convencional, la cual alcanza el primer máximo hasta la marca del 5.0%.

En ambos casos posterior al primer máximo se presenta el primer punto mínimo, el cual marca el llenado de los espacios vacíos en el agregado mineral, dicho en otras palabras se comienza a llenar los vacíos que se encuentran en el agregado, siendo así que en los puntos anteriores solo se presentaba una capa de ligante en la parte superficial del agregado logrando con ello solo la liga entre agregados pero dejando vacíos de material ligante los mismos agregados, que al ser de origen volcánico presentan un número de vacíos considerables con una densidad del 2.37%.

Se observa la presencia del segundo máximo en ambos gráficos el cual para el caso de la mezcla elaborada con la emulsión convencional se presenta en el punto de diseño del 6.0% y para el caso de la mezcla elaborada con la emulsión modificada con SBS dibloque en el punto de diseño del 5.5%. Es en este punto máximo en donde el comportamiento de la mezcla presenta un llenado de vacíos en el agregado superior al óptimo, presenta un a liga entre todas sus partes así como de brindar en la mezcla un porcentaje de material asfáltico por encima del deseado, siendo tal que enseguida se presenta una caída en cuanto a las resistencias debido a que se satura de material ligante dejando pocos vacíos, exceso material fino ligado con asfalto y en la mezcla tiene el efecto de formar una masa suave que en lugar de funcionar como ligante comienza a funcionar como una capa con características viscosas que no ofrecen contribución al soporte ni a la estabilidad de la mezcla siendo un efecto contrario que se ve directamente reflejado en las resistencias de los especímenes.

Para la obtención del contenido mínimo óptimo de asfalto se toma como promedio el punto que se encuentre entre el primer mínimo y el primer máximo de la gráfica, esto a efecto de que como se menciono anteriormente siendo el punto mínimo en el cual ya se tiene la liga del agregado también se comienzan a llenar los vacíos en el mismo llegando al primer máximo se tiene una amplia cobertura del agregado así como del llenado de los vacíos necesarios para ofrecer una mezcla estable, resistente y con una calidad óptima.

La obtención de un punto intermedio se hace con la finalidad de no estar en el limite considerado como “bajo” que seria el primer mínimo pero tampoco estar en el “máximo” que seria el segundo punto máximo del gráfico, esto porque una vez que se lleve a su elaboración en campo se podría tener el error de dadas las condiciones de adición de a emulsión agregar mas material ligante y estar pasando del optimo máximo al segundo mínimo, en el cual se pierde la calidad de la mezcla asfáltica.

# **Capítulo VII: Conclusiones y recomendaciones**

## **7.1.- Conclusiones y recomendaciones del comportamiento de ambas mezclas**

Del resultado global de las pruebas realizado con el diseño antes descrito y los resultados plasmados en el documento, una vez hecho el comparativo respecto a el mismo diseño, con las constantes de material pétreo y proceso de elaboración y prueba de las probetas, el cual había arrojado que para una emulsión ECR-60 con un contenido de sólidos del 62.0% (+-) 0.5 %, presenta un mejor comportamiento en cuanto a desempeño, lo cual se ve claramente en la reducción del contenido de c.a para el óptimo en la mezcla en este caso, **disminuyendo de un 5.75% a un 5.25%.**

Aunado a lo anterior al momento del manejo del material (emulsión asfáltica) su uso presenta una mejor trabajabilidad al momento del de la mezcla con el agregado, con la excepción de los fragmentos de material volcánico conocidos como “*tezontle*”, los cuales no presentan afinidad con dicha emulsión.

En lo que refiere a la investigación documental sobre el uso y aplicaciones de las emulsiones en México, vemos que a pesar de contar años de uso de este material en materia de construcciones carreteras no se cuenta con algún manual de apoyo especializado en la materia para brindar a quien tenga por primer acercamiento en el campo de las emulsiones asfálticas. Se cuenta con experiencias de quienes han trabajado en obra con este tipo de materiales, sin embargo no se tiene documentado.

Para hacer mención a lo anterior este trabajo aporta a quien desea saber de manera específica el uso de una emulsión asfáltica en el diseño de mezclas asfálticas elaboradas en frío, un manual de apoyo con las características esenciales que lo ayuden en sus trabajos en diseño de carpetas asfálticas en frío.

Se nota claramente un incremento en la resistencia, así como de la adhesión entre los agregados pétreos con el uso de un modificador, como fue en este caso el uso

de SBS dibloque, que ayudo a reducir el contenido se material asfáltico respecto a una emulsión con características similares pero sin modificación alguna, teniendo con ello de inicio una reducción en cantidad de uso de emulsión asfáltica para elaborar una mezcla asfáltica con el material pétreo analizado y de fácil replica en otros materiales.

Se deja abierta la posibilidad y el camino para futuras investigaciones en la materia, siendo una de los primeros trabajos realizados con emulsiones asfálticas convencionales y modificadas editado con fines de divulgación que servirá con fines de capacitación al profesional de la construcción en vías terrestres.

# **Capítulo VIII: Bibliografía**

## **Bibliografía**

Emulsiones asfálticas. Gustavo Rivera E. Representaciones y servicios de ingeniería, S.A. Mexico 1981.

Libro 6 Parte 6.01 Carreteras y Aeropistas Título 6.01.03 Pavimentos (II) Tomo 2 1991 Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT); Apartado 012-D.03

Normativa de la Secretaria de comunicaciones y Transportes, carreteras; M-MMP-4-05-004, M-MMP-4-05-006, M-MMP-4-05-011, M-MMP-4-05-012, M-MMP-4-05-013, M-MMP-4-05-014, M-MMP-4-05-017, M-MMP-4-05-026, M-MMP-4-05-026.

Normativa de la Secretaria de comunicaciones y Transportes, carreteras; M·MMP·4·04·001/02, M·MMP·4·04·002/02, M·MMP·4·04·003/02, M·MMP·4·04·004/02, M·MMP·4·04·006/02.

Emulsiones asfálticas, sección de Fabricantes de Emulsiones Asfálticas para Caminos (SFERB) y publicado por la Unión Francesa de Asociaciones de la Industria Caminera (USIRF). Edición AMAAC.

Protocolo AMAAC PA-EA 03/2011 Procedimientos de fabricación, aplicación y control de calidad de las emulsiones asfálticas. Asociación Mexicana del Asfalto, A.C.

Tesis de licenciatura; “Uso de polvo de neumático en mezclas asfálticas elaboradas con emulsión”, Alejandro Ruiz Figueroa, Mario Salazar Amaya, Morelia Michoacán México junio 2014.

Paz Mendoza, Cesar, Tesis de licenciatura: “Determinación de las características mecánicas de una mezcla con emulsion-pétreo modificada con una resina epoxica”.

Normas nacionales (SCT):calidad de materiales asfálticos, calidad de materiales asfalticos modificados. N-CMT-4-05-001, N-CMT-4-05-002.